

8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας • Τόμος 1



# 8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ

της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας

## 8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE

of the Greek Geographical Society



**Διοργάνωση - Host**  
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος  
Faculty of Geology and Geoenvironment

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
National and Kapodistrian University of Athens

4  
Οκτωβρίου  
Αθήνα, 2007



# Τόμος 1

Γεωμορφολογία  
Παράκτια Γεωμορφολογία - Ωκεανογραφία  
Κλιματολογία  
Περιβάλλον  
Γεώτοποι  
Γεωγραφική Εκπαίδευση

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΚΠΑ, ΖΩΓΡΑΦΟΥ, 157 84, ΑΘΗΝΑ



designed by Zeta Konstantopoulou







**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

NATIONAL & KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS  
FACULTY OF GEOLOGY & GEOENVIRONMENT



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ / ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ**

**Πρόεδρος:** Αθηνά Παπαπέτρου-Ζαμάνη, Ομ. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

**Β' Αντιπρόεδρος:** Νικόλαος Συμεωνίδης, Ομ. Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

**Γ' Αντιπρόεδρος:** Σπυρίδων Φασούλας, Δικηγόρος

**Γεν. Γραμματέας:** Γεώργιος Λειβαδίτης, Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

**Ειδ. Γραμματέας:** Ευθύμιος Καρύμπαλης, Επ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Παν/μιο

**Ταμίας:** Κοσμάς Παυλόπουλος, Επ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Παν/μιο

**Μέλος Δ.Σ.:** Αλίκη Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Καθηγήτρια, Ε.Μ.Π.

**Μέλος Δ.Σ.:** Κωνσταντίνος Κουτσόπουλος, Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

**Μέλος Δ.Σ.:** Χαμπίκ Μαρουκιάν, Αν. Καθηγητής, Παν/μιο Αθηνών

**Μέλος Δ.Σ.:** Καλλιόπη Γάκη-Παπαναστασίου, Αν. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

**Μέλος Δ.Σ.:** Ευθυμία Βερυκίου-Παπασπυριδάκου, Επικ. Καθηγήτρια, Παν/μιο Αθηνών

**Μέλος Δ.Σ.:** Γεώργιος Δουζίνας, Υποστράτηγος ε.α., τ. Καθηγητής Σ.Σ.Ε.

**Μέλος Δ.Σ.:** Δημήτριος Παπαγιαννάκης, Γεωλόγος, Παν/μιο Αθηνών

**Μέλος Δ.Σ.:** Χαρίκλεια Σκυλοδήμου, Δρ. Γεωλόγος, Παν/μιο Αθηνών

**ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ / ORGANISING COMMITTEE**

**Πρόεδρος:** Λειβαδίτης Γ., Καθηγητής, ΕΚΠΑ

*President: Livaditis G., Professor, UoA*

**Αντιπρόεδρος:** Μαρουκιάν Χ., Αναπλ. Καθηγητής, ΕΚΠΑ

*Vice-president: Maroukian H., Associate Professor, UoA*

**Γενικός Γραμματέας:** Παυλόπουλος Κ., Επ. Καθηγητής, ΧΠΑ

*General Secretary: Pavlopoulos K., Assistant Professor, HUA*

**Ταμίας:** Καρύμπαλης Ευθ., Επ. Καθηγητής, ΧΠΑ

*Treasurer: Karymbalis E., Lecturer, HUA*

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

## ΕΙΔΙΚΟΙ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΣ / SPECIAL SECRETERAT

**Κουτσόπουλος Κ., Καθηγητής, ΕΜΠ**

*Koutsopoulos K., Professor, NTUA*

**Λειβαδίτη - Αλεξούλη Αλ., Καθηγήτρια, ΕΜΠ**

*Livaditi - Alexouli Al., Professor, NTUA*

**Χατζημιχάλης Κ., Καθηγητής, ΧΠΑ**

*Hadjimichalis K., Professor, HUA*

**Πούλος Σ., Επ. Καθηγητής, ΕΚΠΑ**

*Poulos S., Assistant Professor, UoA*

**Σκιάνης Γ., Λέκτορας, ΕΚΠΑ**

*Skianis G., Lecturer, UoA*

**Ευελπίδου Ν., Λέκτορας, ΕΚΠΑ**

*Evelpidou N., Lecturer, UoA*

## ΜΕΛΗ / MEMBERS

**Βαϊόπουλος Δ., Καθηγητής, ΕΚΠΑ**

*Vaiopoulos D., Professor, UoA*

**Γάκη – Παπαναστασίου Κ., Αναπλ. Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ**

*Gaki – Papanastasiou K., Assistant Professor, UoA*

**Βερικίου – Παπασπυριδάκου Ευθ., Επ. Καθηγήτρια, ΕΚΠΑ**

*Verikiou – Papaspiridakou Efth., Assistant Professor, UoA*

**Μπαθρέλλος Γ., Διδάκτωρ, ΕΚΠΑ-ΓΕΩΤΕΕ**

*Bathrelos G., Doctor, UoA - Geot.C.G6*

## ΚΡΙΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

**Θεσσαλού-Λεγάκη, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Βιολογίας, ΕΚΠΑ**

**Κουμπλή-Σοβαντζή, Λέκτορας, Τμήμα Βιολογίας, ΕΚΠΑ**

**Καραθανάση, Λέκτορας, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ**

**Καρτέρης, Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**

**Κοντοές, Ερευνητής, Ινστ. Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών**

**Χάρου, Ερευνήτρια, Ινστιτούτο Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος**

**Αλεξόπουλος, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ**

**Αλεξούλη, Καθηγήτρια, Σχολή Μεταλλειολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ**

**Αναστασάκης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ**

**Αργιαλάς, Καθηγητής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ**

**Ασάρας, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ**

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

**Βαϊόπουλος**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Βερυκίου**, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Βουβαλίδης**, Επ. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ  
**Γάκη**, Αν.Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Γκουρνέλος**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Ευελπίδου**, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Κανελλοπούλου**, Αν.Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Καρύμπαλης**, Επ.Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο  
**Κατσίκης**, Καθηγητής, ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
**Κλωνάρη**, Λέκτορας, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
**Κοντόπουλος**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών  
**Κουτσόπουλος**, Καθηγητής, Σχολή Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ  
**Λειβαδίτης**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Μάρης**, Λέκτορας, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δ.Π.Θ.  
**Μαρουικιάν**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Νάστος**, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Νικολάκης**, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Παπαδόπουλος**, Επ.Καθηγητής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας  
**Παπαδοπούλου**, Αν.Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Παρχαρίδης**, Λέκτορας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Παυλίδης**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ  
**Παυλόπουλος**, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο  
**Πούλος**, Επ.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Σαμπώ**, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Σκιάνης**, Επ.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Σταματάκης**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Στουρνάρας**, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ  
**Φουντούλης**, Αν.Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ

**Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 4-7 Οκτωβρίου 2007, Αθήνα**  
Faculty of Geology & Geoenvironment, 4-7 October 2007, Athens

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



## ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΝΕΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Κουτσόπουλος Κ.  
Καθηγητής ΕΜΠ

### 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια στην επιστημολογία έχουν επέλθει σημαντικές αλλαγές και διαφοροποιήσεις στον τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων των επιστημών και στις βασικές αρχές που τις διέπουν. Από τις πιο σπουδαίες διαφοροποιήσεις είναι οι εξής:

- Η αλλαγή της θεώρησης ότι το περιβάλλον είναι ένα εξωτερικά δοσμένο δημιούργημα, στην πίστη ότι υπάρχει ένα οικοσύστημα ως μια ανεξάρτητη φυσική και πολιτιστική διαδικασία.
- Από την αντίληψη της μοναδικότητας της γεωγραφικής θέσης στην παραδοχή της αλληλεξάρτησης των φαινομένων στο γεωγραφικό χώρο· και
- Από την υπόθεση ότι τα γεγονότα υπάρχουν για να ανακαλυφθούν, στην αντίληψη ότι αποτελούν κοινωνικά κατασκευάσματα, δημιουργήματα δικά μας.

Η τελευταία αντίληψη είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί δείχνει καθαρά την ανάγκη για μια κοινωνική επιστημολογία κάθε επιστήμης, συμπεριλαμβανομένης και αυτής που έχει ως αντικείμενο το Γεωγραφικό Χώρο.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο τρόπος που οι επιστήμονες ασκούν την επιστήμη τους περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τους «μύθους» τους. Οι μύθοι αυτοί ουσιαστικά λειτουργούν σαν λάμπες που φωτίζουν το πεδίο αντίληψης του επιστήμονα, επιτρέποντάς του να έχει καθαρή εικόνα από ορισμένα μόνο προβλήματα και να μη βλέπει κανένα από τα άλλα προβλήματα, ενώ, συγχρόνως, του δίνουν την πνευματική ηρεμία που χρειάζεται μια και οι κρίσεις που κάνει φανερώνονται στο μυαλό του ως αντανάκλαση της αντικειμενικής πραγματικότητας.

Αλλά ποιες είναι οι πηγές των μύθων μας; Το σύνολο σχεδόν των επιστημόνων υποστηρίζουν ότι όλες οι επιστήμες πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες λειτουργικές προαπαιτήσεις για να παραμείνουν σταθερές και απαιτούν συστηματικούς τρόπους για να ικανοποιήσουν βασικές μεθοδολογικές ανάγκες. Αυτές οι ανάγκες, με τη σειρά τους, είναι αποτέλεσμα των αξιών που αποδέχεται η επιστημονική κοινότητα και που αποτελούν τη βάση για τον τρόπο που κάθε μέλος και ολόκληρη η κοινότητα αντιμετωπίζει τον κόσμο και ενεργεί. Είναι βασικά αυτό το σύστημα αξιών που δικαιολογεί τις άλλες ενέργειες και παρέχει την κινητήρια δύναμη, δημιουργώντας αυτό που είναι κάτι ξεχωρό και ιδιαίτερο για κάθε επιστήμη.

Από τα παραπάνω πρέπει να έχει γίνει κατανοητό ότι για μια σωστή προσέγγιση του Γεωγραφικού Χώρου είναι αναγκαίο να αντιμετωπίζουμε την πραγματικότητα των μύθων μας. Γιατί τότε θα μπορούμε να συνεισφέρουμε δημιουργικά στην επίτευξη των επιστημονικών στόχων, τα οποία με τη σειρά τους πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της επιστημονικής μας θεώρησης και μεθοδολογίας. Αυτό που χρειάζεται, δηλαδή, είναι ένας τρόπος αποσαφήνισης της επιστημονικής προσέγγισης που να ξεκαθαρίζει τους μύθους, να διευκρινίζει με σαφήνεια τις αξίες και να δίνει το πλαίσιο αντιμετώπισης των θεμάτων που περικλείονται μέσα στον όρο Γεωγραφικός Χώρος. Ως αποτέλεσμα, το ερώτημα που τίθεται άμεσα στη σημερινή ακαδημαϊκή και κοινωνική συγκυρία είναι: ποιοι είναι ο «μύθος» και οι «αξίες» με βάση τις οποίες καλούμεθα να αντιμετωπίσουμε επιστημονικά την έννοια του Γεωγραφικού Χώρου.

Απερίφραστα και κατηγορηματικά θα πρέπει να τονιστεί ότι το επίκεντρο της επιστημονικής αντιμετώπισης του Γεωγραφικού Χώρου, που αποτελεί αναπόφευκτα και την



πηγή των μύθων και αξιών της Γεωγραφίας, πρέπει να είναι η έννοια της ολοκληρωμένης χωρικής προσέγγισης τόσο ως προς τον τρόπο θεώρησής της όσο και ως προς τις μεθοδολογίες διερεύνησής της. Το ερώτημα που τίθεται, επομένως, είναι ποια προσέγγιση μπορεί καλύτερα να προβάλλει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση και ποιοι είναι οι «μύθοι» της που καθορίζουν την θεώρηση του Γεωγραφικού Χώρου και του τρόπου διερεύνησής του.

Δηλαδή η θέση που προβάλλεται στην εισήγηση αυτή είναι απλή μεν στην εξήγησή της, ανατρεπτική, όμως, των όσων θεωρούν ως δεδομένα οι σημερινοί Γεωγράφοι. Πιο συγκεκριμένα, στην επιστημονική κοινότητα οι Γεωγράφοι και η επιστήμη μας έχουν κερδίσει τη γενική αποδοχή ότι έχουν τα επιστημονικά εφόδια να κάνουν μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, να αναλύουν τα χωρικά πρότυπα και τις διαδικασίες που οι μετρήσεις αυτές βοηθούν στην αποκάλυψή τους και τέλος να προσφέρουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών για ένα σωστό και αποδοτικό σχεδιασμό.

Θεωρώ ότι μια τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση του γεωγραφικού χώρου δεν είναι δυνατή χωρίς τη βοήθεια ενός νέου υποδείγματος που καθορίζει τόσο τη θεώρηση του χώρου όσο και τη διερεύνησή του. Αυτό οδηγεί στη θέση ότι τα παραδοσιακά υποδείγματα της Γεωγραφίας έχουν εκ των πραγμάτων ξεπεραστεί και βρισκόμαστε πλέον στο υπόδειγμα της Χωροπληροφορικής. Ο όρος Χωροπληροφορική μπορεί να αποσυντεθεί στα δύο συστατικά του: **Χώρος + Πληροφορική**. Δηλαδή, το συστατικό «χώρος» που αναφέρεται στην ολοκληρωμένη διάσταση του χώρου είναι εξίσου σημαντικό με αυτό της «πληροφορικής» και επομένως η αναγκαιότητα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης της θεώρησης και της διερεύνησης του χώρου είναι επιτακτική.

Αλλά μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του Γεωγραφικού Χώρου είναι δυνατή μόνο μέσα από την εξέταση της φύσης και της εξέλιξης της Γεωγραφίας, που με τη σειρά τους καθορίζουν τον τρόπο θεώρησης και τις μεθόδους εξέτασής του. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι οι πρόσφατες αλλαγές των δύο αυτών διαστάσεων, γνωστές από τον επιστημολόγο Thomas Khun (1962) και ως αλλαγές υποδείγματος (paradigm shift), έχουν οδηγήσει στην πιο σύγχρονη έκφραση της ολοκληρωμένης προσέγγισης των διαστάσεων αυτών, δηλαδή της **Χωροπληροφορικής**. Ως αποτέλεσμα είναι αναγκαίο να αναφερθούν συνοπτικά οι αλλαγές και η σημερινή διαμόρφωση τόσο της θεώρησης όσο και της διερεύνησης του περιβάλλοντος.

## 2. Θεώρηση: Ο Χώρος

Όσον αφορά το συνολικό τρόπο θεώρησης του Γεωγραφικού Χώρου, αυτός παρουσιάζει διαχρονικά συνεχείς διαφοροποιήσεις και είναι αναπόφευκτα συνδεδεμένος την έννοια της ανάπτυξης. Κι αυτό γιατί χώρος και ανάπτυξη αποτελούν τις δύο όψεις του ίδιου νομίσματος. Επιγραμματικά, μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η ανάπτυξη αποτέλεσε για πολλά χρόνια τον κυριότερο στόχο όλων των χωρών και όλων των πολιτικών συστημάτων είχε μια μοναδική διάσταση (κυρίως οικονομική), όπου ο χώρος σαφώς δεν αποτελούσε θεμελιώδες ενδιαφέρον για κυβερνήσεις και απλούς πολίτες. Δηλαδή, η θέση ήταν μια μεταβλητή που την αγνοούσαν συστηματικά. Επιπλέον κάτω από αυτή τη θεώρηση κάθε επιστήμη εστιάζοταν αποκλειστικά στο δικό της αντικείμενο. Ως αποτέλεσμα, ο τρόπος που αντιμετωπίζονταν η Γεωγραφία, όπως και οι υπόλοιπες επιστήμες, ήταν **μονοεπιστημονικός**.

Χρειάστηκε η έντονη αμφισβήτηση της επιστημονικής κοινότητας, ώστε να συγκροτηθεί μια εναλλακτική της μονοεπιστημονικής θεώρησης, αυτή της «αειφόρου ή βιώσιμης» ανάπτυξης, η οποία, με σημαφόρο την επιτροπή Brundtland, την όρισε ως την ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να υποθηκεύει την ικανοποίηση των αναγκών των μελλοντικών γενεών. Στην περίπτωση αυτή, θεμελιώδες συστατικό της ανάπτυξης είναι ο γεωγραφικός χώρος με τη μορφή ενός συνόλου σχέσεων, αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων. Δηλαδή η έννοια της γεωγραφικής θέσης επανήλθε στο προσκήνιο και ο γεωγραφικός χώρος απέκτησε μια θέση στο επίκεντρο των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και ενδιαφερόντων. Κάτω από αυτή τη θεώρηση ο γεωγραφικός χώρος θεωρείται ότι αποτελείται από το σύνολο όλων των επιμέρους τμημάτων της πολυδιάστατης

## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

κοινωνικής και οικονομική πραγματικότητας. Αυτό βέβαια οδήγησε σε μια πολυεπιστημονική προσέγγιση του γεωγραφικού χώρου.

Σήμερα και αυτή η θεώρηση δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή. Υποστηρίζεται ότι υπάρχει ανάγκη για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση η οποία είναι ταυτόχρονα οικολογική, οικονομική, κοινωνική, τεχνική-τεχνολογική, πολιτική και πολιτισμική, σε διαλεκτική αρμονία και με σεβασμό στις διαστάσεις του χώρου (φυσικό και ανθρωπογενές), αναπόσπαστο μέρος του οποίου είναι ο άνθρωπος. Ως αποτέλεσμα, απαιτείται μια **διεπιστημονική** προσέγγιση η οποία οδηγεί σε μια ολοκλήρωση όλων των προσεγγίσεων για να ξεπεραστεί ο κατατεμαχισμός της γνώσης.

Είναι φανερό δηλαδή ότι παρουσιάζεται μια συνεχής διαφοροποίηση από την περιφρόνηση του χώρου, που είχε σαν αποτέλεσμα ένα **διασπασμένο** χώρο, στη θεώρησή του ως θεμελιώδους συστατικού της ανάπτυξης με τη μορφή ενός συνόλου σχέσεων, αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων της οικολογικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας δημιουργώντας έναν αειφόρο χώρο, σε μια θεώρηση τέλος όπου τα προηγούμενα αποτελούν μια διαλεκτική ενότητα, ένα οργανικό «όλο», όπως αναφέρει ο Ρόκος (2001), δημιουργώντας έναν **ολοκληρωμένο** χώρο (Koutsopoulos, 2005a).

### 3. Διερεύνηση: Η Γεωπληροφορική

Μέσα από μια τέτοια θεώρηση, όμως, ο χώρος για να μπορέσει να αποτυπωθεί, να αναλυθεί και να γίνει κατανοητός, απαιτεί σίγουρα μια διαλεκτική, διεπιστημονική μεθοδολογική προσέγγιση. Με άλλα λόγια, απαιτεί μια αντίστοιχη ολοκληρωμένη μεθοδολογική προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζετε ότι οι επιστημονικές προσεγγίσεις του γεωγραφικού χώρου έχουν υποστεί κι αυτές με τη σειρά τους μια αλλαγή, μια εξελικτική διαδικασία. Θεωρείται δηλαδή ότι τα εργαλεία επιστημονικής αντιμετώπισης του γεωγραφικού χώρου εκ των πραγμάτων οδηγούν προς μια νέα προσέγγιση, βασική συνισταμένη αυτού που στην παρούσα εισήγηση αποκαλείται Χωροπληροφορική. Κι' αυτό γιατί έξω από αυτή την προσέγγιση οι αναγκαίες διαδικασίες περιγραφής, ανάλυσης και σχεδιασμού δεν θα είναι εφικτές. Απαιτείται δηλαδή ένα καινούριο υπόδειγμα.

Το κλειδί στην κατανόηση της παραπάνω ανάγκης είναι η αποδοχή μιας διαδικασίας που ορίζεται από τη γρήγορη μετάβαση από ένα μοντέλο στηριζόμενο σε παραδοσιακές μεθόδους σε ένα άλλο που βασίζεται στην εξέταση του χώρου με υπολογιστές και τέλος στο σημερινό όπου η ολοκλήρωση(integration) παίζει τον κεντρικό ή καθοριστικό ρόλο. Πραγματικά και η μεθοδολογική προσέγγιση του γεωγραφικού χώρου παρουσιάζει μια κατά Κuhn αλλαγή υποδείγματος, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

#### 3.1. Το Παραδοσιακό Υπόδειγμα

Το παραδοσιακό υπόδειγμα (Σχήμα 1), που εφαρμόστηκε μέχρι το τέλος του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, ξεκινά με την παρατήρηση (συλλογή στοιχείων) και τελειώνει (τις πιο πολλές φορές) με έναν χάρτη ως το τελικό αποτέλεσμα. Τα στοιχεία συλλέγονται μέσα από παραδοσιακές πρωτογενείς (π.χ. τηλεπισκόπηση) ή δευτερογενείς πηγές (στατιστική υπηρεσία) και κατόπιν υφίστανται επεξεργασία (προσαρμογή) και αναλύονται με στόχο την παρουσίαση της δημιουργημένης πληροφορίας, συνήθως με τη χρήση κάποιας χαρτογραφικής απεικόνισης.



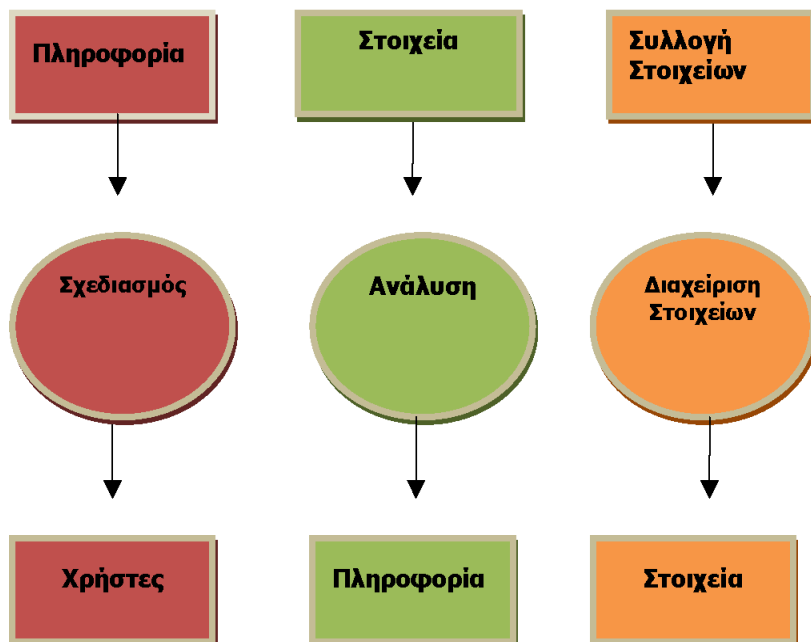
Σχήμα 1. Το παλαιό Μοντέλο

### 3.2. Το Υπόδειγμα της Γεωπληροφορικής

Σήμερα οι μικροεπεξεργαστές με τους αυτοματισμούς που διαθέτουν έχουν μεταλλάξει αυτό το παραδοσιακό μοντέλο προσέγγισης των φαινομένων του γεωγραφικού χώρου δημιουργώντας έναν νέο μοντέλο το οποίο λειτουργεί σε τρία στάδια αντί για το ενιαίο (ενός σταδίου) παλιό μοντέλο (Σχήμα 2). Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία των Η/Υ έχει αλλάξει τον τρόπο που συλλέγονται και επεξεργάζονται τα χωρικά στοιχεία (πρώτο στάδιο). Δημιουργώντας ένα σύστημα πληροφοριών που έχει αντικαταστήσει τον χάρτη, τους πίνακες ή τους δείκτες του παλαιού μοντέλου και το οποίο εμπεριέχει ψηφιακά «επίπεδα» για μια σειρά από φυσικές-οικολογικές κυρίως, αλλά και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με το γεωγραφικό χώρο

Η ανάλυση (το δεύτερο στάδιο) είναι η διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία και σχετίζεται με ένα φάσμα μεθόδων και διαδικασιών τα οποία ολοκληρώνονται επιτυχώς κυρίως χάρη στη βοήθεια της Πληροφορικής. Ο σχεδιασμός, το τρίτο στάδιο, αναφέρεται ουσιαστικά στην αποδοτική χρήση της πληροφορίας για την επίλυση των χωρικών προβλημάτων που αφορούν μια πολυποικίλη ομάδα χρηστών και οι οποίοι, δυστυχώς, δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε επιστημονικές προσεγγίσεις.

Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτό το υπόδειγμα έχει αλλάξει ο τρόπος που συλλέγονται και επεξεργάζονται τα χωρικά στοιχεία. Πρέπει να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε ανασκόπηση μελετών, έργων κλπ για την επίλυση χωρικών προβλημάτων έχει δείξει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δαπανών τους (πολλές φορές φθάνουν το 90%) αφορούν στη συλλογή στοιχείων σε ψηφιακή μορφή και στη δημιουργία μηχανισμού για την αποθήκευση, επεξεργασία και διαχείριση των στοιχείων αυτών. Δηλαδή στη δημιουργία ενός συστήματος πληροφοριών που έχει αντικαταστήσει τον χάρτη ή τους πίνακες του παλαιού μοντέλου και το οποίο εμπεριέχει ψηφιακά «επίπεδα» για μια σειρά από οικονομικές, πολιτισμικές και άλλες ανθρώπινες και μη δραστηριότητες που από τη φύση τους είναι χωρικές.



Σχήμα 2. Το Μοντέλο της Πληροφορικής

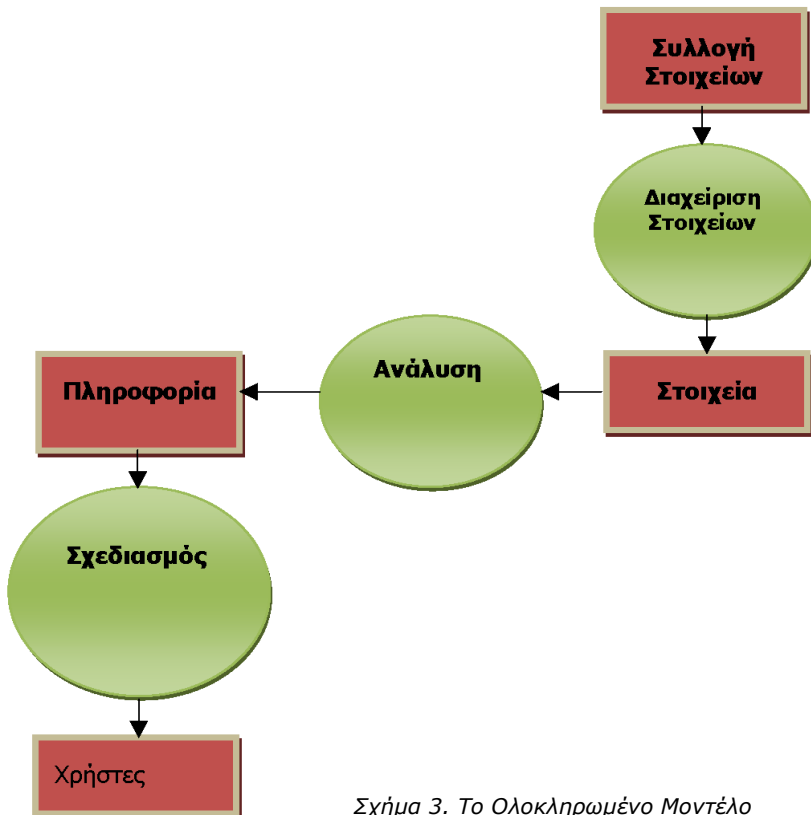
## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

### 3.3. Το Νέο Υπόδειγμα της Χωροπληροφορικής

Τα παραπάνω στάδια (επεξεργασία, ανάλυση και σχεδιασμός) στο προηγούμενο μοντέλο θεωρούνται ως ανεξάρτητες και αλληλοσυγκρουόμενες διαδικασίες. Μια τέτοια θεώρηση, όμως, είναι σίγουρα επιστημονικά ρηχή, λογικά αθεμελίωτη και κυρίως δεν περιέχει την αρχή της ολοκλήρωσης, η οποία είναι αναγκαία στο σημερινό διαλεκτικό περιβάλλον (επιστημονικό, φυσικό και κοινωνικό). Δηλαδή, οι τρεις προσεγγίσεις του δεύτερου μοντέλου είναι απόλυτα συσχετισμένες και όχι ανεξάρτητες, σκόπιμα συμπληρωματικές και όχι συγκρουόμενες και επομένως μπορούν να «ολοκληρωθούν» σε ένα «όλο». Ως αποτέλεσμα, μπορούν να θεωρηθούν ως τα τμήματα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης αντιπροσωπεύοντας μια «ολιστική» μεθοδολογία (Σχήμα 3).

Η χωρική ανάλυση (το δεύτερο στάδιο) είναι η διαδικασία από στοιχεία σε πληροφορία και σχετίζεται με ένα φάσμα μεθόδων και διαδικασιών τα οποία ολοκληρώνονται επιτυχώς κυρίως χάρη στη βοήθεια της Πληροφορικής. Και είναι ακριβώς αυτός ο λόγος που η ανάλυση αποτελεί το κεντρικό στάδιο όχι μόνο σχηματικά αλλά και ουσιαστικά στην εξέταση του χώρου

Ο σχεδιασμός, το τρίτο στάδιο, αναφέρεται ουσιαστικά στην αποδοτική χρήση της (χωρικής κυρίως) πληροφορίας για την επίλυση καθημερινών προβλημάτων του χώρου. Τα παραπάνω στάδια ή οι επιμέρους στόχοι όμως απαιτούν εργαλεία ευρέως αποδοτικά και επιστημονικά επαρκή για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, με αποτέλεσμα η διαδικασία αυτή να μην μπορεί να ολοκληρωθεί χωρίς τη βοήθεια της Χωροπληροφορικής.



Σχήμα 3. Το Ολοκληρωμένο Μοντέλο

### 3.3. Το Νέο Υπόδειγμα της Χωροπληροφορικής

Οι τρεις προσεγγίσεις της Γεωπληροφορικής (διαχείριση, ανάλυση και σχεδιασμός) θεωρούνται ως ανεξάρτητες και επομένως αντιφατικές προσεγγίσεις. Κάτω από τη σημερινή πραγματικότητα, όμως, όπου η έννοια της ολοκλήρωσης αποτελεί τη θεμέλιο λίθο της επιστημονικής σκέψης, μια τέτοια προσέγγιση είναι επιστημονικά απορριπτέα και λογικά αβάσιμη. Αντίθετα, οι διαστάσεις αυτές μπορούν να ιδωθούν σαν επιστημονικά πεδία που έχουν κοινό τόπο τη χωρική διάσταση και επομένως είναι αλληλοσχετιζόμενα και αποτελούν τμήματα μιας ολοκληρωμένης χωρικής προσέγγισης της Χωροπληροφορικής.

Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνικές της Γεωπληροφορικής είναι συστήματα πληροφοριών αλλά δεν εκφράζονται αποκλειστικά ως τέτοια. Το ίδιο ισχύει και με το ρόλο τους ως αναλυτικά ή σχεδιαστικά εργαλεία. Σαφώς τα εργαλεία της Γεωπληροφορικής είναι πραγματικά από τα καλύτερα εργαλεία ανάλυσης αλλά σίγουρα δεν στοχεύουν αποκλειστικά στη χωρική ανάλυση. Ομοίως είναι και εργαλεία σχεδιασμού αλλά δεν είναι αποκλειστικά μόνο αυτής της μορφής εργαλεία. Κάποιος μπορεί να σχεδιάσει ακριβείς, κατατοπιστικούς και όμορφους χάρτες με τη χρήση τους, αλλά αυτό δεν αποκλείει κάποιον άλλο να εφαρμόσει μια πολύπλοκη χωρική ανάλυση με τη βοήθειά τους.

Συμπερασματικά, επιστημονική τεκμηρίωση, εμπειρικά αποτελέσματα και κοινή λογική υποδεικνύουν ότι οι τρεις προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα είναι επιστημονικά πεδία που έχουν ως κοινό παρονομαστή τη χωρική διάσταση, σχετίζονται πλήρως μεταξύ τους, είναι συμπληρωματικά και όλα είναι διαστάσεις μιας ολοκληρωμένης χωρικής προσέγγισης. Αποτελούν δηλαδή μια έκφραση της έννοιας της ολοκληρωμένης προσέγγισης που καλύπτει επιμέρους προσεγγίσεις του νέου υποδείγματος της Γεωγραφίας, της **Χωροπληροφορικής**.

Πραγματικά, έχει αποδειχθεί ότι οι διαφορετικές ιδέες που έχουν κατά καιρούς εκφρασθεί για τη Γεωπληροφορική και τις εφαρμογές της, μπορούν να συμπτυχθούν σε τρεις ξεχωριστές ομάδες που είναι αλληλένδετες μεταξύ τους (Κουτσόπουλος, 2002· Koutsopoulos, 2004), συνδέονται στενά, συσχετίζονται και κυρίως μπορούν να ενοποιούνται σε ένα οργανικό σύνολο (Κουτσόπουλος, 2005β).

Από την προηγούμενη συζήτηση πρέπει να έγινε σαφές ότι το υπόδειγμα της Γεωπληροφορικής στον τρόπο αντιμετώπισης του χώρου μέχρι πρόσφατα διεπόταν από την αντίληψη ότι υπάρχει τοπικό και όχι παγκόσμιο βέλτιστο. Με άλλα λόγια, το τι είναι οι τεχνικές της Γεωπληροφορικής και τι μπορούν να επιτύχουν είναι τα αποτελέσματα ερμηνείας ή η εφαρμογή καθορίζει τα εργαλεία.

Μια τέτοια άποψη όμως, σαφώς παραβιάζει την επιστημονική δεοντολογία και μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνους ατραπούς. Αντίθετα, πιστεύεται ότι όλες αυτές οι ιδέες αποτελούν μικρά τμήματα ενός συνολικού «παζλ» που αφορά το γεωγραφικό χώρο. Δηλαδή, οι ιδέες που εκφράστηκαν από επιστήμονες (όπως οι Geertman, 1997; Goodchild, 1991; Maquire, 1991; Openshaw, 1991; Tomlin, 1991) απλώς αποτελούν τα τμήματα ενός πλαισίου που σχετίζεται με την εφαρμογή του νέου υποδείγματος της Γεωγραφίας στο γεωγραφικό χώρο και πιο συγκεκριμένα αποτελούν τα συμμετέχοντα τμήματα στα τρία στάδια του υποδείγματος της Χωροπληροφορικής που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα

Συμπερασματικά θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια η επιστήμη μας μέσα από την παράλληλη εξέλιξη του τρόπου που θεωρούμε το γεωγραφικό χώρο και τις μεθόδους που τον διερευνούμε, έχει διέλθει μέσα από την αλλαγή τριών επιστημονικών υποδειγμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.

## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο



Σχήμα 4. Αλλαγές Υποδειγμάτων στη Γεωγραφία

## Βιβλιογραφία

Geertman, S. (1997), «Geographical Information Technology as a Planning Tool» Proceedings, Third Joint European Conference on GIS, Vienna, pp. 708-717.

Goodchild, M.F. (1991), "The Technological Setting of GIS". In M.J., Maguire et al (eds.) Geographical Information Systems: Principles and Applications, London, Longman, Vol.1, pp. 45-54.

Khun, S.T. (2002), The Structure of Scientific Revolution. Chicago: University of Chicago.

Κουτσόπουλος, Κ. (2002), Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου, Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Koutsopoulos, K. (2004), «What's European about European Geography? The Case of IT in Europeanization», HERODOT Meeting on Europeanization of Geographical Education and Curriculum, Tartu, Estonia.

Maguire, M.J. (1991), «An Overview and Definition of GIS». In M.J., Maguire et al (eds.), Geographic Information Systems: Principles and Applications, London, Longman, Vol.1, pp. 9-20.

Openshaw, S. (1994), «G.I.S. Crimes and Spatial Analysis». Proceedings of GIS and Public Policy Conference. Ulster UK, Ulster Business School, pp. 22-35.

Ρόκος, Δ. (2000), «Τεχνολογία, Πολιτισμός και Αποκέντρωση. Μια απόπειρα ολοκληρωμένης θεώρησης προσέγγισης και ανάλυσης των πολυδιάστατων σχέσεων, αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων τους στα επίπεδα της πολιτικής και της κοινωνίας», Ουτοπία, τ.41, Αθήνα, σελ. 121-135.

Tomlin, D.C. (1991), «Cartographic Modeling». In M.J., Maguire et al (eds.), Geographical Information Systems: Principles and Applications, London, Longman, Vol.1, pp. 361-374.





**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# Γεωμορφολογία





## ΥΠΟΓΕΝΗ ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΣΠΗΛΙΑ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟ ΜΕΛΙΣΣΟΤΡΥΠΑ ΣΤΗΝ ΕΛΑΣΣΟΝΑ, Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ

Βαξεβανόπουλος Μ.

*Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,  
54124, Θεσσαλονίκη, Vaxevanopoulos@hotmail.com*

### Περίληψη

Τα υπογενή καρστικά σπήλαια δημιουργούνται κυρίως από διαλύματα των οποίων η διαλυτική δράση αποκτάται στο βάθος των ανθρακικών πετρωμάτων. Η γένεση και εξέλιξη των υπογενών σπηλαίων καθορίζεται από την κυκλοφορία διαλυμάτων εμπλουτισμένων σε  $H_2S$  και  $CO_2$  και δευτερευόντως από τη δράση του μετεωρικού νερού. Τα υπογενή αυτά διαλύματα καθορίζουν τον τρόπο και το ρυθμό διάλυσης του ανθρακικού πετρώματος ενώ η διεύθυνση της σπηλαιογένεσης καθορίζεται από τις ασυνέχειες και τη λιθολογία του μητρικού πετρώματος.

Το σπήλαιο Μελισσότρυπα βρίσκεται στο Κεφαλόβρυσο της Ελασσόνας Ν.Λάρισας και αποτελεί τη σημαντικότερη γνωστή υπόγεια καρστική μορφή του καρστικού συστήματος της Κρανιάς Ελασσόνας. Διανοίγεται σε μάρμαρα της συνεχούς ανθρακικής σειράς της Κρανιάς. Αποτελεί καρστικό υπογενές σπήλαιο, το οποίο έχει περάσει από τη φρεατική φάση σπηλαιογένεσης στη ζώνη κατείσδυσης. Η υπογενής προέλευσή του αποδεικνύεται από τις εναπομένουσες μορφές διάλυσης και ανάπτυξης του σπηλαίου, τα σπηλαιοθέματα γύψου και τον εντοπισμό  $H_2S$  στις λίμνες του σπηλαίου. Η σπηλαιογένεση ακολούθησε τις επικρατούσες τεκτονικές ασυνέχειες και σήμερα συνεχίζεται πιθανά στη φρεατία ζώνη, κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα λόγω της δράσης των υπογενών διαλυμάτων. Πάνω από την επιφάνεια αυτή δρουν οι διαδικασίες της ζώνης κατείσδυσης. Οι παλιοί φρεατικοί αγωγοί πλέον καταστρέφονται δίνοντας τη θέση τους σε μορφές που δημιουργούνται από τη δράση του μετεωρικού νερού.

### HYPOGENIC KARSTIC CAVES. CASE STUDY OF MELISSOTRIPA CAVE IN ELASSONA, LARISSA PREFECTURE, GREECE

Vaxevanopoulos M.

*Department of Geology Faculty of Geology, Aristotelio University of Thessaloniki,  
54124, Thessaloniki, Vaxevanopoulos@hotmail.com*

### Abstract

Hypogenic karstic caves owe their origin to groundwater activity in carbonate rocks. **Fluid's acidity is gained** at depth of the rocks and their seeping controls the genesis and evolution of hypogenic caves. **The water's aggressiveness results from  $H_2S$  and  $CO_2$**  components and is linked to confined or rising flow, without the direct influence of meteoric water. Hypogenic fluids control the dissolution rate of the carbonate rocks but the main cave axes depend on the penetrative discontinuities and the lithology of karstic rocks.

Melissotripa cave is located in Kefalovriso village of Elassona city, Larissa prefecture, and constitutes the most important known karstic formation. The entire cave system is developed in the neritic carbonate Kranea unit. Melissotripa cave is a hypogenic karstic cave and its speleogenesis has passed from confined processes to vadose zone evolution phase. Hypogenic origin is being proved by the remain dissolution morphologies, gypsum speleothems and the  $H_2S$  in the lakes of the cave. Melissotripa cave has been developed

under water table from hypogenic solutions following the main tectonic discontinuities. Joints and faults are the planar breaks that have served the principal structural guides for underground flows. The area's uplift leads the phreatic formed cave to the vadose zone where the phreatic tubes are destroyed under the air filled corrosion phenomena.

**Λέξεις κλειδιά:** καρστ, υπογενή σπήλαια, φρεάτια ζώνη, σπηλαιοθέματα, ζώνη κατεισδυσης, ασυνέχειες.

**Key words:** karst, hypogenic caves, phreatic zone, speleothems, vadose zone, discontinuities.

## 1. Εισαγωγή

Η δημιουργία και η εξέλιξη των καρστικών σπηλαίων γενικά εξαρτάται από τη διάλυση που προκαλεί το εμπλουτισμένο σε CO<sub>2</sub> νερό. Τα κατακρημνίσματα κατεισδύουν στη μάζα των ανθρακικών πετρωμάτων και αποτελούν τους βασικούς τροφοδότες σε δξίνο νερό μεγάλων υπογείων καρστικών μορφών. Τα περισσότερα σπήλαια που έχουν εξερευνηθεί ακολουθούν τον κανόνα της διάλυσης από διαλύματα προερχόμενα από το επιφανειακό καρστ ενώ πολύ λίγο έχει μελετηθεί η επίδραση των υπογενών διαλυμάτων.

Η κύρια διαλυτική ικανότητα του νερού που κατεισδύει στο υπόγειο καρστικό περιβάλλον οφείλεται στο γεγονός ότι προσλαμβάνει στην επιφάνεια το CO<sub>2</sub>, το οποίο μετατρέπεται σε H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ένα ισχυρό διαλυτικό μέσο. Αντίθετα στα υπογενή σπήλαια το H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, που προέρχεται από την οξειδωση του H<sub>2</sub>S, αποτελεί το βασικό διαλυτικό μέσο. Τελευταίες σπηλαιολογικές έρευνες σε διάφορα μέρη του κόσμου αποδεικνύουν την υπογενή προέλευση σπηλαίων που μέχρι σήμερα θεωρούνταν ως τυπικά καρστικά με αίτιο δημιουργίας τα επιφανειακά κατακρημνίσματα. Τα υπογενή σπήλαια αντιπροσωπεύουν περίπου το 5-7% των φρεατικών σπηλαίων (Forti, 1996) και αποτελούν κλειδί στην έρευνα του πετρελαίου, κοιτασμάτων χρυσού και στη γεωμικροβιολογία.

## 2.Υπογενή σπήλαια

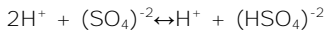
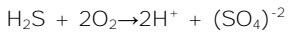
Το νερό καθίσταται ισχυρό διαλυτικό μέσο όταν εμπλουτίζεται σε CO<sub>2</sub>. Ομοίως, η παρουσία H<sub>2</sub>S ισχυροποιεί τη διαλυτική δράση ανερχομένων διαλυμάτων, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία μιας σειράς καρστικών σπηλαίων. Τα σπήλαια αυτά καλούνται υπογενή (*Hypogenic Caves*). Υπογενή ονομάζονται τα σπήλαια που δημιουργούνται από τη δράση διαλυμάτων των οποίων η διαβρωτική δράση αποκτήθηκε στο βάθος του ανθρακικού πετρώματος (Palmer, 2000). Στα διαλύματα που προέρχονται από το εσωτερικό του πετρώματος και όχι από την κατεισδυση όμβρου περιέχεται σε αέρια φάση H<sub>2</sub>S και CO<sub>2</sub>. Το H<sub>2</sub>S προκαλεί φυσικοχημικές διαδικασίες διάβρωσης του πετρώματος και απόθεσης του διαβρωμένου υλικού, σε αντίθεση με το CO<sub>2</sub> που διαβρώνει μόνο σε μικρή κλίμακα (Forti et al, 2002).

Η διαλυτική δράση των διαλυμάτων οφείλεται στην αρχική παρουσία του S-2. Συνήθως δεν έχουν σχέση με τη διάλυση που πραγματοποιεί το εμπλουτισμένο σε CO<sub>2</sub> νερό στη ζώνη κατεισδυσης αλλά κυρίως στη φρεάτια ζώνη. Τις περισσότερες φορές η δημιουργία των υπογενών σπηλαίων εντοπίζεται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα όπου το νερό της κατεισδυσης αναμιγνύεται με το πλούσιο σε H<sub>2</sub>S διάλυμα. Η παρουσία αυτού του είδους των σπηλαίων είναι περισσότερο συχνή σε περιοχές με ενεργές ορογενετικές διαδικασίες (Palmer, 2000).

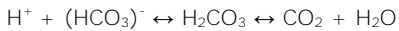
Η πηγή του S-2 μπορεί να είναι ένα κοίτασμα σουλφιδίων, υδρογονανθράκων ή πιο συχνά η παρουσία ενστρώσεων γύψου ή ανυδρίτη στο μητρικό πέτρωμα ή σε γεινιάζουσα ιζηματογενή λεκάνη (Palmer & Hill, 2005). Η παραγωγή H<sub>2</sub>S από θειικές ενώσεις πολλές φορές υποβοηθάται από την παρουσία βακτηριδίων. Η παρουσία άφθονων πληθυσμών χημειοαυτότροφων μικροοργανισμών, που συντελούν κατά μεγάλο ποσοστό στην παραγωγή

σουλφιδίων, είναι αυτή που θα οδηγήσει στη δημιουργία ικανοποιητικών συνθηκών για σπηλαιογένεση (Palmer and Hill, 2005).

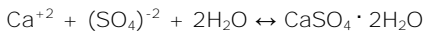
Η διαδικασία συνεχίζεται με την παραγωγή θειικού οξέος και άλλων όξινων θειικών ενώσεων ως ενδιάμεσων προϊόντων:



Στη συνέχεια το θειικό οξύ διαβρώνει το μητρικό ανθρακικό πέτρωμα:



Προοδευτικά η μερική πίεση του  $\text{CO}_2$   $P_{\text{CO}_2}$  αυξάνεται ενώ σε αργές ροές καθιζάνει γύψος:



Εξαιτίας της αντίδρασης των οξέων, το pH συνήθως παραμένει ουδέτερο (pH=6-7).

Ένα τυπικό υπογενές σπήλαιο αποτελείται από μία κεντρική περιοχή, όπου συντελείται η κύρια διάλυση, και συνδέεται με αγωγούς με λαβυρινθώδη δομή. Οι μικροί αγωγοί που συγκροτούν το λαβύρινθο τροφοδοτούν το σύστημα με διαλύματα πλούσια σε  $\text{H}_2\text{S}$  (Palmer and Hill, 2005). Τα ανερχόμενα διαλύματα αποβάλουν στον αέρα  $\text{H}_2\text{S}$  και  $\text{CO}_2$  και πραγματοποιείται διάλυση από τους υδρατμούς, που συγκρατούν αυτές τις ενώσεις και διαβρώνουν τα τοιχώματα του σπηλαίου. Η συμπύκνωση των υδρατμών που συντελείται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας των αερίων διαλυμάτων και των τοιχωμάτων του σπηλαίου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του σπηλαίου. Η πιο χαρακτηριστική μορφή διάλυσης που δημιουργείται από τη συμπύκνωση και τη διάβρωση που ακολουθεί είναι οι θόλοι στις οροφές των υπογενών σπηλαίων. Επιπλέον, το  $\text{CaCO}_3$  της διάλυσης των τοιχωμάτων μεταφέρεται προς τα κάτω με τριχοειδείς διαδικασίες και δημιουργεί σπηλαιοθέματα, κυρίως κοραλλοειδή και ινώδη συσσωματώματα.

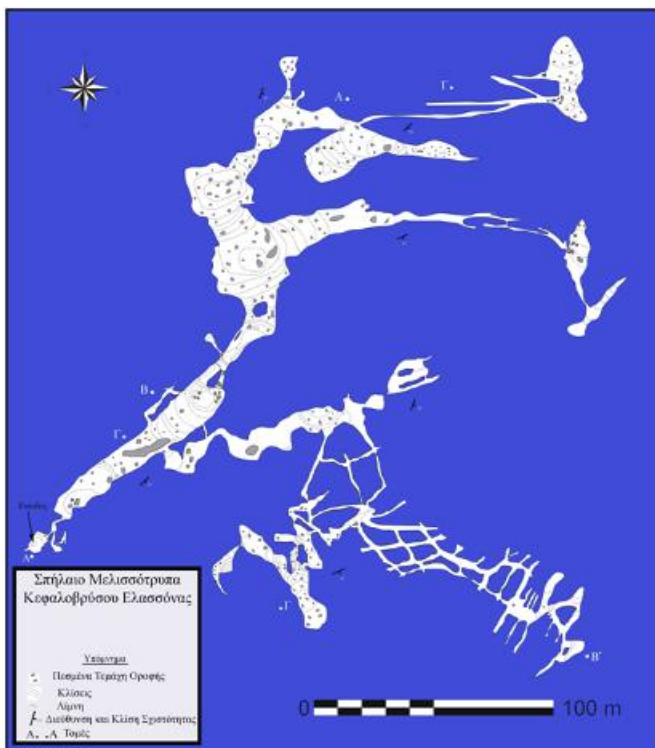
Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις υπογενών σπηλαίων απουσιάζουν τα υδροθερμικά διαλύματα με υψηλές θερμοκρασίες, η αντίδραση παραγωγής σουλφιδίων συντελείται κυρίως με τη βοήθεια βακτηριδίων (*Thiobacillus sp.*, *Thiotrix sp.*) Τα τελευταία έχουν εντοπιστεί σε διάφορα υπόγεια έγκοιλα (Forti et al, 2002).

Βασικό πρόβλημα στη διάγνωση της υπογενούς προέλευσης ενός σπηλαίου είναι το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά του διαβρώνονται από τις διαδικασίες που επιτελούνται στη ζώνη κατείδυσης. Το ποσοστό αυτών των σπηλαίων ίσως είναι μεγαλύτερο από ότι πιστεύουμε σήμερα, διότι είναι πολύ δύσκολο να διαπιστώσουμε και να εντοπίσουμε υπολείμματα υπογενών διαλυμάτων.

### 3.Σπήλαιο Μελισσότρυπα Κεφαλοβρύσου

Η Μελισσότρυπα Κεφαλοβρύσου αποτελεί τη σημαντικότερη γνωστή υπόγεια καρστική μορφή του καρστικού συστήματος της Κρανιάς Ελασσόνας. Το σπήλαιο καλύπτει έκταση 0,06km<sup>2</sup> και έχει συνολικό μήκος χαρτογραφημένων διαδρόμων περίπου 2103,6m. Το υψόμετρο στην περιοχή του στομίου της εισόδου είναι 299m (συσχετισμένη μέτρηση G.P.S.) ενώ στο εσωτερικό του φθάνει σε βάθος μέχρι και -47,3m δηλαδή σε απόλυτο υψόμετρο 251,7m. Το βάθος της βαραθρώδους εισόδου του είναι 14,6m.

Αποτελείται από έναν κύριο αγωγό ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (σχήμα 1) με μήκος περίπου 110m, μέσο πλάτος και ύψος 6m και 6,4m αντίστοιχα και ορίζεται από δύο μεταπτωτικά ρήγματα. Εκτείνεται από την περιοχή της εισόδου έως τα βόρεια τμήματα του σπηλαίου.



Σχήμα 1. Κάτοψη του σπηλαιού Μελισσότρυπα (Βαξεβανόπουλος, 2006)

Εκεί αγωγοί διεύθυνσης Α-Δ συνδέουν μεγάλες αίθουσες στις οποίες παρατηρούνται έντονες καταρρεύσεις τεμαχών της οροφής. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μελισσότρυπας οι αγωγοί έχουν μικρότερες διαστάσεις και δομή λαβυρίνθου. Στο κεντρικό τμήμα του σπηλαιού υφίστανται οι δύο μεγαλύτεροι θάλαμοι με διαστάσεις 33x50x 8,5m (μήκος x πλάτος x ύψος) ο νότιος θάλαμος και 19x31,8x 7,6m ο βόρειος. Ο νοτιότερος θάλαμος είναι και ο μεγαλύτερος της Μελισσότρυπας.

### 3.1 Γεωλογία της περιοχής του σπηλαιού

Στην περιοχή της Κρανιάς κυριαρχούν τα πετρώματα της Πελαγονικής Ζώνης και μιας συνεχούς ανθρακικής σειράς. Η ανθρακική αυτή σειρά θεωρείται σχετικά αυτόχθονη και αποτελεί το τεκτονικό παράθυρο της Κρανιάς (Katsikatsos *et al* 1986, Kiliias and Mountrakis 1987, Stamatis and Migiros 1993 από Μανάκο, 1999). Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται η ανθρακική σειρά του τεκτονικού παραθύρου της Κρανιάς, το Πελαγονικό κάλυμμα και οι επωθημένοι οφιόλιθοι.

Το σπήλαιο αναπτύσσεται σε μάρμαρα Μεσοζωικής ηλικίας της συνεχούς ανθρακικής σειράς της Κρανιάς. Η είσοδος της Μελισσότρυπας διανοίγεται σε κορήματα που επικάθονται σε εντόνων τεκτονισμένα μάρμαρα λόγω της ύπαρξης μεταπτωτικού ρήγματος διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ.

Στην περιοχή του σπηλαιού της Μελισσότρυπας εμφανίζονται οι σειρές της Ελασσόνας, που ανήκουν στο Πελαγονικό κάλυμμα (Sfeikos, 1992), αποτελούμενες από το πολυμεταμορφωμένο κρυσταλλικό υπόβαθρο γνευσίων και σχιστολίθων. Η ακολουθία αυτή μεταβαίνει βαθμιαία προς τα κάτω σε γνευσιοσχιστόλιθους, χωρίς να είναι εύκολος ο

διαχωρισμός τους, αφού δεν υπάρχει ασυμφωνία. Πρόκειται για γνευσιοσχιστόλιθους σε εναλλαγές με σχιστόλιθους, αμφιβολιτικούς γνεύσιους, πρασινοσχιστόλιθους, επιδοπτικούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους (Ι.Γ.Μ.Ε., 1982). Μέσα στους γνευσιοσχιστόλιθους υφίστανται παρεμβολές μαρμάρων.

Η γεωμορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από γενικά έντονο ανάγλυφο, ιδιαίτερα στην περιοχή του σπηλαίου. Επιφανειακά παρατηρούνται δακτυλιογλυφές, ίχνη βροχής και άλλες μικρές μορφές του επιφανειακού καρστ ενώ μεγάλες επιφανειακές καρστικές μορφές όπως δολίνες και πόλγες δεν έχουν εντοπιστεί. Βορειοανατολικά του σπηλαίου υφίσταται η πηγή του Κεφαλοβρύσου που αποτελεί τη μοναδική εκφόρτιση του καρστικού συστήματος της Κρανιάς (Μανάκος, 1999).

### 3.2 Υδρογεωλογία

Το σπήλαιο Μελισσότρυπα ανήκει στο ευρύτερο καρστικό σύστημα της Κρανιάς Ελασσόνας. Το καρστικό σύστημα έχει έκταση πάνω από 90km<sup>2</sup> και δημιουργείται στην αυτόχθονη ανθρακική σειρά της Κρανιάς πάχους 1850m περίπου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1982). Η σειρά αυτή εμφανίζεται με τρεις διακριτούς λιθοστρωματογραφικούς ορίζοντες. Ο βαθμός καρστικοποίησης μειώνεται από τα ανώτερα μέλη της σειράς προς τα κατώτερα. Η κατώτερη σειρά εμφανίζει μια δολομιτωμένη ένσθρωση, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της υπόγειας καρστικής υδροφορίας. Η υπόγεια στάθμη του καρστικού υδροφορέα για το χρονικό διάστημα 1988-1993 κυμάνθηκε σε απόλυτα υπόμετρα μεταξύ 255,17 έως 257,68m (Μανάκος, 1999). Μέσα στο σπήλαιο της Μελισσότρυπας καταγράφεται σε υψόμετρο 251,7m (μέτρηση 12-12-2005). Όπως προκύπτει από τα συμπεράσματα της έρευνας του Μανάκου στην περιοχή (Μανάκος, 1999), η τροφοδοσία του συστήματος πραγματοποιείται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχεται η ελεύθερη επιφάνεια των μαρμάρων και από τα επιφανειακά νερά των υδρορρεμάτων Δεσκάτης και Δασοχωρίου (Παλιομάντανου).

*Πίνακας 1. Ανάλυση των υδάτων και του αέρα της Μελισσότρυπας (Βαξεβανόπουλος, 2006) σε σύγκριση με τις εισόδους και τις πηγές άλλων υπογενών σπηλαίων. Πηγή στοιχείων για τα υπόλοιπα υπογενή σπήλαια από Palmer and Hill 2005.*

	Μελισσότρυπα	Lower Kane inlets	Villa Luz spring
pH	7	7.0	7.14
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	68	97	393
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	13.67	31	88
(HCO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> (mg/L)	176	218	477
H <sub>2</sub> S (mg/L)	1.25	6±1.5	17.5±3
CO <sub>2</sub> (αέρα)	0.04-0.22% κ.ο.	0.05-0.14% κ.ο.	3% κ.ο.

Η ανάλυση των υδάτων των λιμνών του σπηλαίου έδειξε παρουσία H<sub>2</sub>S (Πίνακας 1), το οποίο διαλύει με τις ανάλογες αντιδράσεις το CaCO<sub>3</sub>. Οι λίμνες αυτές αποτελούν επιφανειακή έκφραση του υδροφόρου ορίζοντα και παρουσιάζουν ανάλογη αυξομείωση στη στάθμη τους.

Η καρστικοποίηση της συνεχούς ανθρακικής σειράς της Κρανιάς λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την αποκάλυψη του πρώτου φακού αυτών των πετρωμάτων (~Άνω Ολιγόκαινο). Οι περιοχές αυτών των φακών είναι που τροφοδοτούν με όξινο νερό το υπόγειο καρστ. Στη μάζα των ανθρακικών πετρωμάτων και σε βάθος δημιουργούνται φρεατικές μορφές, παρά την παρουσία του υπερκείμενου Πελαγονικού καλύμματος και αυτό λόγω της δράσης των υπογενών διαλυμάτων H<sub>2</sub>S. Αποδεικνύεται, λοιπόν, ότι οι φρεατικές μορφές σπηλαίων δεν είναι απαραίτητο να τροφοδοτούνται από την επιφάνεια με όξινο νερό. Είναι δυνατό να δημιουργείται υπόγεια καρστική μορφή σε ανθρακικό πέτρωμα υποκείμενο πετρώματος μη επιδεκτικού σε καρστικοποίηση από τη δράση υπογενών διαλυμάτων. Στις περιοχές της σειράς της Κρανιάς που έχουν αποκαλυφθεί δημιουργούνται παράλληλα και σπήλαια στη

ζώνη κατείδυσης λόγω της κατά βάθος διάβρωσης.

### 3.3 Σπηλαιοθέματα

Η μέγιστη συγκέντρωση χημικών ιζημάτων στο σπήλαιο Μελισσότρυπα εντοπίζεται στο νότιο τμήμα του σπηλαίου. Τα πιο κοινά σπηλαιοθέματα είναι οι σταλακτίτες, σταλαγμίτες, κολώνες, ρεόλιθοι και ελικτίτες.

Τα κοραλλοειδή και οι βελόνες είναι επίσης διαδεδομένα σπηλαιοθέματα στο σπήλαιο. Τα κοραλλοειδή είναι βοτρυοειδή, σφαιρικά, κομβοειδή ασβεστιτικά συγκρίματα που μοιάζουν με κοράλλια. Παρουσιάζουν συγκεντρικής ανάπτυξης δακτυλίους στους οποίους οι κρύσταλλοι είναι κάθετοι και ακτινωτά γύρω από το κοραλλοειδές. Τα συγκεντρικά στρώματα έχουν διαφορετικό χρώμα, λάμψη, μέγεθος και σχήμα κρυστάλλων. Στο σπήλαιο Μελισσότρυπα τα κοραλλοειδή δημιουργούνται από τη διάβρωση που προκαλεί η συμπύκνωση υδρατμών στα τοιχώματα του σπηλαίου και τη μετέπειτα μεταφορά και απόθεση  $\text{CaCO}_3$  λόγω τριχοειδών φαινομένων. Από το Νοέμβριο έως τον Απρίλιο η συμπύκνωση των υδρατμών (που περιέχουν  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{S}$ ) είναι μέγιστη με αποτέλεσμα να διαλύεται και να επαναποτίθεται  $\text{CaCO}_3$  του πετρώματος ενώ από το Μάιο έως τον Οκτώβριο η κρυστάλλωση του  $\text{CaCO}_3$  που προκαλείται είναι μέγιστη. Χαρακτηριστικό αυτού είναι ότι η κύρια μάζα των κοραλλιών δημιουργείται κάτω από μια γραμμή, τη γραμμή της συμπύκνωσης των υδρατμών. Τα ρεύματα αέρος είναι αυτά που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη και το μέγεθός τους.

Οι βελόνες σχηματίζουν ακτινωτές ομάδες κρυστάλλων. Το χρώμα τους είναι λευκό μέχρι και γαλάζιο. Το μήκος των βελονών γενικά κυμαίνεται από μερικά mm μέχρι και 4cm και η σύστασή τους είναι αραγωνιτική. Η δημιουργία τους σχετίζεται με την τριχοειδή κίνηση του νερού στις επιφάνειες του σπηλαίου. Η απόθεση του  $\text{CaCO}_3$  οφείλεται στη συνεχή συμπύκνωση και εξάτμιση του νερού.

Ένα ιδιότυπο σπηλαιοθέμα του σπηλαίου είναι ο διακλασίτης, ο οποίος συναντάται στα τοιχώματα και στις οροφές των σπηλαίων γενικά. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλικό  $\text{CaCO}_3$ , το οποίο πληρώνει αρχικά διακλάσεις (συστηματικές και μη) μικρού σχετικά ανοίγματος δημιουργώντας ένα σύστημα φλεβών τύπου λαβυρίνθου. Η προοδευτική και συχνά ταχεία διάβρωση του μητρικού πετρώματος και η μικρότερου βαθμού των φλεβών θα οδηγήσει στη δημιουργία του διακλασίτη. Αυτός δίνει την εντύπωση πολυάριθμων πολυγωνικών κουτιών, οι πλευρές των οποίων προεξέχουν.



Σχήμα 2. Σπηλαιόσκη από το νότιο τμήμα του σπηλαίου της Μελισσότρυπας



Σχήμα 3. Σπηλαιοφλύκταινες σε διάκλαση τοιχώματος

Σε περιοχές της Μελισσότρυπας όπου παρατηρείται ροή νερού ή ποσότητες στάσιμου νερού παρατηρούνται κλιμακωτές λίμνες υπερχείλισης, χείλη λιμνών, μαργαριτάρια των σπηλαίων και σπηλαιόσκη.

Η σπηλαιόσκη αποτελεί ένα ασύνδετο σπηλαιοθέμα που συστατικά του είναι κόκκοι κρυστάλλων διαφόρων ορυκτών με μέγεθος από 10 έως 50μm.

Το πιο κοινό αίτιο δημιουργίας της είναι η αφυδάτωση ένυδρων ενώσεων ορυκτών (Hill & Forti, 1997) και η απώλεια κρυσταλλικού νερού. Επίσης η παρουσία ενός ισχυρού οξέος είναι δυνατό να δημιουργήσει σπηλαιόσκονη, όπως του  $H_2SO_4$  με απόθεση  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

Στο σπήλαιο Μελισσότρυπα η σπηλαιόσκονη εμφανίζεται σε διάφορα μέρη και αποτελείται από  $CaCO_3$  και  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

Οι σπηλαιοφλύκταινες (*Cave Blisters*) αποτελούν ημισφαιρικές ασβεστιτικές αποθέσεις συνήθως πληρωμένες με αργιλικό ή αμμώδες υλικό. Αποτελούν εξογκώματα του πετρώματος και συνήθως εφάπτονται σε ασβεστιτική κρούστα. Η σύστασή τους είναι συνήθως ασβεστιτική, αποτελούμενη από μικροκρυσταλλικό ασβεσίτη. Στη Μελισσότρυπα συναντώνται σε μεγάλα μεγέθη κυρίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό της τμήμα. Τα εξογκώματα είναι λευκού χρώματος, ασβεστιτικά με προσμείξεις γύψου και σχηματίζονται σε σειρά ανάλογα με τη διεύθυνση της διάκλασης. Το εσωτερικό της φούσκας είναι κενό και έχει διάμετρο μέχρι και 6cm. Κατά την ανάπτυξή όμως το εσωτερικό κενό πληρώνεται με κρυσταλλικό ασβεσίτη. Πληρωμένες σπηλαιοφλύκταινες συναντώνται στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα του σπηλαίου, στα λαβυρινθώδη τμήματα.

### 3.4 Σπηλαιογένεση

Η δημιουργία της υπόγειας καρστικής μορφής της Μελισσότρυπας οφείλεται κυρίως στη δράση υπογενών διαλυμάτων (Βαξεβανόπουλος, 2006). Η ανάπτυξη του σπηλαίου ακολούθησε τις επικρατούσες τεκτονικές ασυνέχειες. Συστήματα διακλάσεων, μεταπτωτικά ρήγματα, καθώς και ρήγματα αποκόλλησης (*detachment* σε παλιές γραμμές επώθησης) διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του υπόγειου καρστικού συστήματος. Τόσο η οριζόντια όσο και η κατά βάθος επέκταση του υπογείου συστήματος οδηγήθηκε από τις τεκτονικές ασυνέχειες. Η αρχική τεκτονική επίδραση οφείλεται στα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, ενώ ρήγματα ΒΒΑ-ΝΝΔ και Α-Δ διεύθυνσης δείχνουν να ανήκουν σε νεώτερο τεκτονικό καθεστώς.

Δευτερευόντως η στρώση του πετρώματος επηρέασε αυτή τη διαμόρφωση και ιδιαίτερα την οροφή και το δάπεδο του σπηλαίου. Αυτό οφείλεται στις μικρές κλίσεις που έχει στην ευρύτερη περιοχή του σπηλαίου που δεν ξεπερνούν τις 30°. Ουσιαστικά πρόκειται για τη σχιστότητα  $S_1$ , που στα μάρμαρα της συνεχούς ανθρακικής σειράς της Κρανιάς ακολουθεί τη προϋπάρχουσα στρώση του πρωτόλιθου ασβεστολίθου. Οι μικρές κλίσεις της σχιστότητας των μαρμάρων και η πυκνότητα των τεκτονικών ασυνεχειών οδήγησε τη σπηλαιογένεση στη φρεατία ζώνη σε ένα επίπεδο (White, 2003).



Σχήμα 4. Στροβιλοειδείς θόλοι στην οροφή του σπηλαίου.



Σχήμα 5. Στροβιλοειδείς θόλοι και γλυφές στον κεντρικό αγωγό του σπηλαίου.



Οι θόλοι στην οροφή των αγωγών δημιουργούνται κυρίως από το στροβιλισμό των υπογενών διαλυμάτων στη φρεάτια ζώνη ή από τη συμπύκνωση υδρατμών που περιέχουν  $H_2S$  στη ζώνη κατείδυσης (Σχήμα 4). Ακολουθούν τις κύριες τεκτονικές ασυνέχειες του καρστικού αγωγού όπως και οι στροβιλοειδείς γλυφές (*scallops*) στα τοιχώματα του σπηλαίου (Σχήμα 5). Η έλλειψη σαφούς προσανατολισμού των γλυφών και ο μεγάλος αριθμός θόλων σε περιοχές λιμνών του σπηλαίου με ποσότητες  $H_2S$  καταδεικνύει την έντονη δράση των υπογενών διαλυμάτων.

Η σπηλαιογένεση της Μελισσότρυπας αρχίζει όταν διαλύματα ανερχόμενα από το βάθος των πετρωμάτων εμπλουτίζουν τον υδροφόρο με  $H_2S$ . Η διαλυτική δράση του  $H_2CO_3$  από διαλύματα της επιφάνειας σε συνδυασμό με τη δράση του  $H_2SO_4$  διαλύουν με μεγαλύτερο ρυθμό το  $CaCO_3$  στις επιφάνειες των ασυνεχειών. Οι ασυνέχειες αυτές είναι κυρίως τεκτονικές, αποτελούμενες από ομάδες διακλάσεων που συνδέονται με μεταπτωτικά ρήγματα. Η φάση ηωδιάλυσης έχει λήξει με το πέρασμα στην κύρια φάση διεύρυνσης των καρστικών αγωγών. Δημιουργείται ένας κεντρικός αγωγός, ο οποίος τροφοδοτεί τα επιμέρους τμήματα του καρστ με όξινο διάλυμα. Οι καρστικοί αγωγοί είναι πληρωμένοι με νερό δημιουργώντας μορφές της φρεάτιας ζώνης.

Στα πλευρικά τμήματα του κεντρικού αγωγού δημιουργούνται τμήματα τύπου λαβυρίνθου, χαρακτηριστικά υπογενούς σπηλαίου. Η άνοδος της περιοχής σε συνδυασμό με την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα οδηγεί στην αποκάλυψη των τμημάτων του υπογενούς σπηλαίου. Από τις μορφές διάλυσης φρεατικού σταδίου που παρατηρήθηκαν στο σπήλαιο υπολογίζεται ότι ο υδροφόρος έφθανε μέχρι και 22m πάνω από τη σημερινή στάθμη.

Τα τμήματα του σπηλαίου που αποκαλύφθηκαν δέχονται τη δράση του νερού στη ζώνη κατείδυσης. Οι φρεατικοί αγωγοί πλέον καταστρέφονται δίνοντας τη θέση τους σε μορφές που δημιουργούνται από την κατά βάθος διάβρωση. Παράλληλα, υπογενή τμήματα του σπηλαίου δημιουργούνται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα από διαλύματα με  $H_2S$ , όπως έδειξε η ανάλυσή τους.

Ο κεντρικός αγωγός έχει περάσει από τη φρεάτια ζώνη στη ζώνη κατείδυσης. Η εκκένωση νερού που προκαλείται οδηγεί σε καθεστώς καταρρευσιγενούς μορφολογίας (Βαξεβανόπουλος, 2003), αφού τα τοιχώματα και η οροφή χάνουν μέχρι και 35% της αντοχής τους (με βάση την αρχή του Αρχιμήδη). Στο κέντρο του αγωγού δημιουργούνται δόμοι κατάρρευσης από τη συγκέντρωση τεμαχών που καταρρέουν.

Σήμερα μόνο το δυτικό τμήμα του σπηλαίου βρίσκεται σε μάζα μαρμάρων με άμεση επαφή με το επιφανειακό καρστ ενώ το ανατολικό βρίσκεται κάτω από γνευσιοσχιστόλιθους της Πελαγονικής ζώνης (Σχήμα 6).

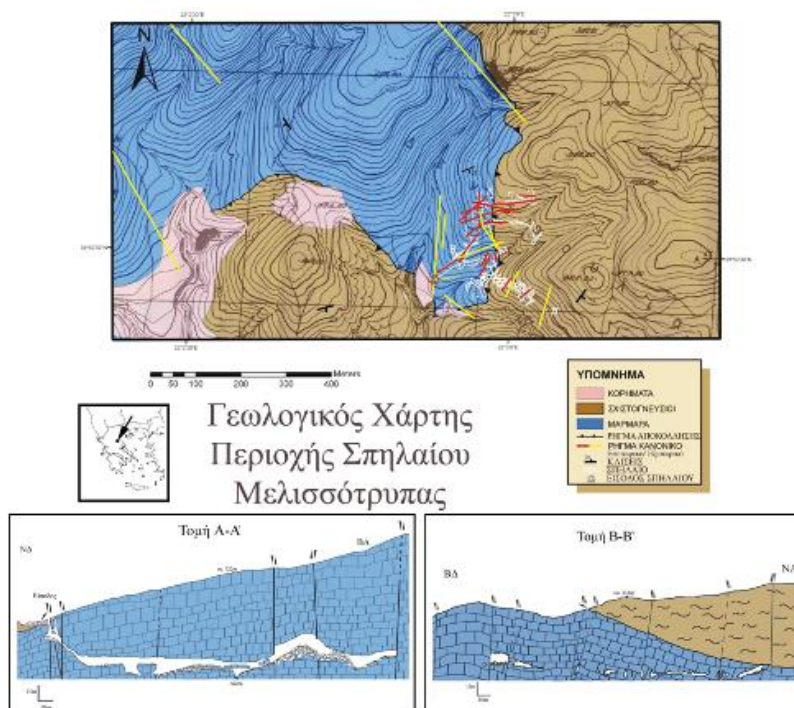
Ειδικά η νοτιοανατολική περιοχή του σπηλαίου όπου παρατηρείται η μέγιστη συγκέντρωση σπηλαιοθεμάτων τροφοδοτείται με νερό από υπερκείμενο χειμάρρο. Τα ανάντι του χειμάρρου βρίσκονται σε περιοχές βορειοανατολικά της εισόδου του σπηλαίου σε γνευσιοσχιστόλιθους. Στο σημείο της επαφής γνευσιοσχιστόλιθων-μαρμάρων το νερό του χειμάρρου κατειδύει εξ ολοκλήρου στο υπόγειο καρστ. Ακριβώς στο σημείο αυτό, υπόγεια, παρατηρείται έντονη σταγονοροή και κατά περιοχές έντονη κατακόρυφη ροή.

#### 4.Σύνοψη

Τα καρστικά υπογενή σπήλαια αποτελούν σημαντικό εργαλείο στη μελέτη της συμπεριφοράς των υπογείων νερών και της γένεσης υπογείων καρστικών μορφών. Παρά το γεγονός ότι πολύ λίγα υπογενή σπήλαια έχουν μελετηθεί παγκοσμίως, η σημασία τους στη σπηλαιολογία, στην κοιτασματολογία, στην υδρογεωλογία και στη βιολογία είναι αναμφισβήτητη.

Η Μελισσότρυπα Κεφαλοβρύσου αποτελεί καρστικό υπογενές σπήλαιο, το οποίο έχει

περάσει στη σπηλαιογενετική φάση στη ζώνη κατεΐσδυσης. Η υπογενής προέλευσή του αποδεικνύεται τόσο από τις εναπομένουσες μορφές διάλυσης και ανάπτυξης του σπηλαίου, τα σπηλαιοθέματα γύψου, όσο και από τον εντοπισμό συγκέντρωσης H<sub>2</sub>S στις λίμνες του σπηλαίου (Βαξεβανόπουλος, 2006).



Σχήμα 6. Γεωλογικός χάρτης και τομές από την περιοχή του σπηλαίου. (Βαξεβανόπουλος 2006)

Τα σπηλαιοθέματα γύψου δημιουργούνται στο πέρασμα του τμήματος του σπηλαίου στη ζώνη κατεΐσδυσης. Οι διαδικασίες όμως της κατά βάθος διάβρωσης πλέον σβήνουν τα σημάδια της υπογενούς προέλευσης του σπηλαίου.

Η ανάπτυξη του σπηλαίου και η πρώτη περίοδος ηωγένεσης των καρστικών αγωγών σχετίζεται με τη δημιουργία μιας ρηξιγενούς ζώνης ενός κανονικού ρήγματος ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Ο κύριος αγωγός του σπηλαίου σχηματίστηκε παράλληλα σε αυτή τη ζώνη ενώ αναπτύχθηκαν αγωγοί παράλληλα σε αυτόν. Η δημιουργία αυτής της υπόγειας μορφής οφείλεται στη δράση υπογενών διαλυμάτων τα οποία έχουν αφήσει τα σημάδια τους στις οροφές και στα τοιχώματα των αγωγών (στροβιλοειδείς θόλοι, γλυφές). Στα πλευρικά τμήματα του κυρίου αγωγού και σε χαμηλότερα υψόμετρα δημιουργούνται φρεατικοί λαβυρινθώδεις αγωγοί, που ακολουθούν το κύριο δίκτυο διακλάσεων.

Επίσης δημιουργείται μια δεύτερη ομάδα αγωγών με μικρότερες διαστάσεις με διευθύνσεις Α-Δ και ΒΒΑ-ΝΝΔ (βόρειο τμήμα του σπηλαίου).

## 5. Συμπεράσματα

Το σπήλαιο Μελισσότρυπα αποτελεί απόδειξη για την δημιουργία υπογείων καρστικών μορφών σε ανθρακικό πέτρωμα υποκείμενο πετρώματος μη επιδεκτικού σε καρστικοποίηση από τη δράση υπογενών διαλυμάτων.

Η σπηλαιογένεση σήμερα συνεχίζεται πιθανά στη φρεάτια ζώνη, κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα λόγω της δράσης των υπογενών διαλυμάτων. Πάνω από αυτήν την επιφάνεια δρουν οι διαδικασίες της ζώνης κατεισδυσης.

Περαιτέρω έρευνα στην περιοχή του Κεφαλοβρύσου Ελασσόνας ίσως οδηγήσει στην ανακάλυψη νέων ανεξερεύνητων υπογενών σπηλαίων. Γενικότερα, η ενδεδειγμένη έρευνα της γένεσης των ελληνικών υπόγειων καρστικών μορφών είναι πιθανό να καταδείξει έναν πιο πρωταγωνιστικό ρόλο της δράσης των υπογενών διαλυμάτων.

## Βιβλιογραφία

Βαξεβανόπουλος, Μ., 2003: Καταρρευσιγενής Μορφολογία και γένεση του Σπηλαιίου των Νυχτερίδων στα Πετράλωνα Χαλκιδικής, 3ο Συμπόσιο Αρχαιολογίας, Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας Σπηλαίων, 17-19 Νοεμβρίου, Αθήνα.

Βαξεβανόπουλος, Μ., 2006: Τεκτονικές συνθήκες σπηλαιογένεσης στο σπήλαιο Μελισσότρυπα Κεφαλοβρύσου Ελασσόνας. Μετ. Διατριβή Ειδικ., τμ. Γεωλογίας Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη, σ.105.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1982: Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, 1:50000, φύλλο Ελασσών, Αθήνα.

Μανάκος, Α., 1999: Υδρογεωλογική συμπεριφορά και στοχαστική προσομοίωση του καρστικού υδροφόρου συστήματος Κρανιάς Ελασσόνας. Διδακτ. Διατριβή, τμ. Γεωλογίας Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη, σ. 214.

Forti, P., 1996: Thermal karst systems. *Acta Carsologica* XXV, 99-117.

Forti, P., Galdenzi, S., Sarbu, S., M., 2002: The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects, *Continental Shelf Research* 22 (2002) 2373-2386.

Hill, C. & Forti, P., 1997: Cave minerals of the world, 2nd ed., National speleological Society, Inc., Huntsville, Alabama, U.S.A.

Palmer, N. A., C. Hill, 2005: Sulfuric acid caves. In: Culver, D., C. & White, W., B.: *Encyclopedia of caves*, Elsevier Academic Press, Burlington, U.S.A. 573-581.

Palmer, N., A., 2000: Hydrogeologic control of cave patterns. In: Klimchouk, A., B., Ford, D., C., Palmer, A., N., Deybrodt, W., Eds *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. Huntsville, Alabama, 77-90pp.

Sfeikos, A., 1992: Geology, analysis of deformation and kinematics of the Pelagonian nappe system, Kamvounia mountains (North Thessaly, Greece). *Tübingen Geowissenschaftliche Arbeiten*, A12, 110s, 59Abb., 22 Bilder, Tübingen.

White, B., W., 2003: Conceptual models for karstic aquifers, *Speleogenesis and evolution of Karst Aquifers*, *Virtual Scientific Journal*, www.speleogenesis.info, p.2.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Βασιλάκης Ε., Σκούρτσος Ε., Κράνης Χ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας*

### Περίληψη

Η σύνδεση μεταξύ τεκτονικών διεργασιών και επιφανειακής διάβρωσης μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή ποσοτικής πληροφορίας, ως προς τον ρυθμό ανύψωσης ενός ρηξιτεμάχου, με βάση τη σημερινή μορφολογία. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί θεωρίες που συνδέουν τη διαφορική ανύψωση ρηξιτεμαχών με τη μορφή των ποτάμιων συστημάτων που τα διαρέουν και τα διαβρώνουν. Η δυνατότητα χρησιμοποίησης ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου με υψηλή χωρική ανάλυση για τον ακριβή υπολογισμό μιας σειράς από μορφομετρικές παραμέτρους, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την οριοθέτηση νεοτεκτονικών δομών με μεγάλη λεπτομέρεια καθώς και τον σχετικό ρυθμό ανύψωσής των.

Η περιοχή των νοτιο-ανατολικών ακτών του Κορινθιακού Κόλπου κρίθηκε ως ιδανική για την εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών λόγω της στοιχειοθετημένης (με κλασσικές μεθόδους) ανύψωσης που παρουσιάζουν. Έγινε συνδυασμός των μορφοτεκτονικών παραμέτρων που προέκυψαν με τους ρυθμούς τεκτονικής ανύψωσης που έχουν υπολογιστεί από προηγούμενες έρευνες και υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής διάβρωσης. Η κατάλληλη επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων έδειξε ότι υπάρχει πολύ καλή συμφωνία μεταξύ των μορφοτεκτονικών παραμέτρων και των ανωμαλιών του υδρογραφικού δικτύου οφειλομένων σε τεκτονικά αίτια (ενεργά ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες, περιστροφή ρηξιτεμαχών), ενώ έντονες διαφοροποιήσεις σε τιμές των μορφοτεκτονικών παραμέτρων και σε συνδυασμό με παρατηρήσεις υπαίθρου αναδεικνύουν μη χαρτογραφημένες τεκτονικές δομές, οι οποίες είναι λιγότερο ή περισσότερο σημαντικές στη θεωρία για την τεκτονική εξέλιξη της περιοχής.

### ESTIMATION OF TECTONIC UPLIFT RATE USING QUANTIFIED MORPHOMETRIC INDICES

Vassilakis E., Skourtsos E., Kranis H.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Sector of Dynamic, Tectonic and Applied Geology*

### Abstract

The linkage between tectonism and erosion may lead to the extraction of quantitative information on the uplift rate of a fault block, based on the current relief. For this purpose different methodologies have been developed, relating the differential block uplift with the eroding pattern of the stream channels. High resolution DEMs are used for the calculation of several morphometric parameters providing a powerful tool for the exact delimitation of neotectonic structures and potentially the estimation of the uplift rate. The transition from the published theory to the accurate estimation of these geomorphometric indices is a complicated series of procedures based on calculations between arrays of pixels and visualize the results on a GIS platform. Some of the final images produced for this paper were not reliable for further interpretation because of the objective difficulty of expressing all the landforms with a table of numbers.

The south eastern coastal area of the Gulf of Corinth seems to be an ideal case for

applying these kinds of methodologies due to already known -with conventional dating methods- uplift rates. The combination of the calculated morphotectonic parameters with the tectonic uplift rates derived by previous studies led to the calculation of the average coefficient erosion. The interpretation of these results showed very good relevance between the variance of the values of every morphometric index and the irregularities of the river network caused mainly by tectonism (active faults, block tilting). Strong variations of the index values combined with field data reveal tectonic structures that are not mapped yet and have their own importance on the theory of the Corinth rift tectonic evolution.

**Λέξεις κλειδιά:** ποτάμια διάβρωση, νεοτεκτονική, Κορινθιακός Κόλπος, τεκτονική γεωμορφολογία.

**Key words:** fluvial erosion, neotectonics, Gulf of Corinth, tectonic geomorphology.

## 1. Introduction

It is generally accepted that steep landscapes are associated with regions of rapid rock uplift even if some exceptions do also exist. The fluvial network consistently maintains its connection to tectonic forcing, and therefore contains potentially useful information about variations in rock uplift rates across the landscape. A number of studies have laid the groundwork for extracting this information, by exploring the theoretical response of channels to variations in rock uplift rate, and by analyzing fluvial profiles in field settings where the tectonics have been independently determined ((Whipple & Tucker, 1999), (Whipple & Tucker, 2002), (Kirby & Whipple, 2001)).

The methodologies discussed in this paper are used for the extraction of as much as possible tectonic information from the landscape by interpreting high spatial resolution digital elevation models (DEMs). The discussion focuses on the use of DEMs, which are inexpensive, easily obtained and can be used to extract much of this kind of information quickly and easily prior to field work. We summarize the basic theory published in previous researches giving an idea of research needs which must be met before we can have a reliable quantitative tool for neotectonic procedures in conjunction with quantified tectonic information derived from stream profile interpretation. However, some uncertainty remains as to what can and cannot be learned from an analysis of river profiles, as a standard method for extracting tectonic information from these data does not exist.

## 2. Methodology

The data used for this paper come from the digitizing of the 20m contours on topographic maps of 1:50.000 scale. A 25m DEM was produced and used for generating channel longitudinal profiles. The drainage network was extracted after using the DEM for generating a direction array and calculating the flow accumulation. Correctly produced high detailed DEMs are the simplest and most accurate method of generating data sets used in these kinds of morphometric analyses (Snyder et al., 2000) as they provide continuous data that can be used in various mathematic calculations and can be visualized in several ways in a GIS platform where they can be combined with other kinds of data (Vassilakis, 2006).

For an extended analysis of the study area we followed methods developed by Snyder et al. (2000) and Kirby et al. (2003). A group of built-in functions in ARC/INFO were used to create flow accumulation arrays and delineate drainage basins, a suite of MATLAB scripts to extract and analyze stream profile data from these basins, and an ArcMap interface for color-coding the steepness index value changes along the streams in a GIS. While pits and data holes in a DEM usually need to be filled to create flow direction and flow accumulation arrays for basin delineation, profile data should be extracted from the raw DEM matrix to ensure that no data are lost or created at this early stage in the processing. In practice, any suite of computer scripts which can follow a path of pixels downstream while recording elevation, cumulative stream wise distance, and contributing drainage area data is sufficient

for collecting long profile data from a DEM.

A series of eight sub parallel basins were included in the analysis as most of their drainage network is dominated by bedrock erosion. Their main channel longitudinal profiles were analyzed and compared as they flow almost parallel to each other trending SW-NE. The methodology was applied on 828 channel heads which they are tributaries of the main streams in these basins but also in the catchments between them (Fig. 1). Linear regression of the logarithms of local channel gradient ( $S$ ) and drainage area ( $A$ ) data was used to find values for the concavity index ( $\theta$ ) and the steepness index ( $k_s$ ) using the following equation,

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (1)$$

The exponent,  $\theta$  (the concavity index), and coefficient,  $k_s$  (the steepness index), can be measured directly by regression of slope and area data. The next steps in the methodology is examining the slope-area data and make decisions about the number of distinct channel segments and the appropriate regression limits for each segment. The concavity index ( $\theta$ ) is generally found to be between 0.3 and 0.6 ((Flint, 1974); (Willgoose et al., 1990); (Tarboton et al., 1991); (Moglen & Bras, 1995); (Slingerland et al., 1998)), but values to 1.1 have been measured in some channels (Sklar & Dietrich, 1998). According to analyses by Whipple (2004), low concavities (<0.4) are associated either with short, steep drainages importantly influenced by debris flows (Brocklehurst & Whipple, 2002) or with downstream increases in either incision rate or rock strength, commonly associated with knickpoints ((Kirby & Whipple, 2001); (Kirby et al., 2003)). Moderate concavities (0.4–0.7) are associated with actively uplifting bedrock channels in homogeneous substrates experiencing uniform (or close to uniform) rock uplift. High concavities (0.7–1.0) are associated with downstream decreases in rock uplift rate or rock strength; downstream transitions to fully alluvial conditions and disequilibrium conditions resulting from a temporal decline in rock uplift rate.

Many channels can be adequately modeled with only a single segment, using unique values of  $k_s$  and  $\theta$  (Fig. 2). Others may contain multiple segments, reflecting spatial or temporal variations in rock uplift rate, climatic factors, or the mass strength of rock exposed along the profile (Fig. 2). In either case, linear regressions on slope-area data are typically conducted in two ways for each segment to allow inter-comparison among different profiles in the basin. In the first of the two regressions, segments of slope-area data with distinct steepness and/or concavity indices are identified, and are fit with  $k_s$  and  $\theta$  as free parameters using equation (1) as the regression model. In the second regression, individual segments of slope-area data are fit using a "reference" concavity,  $\theta_{ref}$ , to determine normalized steepness indices,  $k_{sn}$ . A reference concavity is required for the interpretation of steepness values because  $k_s$  and  $\theta$  as determined by regression analysis are, of course, strongly correlated (Eq. 1). In practice,  $\theta_{ref}$  is usually taken as the regional mean of observed  $\theta$  values in "undisturbed" channel segments (i.e., those exhibiting no known knick points, uplift rate gradients, or changes in rock strength along stream), and can be estimated from a plot superimposing all of the data from a catchment.

The coefficient  $k_s$  is similar in principle -but more general- to the stream-gradient index (SL) developed by Hack (1973) and described in many quantitative tectonic geomorphology studies (Burbank & Anderson, 2001). The steepness index can be also expressed as the fraction of rock uplift rate ( $U$ ) relative to base level and the coefficient of erosion ( $K$ ) over the power of  $1/n$  (Eq. 2), where  $n$  is the slope exponent. The later exponent is related to the concavity index that is expressed as in the equation 3, based on the erosion rule, where  $m$  is the area exponent.

$$k_s = (U/K)^{1/n} \quad (2)$$



Uplift rates that have been calculated from the Late Pleistocene marine terraces decrease towards the eastern and the western part of the rift. The higher uplift rates were calculated in the central part of the basin that is between Aigio and Xylokastro and are about 1.0-1.28 mm/yr (Armijo et al., 1996), (McNeil & Collier, 2004). The lowest uplift rates are observed eastwards and estimated about 0.3 mm/yr near the city of Corinth and the Perachora peninsula (Collier et al., 1992), (Collier & Jones, 2003). Moderate uplift rates, about 0.7 mm/yr, were calculated towards the western end of the rift, near Psathopyrgos (Houghton et al., 2003).

#### 4. Stream profile analysis

The key in this kind of methodologies is the level of detail and quality of the used digital data. Once a reliable and high detail DEM has been obtained, a variety of methods is appropriate for extracting the required stream profile parameters. After the first few manipulations of the grid layers, slope-area data are being extracted and smoothed from each tributary in a basin. In many cases it is also useful to superimpose all of the profile data from a catchment on a single plot. The resulting diagrams aid in determination of the upper and lower bounds on steepness values in the catchments, segregation of populations with distinct steepness values, and determination of an appropriate reference concavity, as discussed above (Snyder et al., 2000). With these composite plots, the analysis can be extended from individual tributaries to the regional scale.

We applied this methodology on the north eastern part of Peloponnesus and more specifically on eight hydrologic basins having their mouths at the southern coast of the Gulf of Corinth (Sabot & Maroukian, 1978) (Fig.1). The reference concavity index was determined at a value of 0.34, showing that theoretically the incision rate increases downstream; this was also verified during field work. The steepness index analysis showed that along the main streams the  $k_s$  values are often quite high (Fig. 2). At certain segments the values rise gradually, reaching a peak value and then dropping suddenly downstream. These points are related to large normal faults trending E-W, often perpendicular to the main streams. The higher values are observed at the footwalls and the low values at the hanging walls of the faults, which keep rising until the stream reaches the next fault towards north after which the rates drop again. This gradual increase of the steepness index downstream could be related to the increase of the incision rate caused by the southward tilting of the fault blocks at the north coast of Peloponnesus.

The observed variation of steepness index values due to the lithological changes is often gradual without sudden drops. The streams Trikalitikos, Krios and Dervenios have segments showing variations of this kind without any significant fault lines intersecting their valleys. Quite high  $k_s$  rates are observed along most of the Trikalitikos stream (south of Riza) and the peak values have been calculated upstream in a formed gorge where the alpine basement is being eroded (Zelilidis, 2000). The high rates shown downstream could be credited to a reestablishment of the river flow on its way to the Gulf of Corinth. The same observation could be made also for Asopos river, where high  $k_s$  rates are represented at the north of Nemea. The high incision is caused by the reestablishment of the river flow because of the uplift of the coastal area after the late Pleistocene period, as this is proved by the dating of marine terraces.

In general, after studying the drainage network of the area the eight basins were divided in three categories according to the calculated concavity index ( $\theta$ ) and the normalized steepness index ( $k_{sn}$ ) (Fig. 2):

In the first bin, the rivers Vouraikos, Krathis, Skoupeikos and Fonissa are included, showing intermediate concavities  $0.39 < \theta < 0.53$  and steepness rates of  $17 < k_{sn} < 21$ .

The next bin contains the rivers Krios, Dervenios and Trikalitikos that are showing lower concavities  $0.22 < \theta < 0.26$  but the steepness rates are not very much different from the



previous category ( $17 < k_{sn} < 25$ ).

Asopos river cannot fit with the rest of the streams, as the highest concavity index is observed here,  $\theta=0.49$ , along with the lowest rate of  $k_{sn}=11.8$ . This can be related to the fact that it is not a bedrock channel without any significant lithologic changes, especially as far as the rock strength concerns, with no active faulting affecting its homogenous uplifting basin.

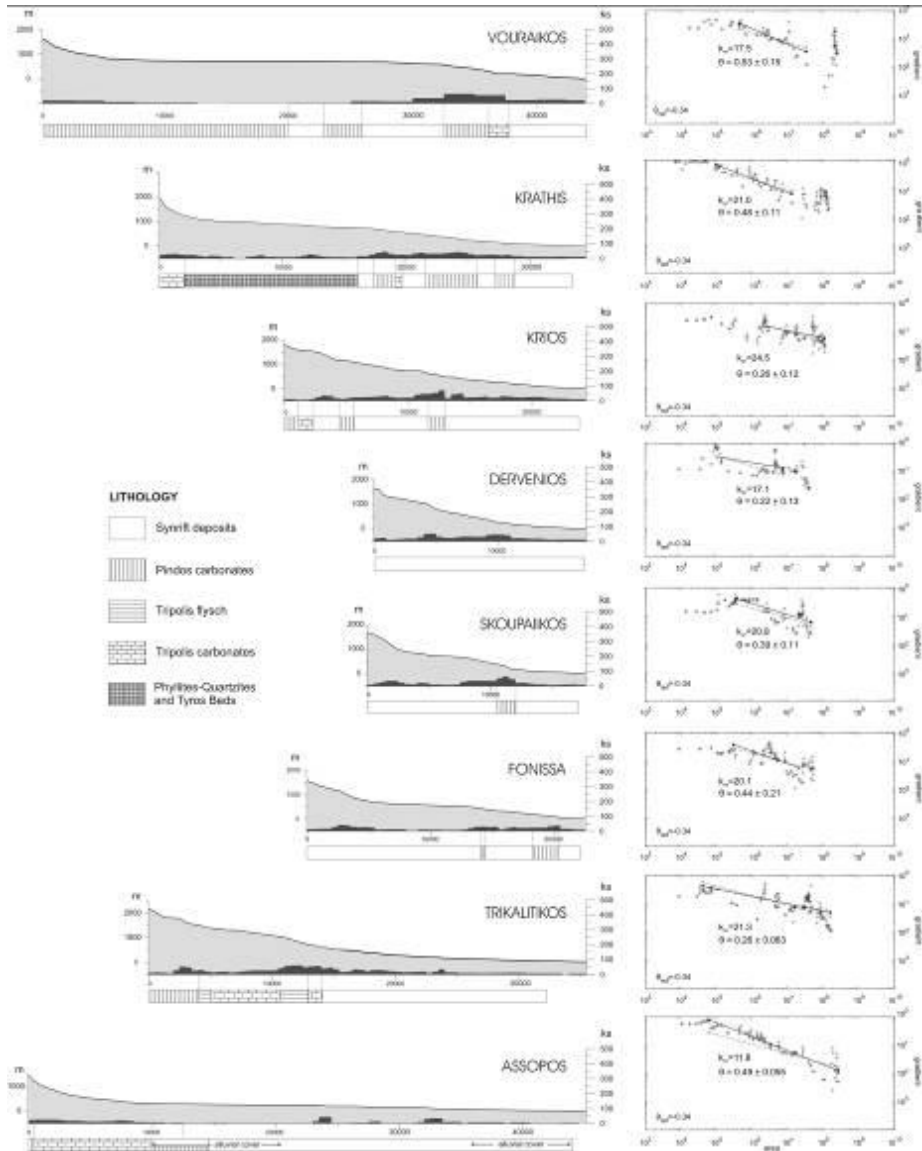


Figure 2. The profiles of the eight main streams that were studied and the lithology changes in combination to the calculated  $k_s$  index distribution along them. For every basin there is a slope/area graph, to the right, showing the  $\theta$  and  $k_{sn}$  estimation for reference concavity  $\theta=0.34$ .

We argue that the absence of high concavities or even negative rates of  $\theta$ , is due to no significant decrease of tectonic uplift of the north Peloponnessus coast relatively to the upstream areas, in combination to the narrow deltaic fan deposits at the river mouths.

Excluding Asopos river, the normalized steepness rates for all the remaining basins are  $17 < k_{sn} < 25$ . The difference between Asopos basin and the westernmost area is interpreted as the dramatic change of the tectonic uplift. This is in agreement with the estimated uplift rates by dating the late Pleistocene terraces along the north Peloponnessus coastline, as at the western area between Xilokastro and Diakofto the uplift rate is of the order of 1.0-1.3 mm/yr, in contradiction to the Asopos mouth area, to the east, where the uplift rate is estimated no more than 0.3 mm/yr (Armijo et al., 1996), (Collier et al., 1992), (McNeil & Collier, 2004).

#### 4. Discussion

The southeastern coast of the Gulf of Corinth was picked as an ideal region for extracting detailed morphometric parameters by using high resolution DEM and combining them with mapped neotectonic structures and tectonic uplift rates that are already published. The interpretation of all the data and the extracted information showed that there is a good agreement between the distributions of the morphometric parameters and the irregularities of the drainage network caused by tectonism (active faults, block tilting).

It is also clear that the area is not absolutely homogenous. There is a big difference between the uplift rates that have been estimated at specific points of sampling. With the use of morphometric methodologies one can expand the uplift rates on larger blocks, especially when these blocks contain large parts of drainage basins. It seems that the basin of Asopos is a similar case, as there is no active faulting intersecting this basin. The low steepness index values that were calculated for the Asopos basin, by using the described methodology, happen to be in very good relation with the estimated low uplift rates. There is also a very good relation of the pattern of the steepness index distribution at the western part of the study area with the much higher uplift rates. The highest morphometric rates are also connected to the active fault zones trending E-W. It seems that there is a structure trending almost N-S, differentiating the western basins from the Asopos basin to the east. This might be either a buried fault zone that is not exposed yet or even a discontinuity of the same orientation where the uplift rate is different from both sides. In any case all the data interpretations show that something is still happening at that area that might be investigated in the near future.

Utilizing the methodologies outlined above, we have enough clues to discuss a series of issues coming out from river profile data interpretation and the tectonic information that can be extracted from the landscape. However the least this method provides is a relatively accurate definition of patterns of rock uplift with a high degree of spatial resolution. A complete study should include correlations with detailed variations in rock uplift and exhumation rates as determined from marine terraces, thermochronologic data, and cosmogenic data; however, there is insufficient data available at present to calibrate and uniquely test river incision models.

#### References

Armijo, R., Meyer, B., King, G., Rigo, A. & Papanastassiou, D. 1996. Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implications for the late Cenozoic evolution of the Aegean. *Geophys. J. Int* 126, 11-53.

Brocklehurst, S. & Whipple, K. 2002. Glacial erosion and relief production in the Eastern Sierra Nevada, California. *Geomorphology* 42, 1-24.

Burbank, D. & Anderson, R. 2001. *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science Ltd, 288.

Clarke, P., Davies, R., England, P., Parsons, B., Billiris, H., Paradissis, D., Veis, G., Cross, P., Denys, P., Ashkenazi, V., Bingley, R., Kahle, H., Muller, M. & Briole, P. 1998. Crustal strain in central Greece from repeated GPS measurements in the interval 1989-1997. *Geophys. J. Int.* 135, 195-214.

Collier, R. & Jones, G. 2003. Rift Sequences of the Southern Margin of the Gulf of Corinth (Greece) as Exploration / Production Analogues. In: *AAPG International Conference*, Barcelona, Spain.

Collier, R. E., Leeder, M. R., Rowe, P. J. & Atkinson, T. C. 1992. Rates of tectonic uplift in the Corinth and Megara basins, Central Greece. *Tectonics* 11(6), 1159-1167.

Doutsos, T. & Piper, D. J. W. 1990. Listric faulting, sedimentation and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: First stages of continental rifting. *Geol. Soc. Am. Bull.* 102, 812-829.

Flint, J. J. 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. *Water Resources Research* 10, 969-973.

Hack, J. T. 1973. Stream analysis and stream-gradient index. *J. Res. U. S. Geol. Survey* 1(4), 421-429.

Houghton, S., Roberts, G., Papanikolaou, I. & McArthur, J. 2003. New 234U-230Th coral dates from the western Gulf of Corinth: Implications for extensional tectonics. *Geophysical Research Letters* 30(19), doi:10.1029/2003GL018112.

Kirby, E. & Whipple, K. 2001. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. *Geology* 29, 415-418.

Kirby, E., Whipple, K., Tang, W. & Chen, Z. 2003. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: inferences from bedrock channel longitudinal profiles. 108. *J. Geophys Res.* 108(B4), doi:10.1029/2001JB000861.

McNeil, L. & Collier, R. 2004. Uplift rates of the eastern Eliki fault segment, Gulf of Corinth, Greece, inferred from Holocene and Pleistocene terraces. *Journal of the Geological Society of London* 161, 81-92.

Moglen, G. E. & Bras, R. L. 1995. The importance of spatially heterogeneous erosivity and the cumulative area distribution within a basin evolution model. *Geomorphology* 12, 173-185.

Ori, G. 1989. Geologic history of the extensional basin of the Gulf of Corinth (Miocene-Pleistocene), Greece. *Geology* 17, 918-921.

Sabot, V. & Maroukian, H. 1978. Geomorphology and tectonics in and around the Gulf of Corinth, Greece. In: *HEAT I*, Athens, 174-182.

Sklar, L. & Dietrich, W. E. 1998. River longitudinal profiles and bedrock incision models: Stream power and the influence of sediment supply. In: *Rivers over rock: Fluvial processes in bedrock channels* (edited by Tinkler, K. J. & Wohl, E. E.) 107. American Geophysical Union, 237-260.

Slingerland, R., Willett, S. D. & Hovius, N. 1998. Slope-area scaling as a test of fluvial bedrock erosion laws. *Eos, Trans. AGU* 79(45), F358.

Snyder, N., Whipple, K., Tucker, G. & Merritts, D. 2000. Landscape response to tectonic forcing: digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction

region, northern California. *Geol. Soc. Am. Bull.* 112, 1250-1263.

Sorel, D. 2000. A Pleistocene and still-active detachment fault and the origin of the Corinth-Patras rift, Greece. *Geology* 28(1), 83-86.

Tarboton, D. G., Bras, R. L. & Rodriguez-Iturbe, I. 1991. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes* 5, 81-100.

Vassilakis, E. 2006. Study of the tectonic structure of Messara basin, central Crete, with the aid of remote sensing techniques and G.I.S. Type thesis, N. K. University of Athens, Greece.

Whipple, K. 2004. Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens. *Annu. Rev Earth Planet. Sci.* 32, 151-185.

Whipple, K. & Tucker, G. 1999. Dynamics of the stream-power river incision model: Implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *J. Geophys. Res.* 104, 17661- 17674.

Whipple, K. & Tucker, G. 2002. Implications of sediment-flux-dependent river incision models for landscape evolution. *J. Geophys. Res.* 107(B2), doi:10.1029/2000JB000044.

Willgoose, G., Bras, R. L. & Rodriguez-Iturbe, I. 1990. A model of river basin evolution. *Eos, Trans. AGU* 71, 1806-1807.

Wobus, C., Whipple, K., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropoulou, K., Crosby, B. & Sheehan, D. 2006. Tectonics from topography: procedures, promise, and pitfalls. In: *Tectonics, climate, and landscape evolution. Special Paper - Geological Society of America* 398, 55-74.

Zelilidis, A. 2000. Drainage evolution in a rifted basin, Corinth graben, Greece. *Geomorphology* 35, 69-85.

## **ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ: Η ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΟΛΓΗΣ ΤΩΝ ΒΑΛΣΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΡΩΪΑΝΑΤΩΝ**

Βερυκίου-Παπασπυριδάκου Ε., Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας*

### **Περίληψη**

Στη νήσο Κεφαλληνία απαντάται η πόλγη των Βαλσαμάτων καθώς και η πόλγη των Τρωιανάτων. Η πόλγη των Βαλσαμάτων είναι η μεγαλύτερη, σε έκταση, σε σχέση με τις άλλες καρστικές κοιλάδες που υπάρχουν στο νησί. Στην εργασία αυτή διερευνώνται τα αίτια τα οποία επέδρασαν στην διαμόρφωση και στην τελική μορφή των δύο πόλγων. Η αλπική τεκτονική δομή επέδρασε στην δημιουργία της αρχικής μορφολογικής ταπεινώσεως, στο χώρο που στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι πόλγες και οι υπόλοιπες καρστικές μορφές. Συγκεκριμένα η καρστική κοιλάδα των Βαλσαμάτων με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, έχει αναπτυχθεί σε ένα τεκτονικό βύθισμα της ίδιας διεύθυνσης, όπου ο άξονας των πόλγων συμπίπτει με τον άξονα του βυθίσματος. Στην τελική διαμόρφωση και εξέλιξη τους, η νεοτεκτονική, έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο. Στην συνέχεια η διάβρωση και η καρστική διάλυση του επιφανειακού αναγλύφου και του υποβάθρου, που πιθανόν να ευνοήθηκε από τις κλιματικές εναλλαγές του Πλειστοκαιίνου, καθώς και η πλήρωση του βυθίσματος με τα Πλειστοκαινικά και Ολοκαινικά ιζήματα, έδωσαν στις πόλγες τη σημερινή τους μορφή. Οι καταβόθρες τους που βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα τους, αποστραγγίζουν υπόγεια την πεδιάδα και τροφοδοτούν τις πηγές της λιμνοθάλασσας του Κούταβου και τον υδροφόρο ορίζοντα της Κρανιάς. Τα καρστικά χάσματα, τα οποία δημιουργήθηκαν μετά το Τριτογενές, βρίσκονται σε παρόμοια διεύθυνση με αυτή της υπόγειας ροής.

### **THE KARST PHENOMENA AT THE ISLAND OF KEFALONIA: THE PHYSICOGEOGRAPHIC EVOLUTION OF THE POLJE OF VALSAMATA AND TROIANATA**

Verukiou-Papaspiridakou E., Bathrellos G., Skilodimou H.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Physical Geography-Climatology*

### **Abstract**

The polje of Valsamata and polje of Troinata is located in the island of Kefallonia. The first one has the largest surface among the other karst valleys of the island. This paper deals with the factors affected the development and the final formation of these two karst landscapes. The alpine tectonic structure affected the generation of the initial morphologic depression, at the place where these have been developed, along with the other karst formations. The karst valley of Valsamata oriented NW-SE, formed onto a tectonic trough of the same direction; with its axis to coincide with the axis of the trough. The neo-tectonic activity has strongly influenced the final shape of the two karst landscapes. During the subsequent phase of its evolution which incorporates karst dissolution, these took the current forms. The sinkhole of the polje located at its northwestern side, dry up the valley and supply the springs of the lagoon of Koutavos and the aquifer of Krania. The karst fissures which have been formed after Tertiary have the same direction with the groundwater flow.

**Λέξεις κλειδιά:** καρστικά φαινόμενα, πόλγη, Βαλαμάτα, Τρωϊανάτα, Κεφαλονιά.

**Key words:** karst phenomena, polje, Valsamata, Troinata, Kefalonia.

## 1. Εισαγωγή

Η Κεφαλονιά είναι το μεγαλύτερο σε έκταση νησί του Ιονίου πελάγους (Σχήμα 1) και παρουσιάζει ποικίλες γεωμορφές, οι οποίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα λιθολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της. Στο νησί εμφανίζονται πολυάριθμα καρστικά φαινόμενα ως αποτέλεσμα της συνδυασμένης επίδρασης της λιθολογίας, της τεκτονικής δραστηριότητας, των κλιματικών συνθηκών και των διεργασιών διάβρωσης και απόθεσης.

Η νήσος Κεφαλονιά αποτελεί το δυτικότερο τμήμα των εξωτερικών Ελληνίδων, βρίσκεται πολύ κοντά στο Ελληνικό τόξο και σε όλη την έκτασή της εντοπίζονται αλπικοί σχηματισμοί που ανήκουν στις τεκτονικές ενότητες των Παξών και της Ιόνιας (Aubouin and Dercourt, 1962; BP Co. et al, 1985; Kamberis et al., 1996; Λέκκας, κ.ά, 2001) καθώς και νεότεροι Πλειοτεταρτογενείς σχηματισμοί οι οποίοι επικάθονται ασύμφωνα στους παλαιότερους (Γεωργιάδου-Δικαιούλια, 1965; Mirkou, 1974; Sorel 1976; BP Co. et al, 1985; Underhill, 1988).

Στα πλαίσια της διερεύνησης των ενεργών και μη ενεργών δομών της ευρύτερης περιοχής της Κεφαλληνίας μελετήθηκαν τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της πόλγης των Βαλαμάτων και των Τρωϊανάτων, καθώς επίσης οι συνθήκες δημιουργίας και η εξέλιξή τους. Η πόλγη των Βαλαμάτων αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση καρστική μορφή της περιοχής, ενώ μικρότερης έκτασης είναι η πόλγη των Τρωϊανάτων. Οι δύο πόλγεις υφίστανται άμεσα τα αποτελέσματα των τεκτονικών γεγονότων που συνέβησαν ανάντη και κατόντη της περιοχής μελέτης, για ένα μεγάλο διάστημα κατά τη διάρκεια της Νεοτεκτονικής περιόδου.

Η πόλγη των Βαλαμάτων είναι στο νοτιοδυτικό ηπειρωτικό τμήμα της νήσου Κεφαλληνίας (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης.

Συγκεκριμένα βρίσκεται βόρεια του όρους Αίνου και στις νότιες κλιθείς του όρους Ρούδι. Ο μεγάλος της άξονας έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και το μήκος του είναι 8 χιλιόμετρα περίπου. Η πόλη των Τρωϊανάτων βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της πόλης των Βαλσαμάτων.

## 2. Γεωλογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Οι αλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή μελέτης είναι οι Ανω-Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι. Πρόκειται για μία ανθρακική σειρά η οποία παρουσιάζει ρηχές φάσεις, αλλά και βαθύτερες, που χαρακτηρίζουν το περιθώριο μιας βραχύβιας κρητιδικής πλατφόρμας, με νηριτικούς ασβεστόλιθους, βιοκλαστικούς και μικριτικούς που ακολουθούνται από λευκούς μικριτικούς και δολομιτικούς ασβεστόλιθους και με ενδιαστρώσεις οριζόντων με ρουδιστές και οριζόντων με γαστερόποδα (BP Co., 1971; BP Co. et al., 1985; Λέκκας κ.ά., 2001).

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις και ερυθρογαίες (BP Co. et al, 1985), ενώ στις δυτικές παρυφές του Αίνου, μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων. Οι σχηματισμοί αυτοί, είναι ασύνδετοι έως ελαφρά συνδεδεμένοι άμμοι με χαλίκια και συσσωρεύσεις λατυπών και ογκολίθων με μεγάλο κατά θέσεις πάχος, που προέρχονται από διάβρωση των ασβεστόλιθων των παραπλήσιων ράχων (Mercier et al., 1972; Mercier et al., 1976).

Μια από τις πλέον χαρακτηριστικές τεκτονικές μορφές στην περιοχή που μελετάται, είναι το αντίκλινο του Αίνου της ενότητας Παξών, του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Underhill, 1989). Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης είναι ΒΔ-ΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ. Ρήγματα που είχαν δημιουργηθεί στην ενότητα Παξών από εφελκυστικές τάσεις επαναδραστηριοποιήθηκαν κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο από συμπίεστικές τάσεις, με αποτέλεσμα να λειτουργήσουν ως ανάστροφα – εφιππευτικά ρήγματα (Sorel, 1976). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ρηξηγενής ζώνη του Αίνου με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (Λέκκας κ.ά, 2001). Στην περιοχή επίσης εντοπίζονται ανάστροφα ρήγματα και εφιππεύσεις ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης.

## 3. Δεδομένα και μεθοδολογία

Στην παρούσα μελέτη τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: τοπογραφικοί χάρτες της ΓΥΣ, κλίμακας 1:50.000, γεωλογικός χάρτης, φύλλο «Νήσος Κεφαλληνία, νότιο τμήμα», κλίμακας 1:50.000, βιβλιογραφικά δεδομένα, καθώς και εργασία υπαίθρου στα πλαίσια της γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής.

## 4. Αποτελέσματα

### 4.1 Φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της πόλης των Βαλσαμάτων και των Τρωϊανάτων

Η πόλη των Βαλσαμάτων αναπτύσσεται σε Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας Παξών, οι οποίοι είναι έντονα καρστικοποιημένοι. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται και από την παρουσία αρκετών δολινών γύρω από την πόλη, οι οποίες βρίσκονται σε θέσεις με υψηλότερο υψόμετρο. Το συνολικό εμβαδόν της πόλης των Βαλσαμάτων φτάνει περίπου τα 6,4 τετραγωνικά χλμ, ενώ των Τρωϊανάτων είναι 1,6 τετραγωνικά χιλιόμετρα περίπου.

Τα όρια της ελέγχονται τεκτονικά από παλαιότερα ρήγματα τα οποία έχουν επαναδραστηριοποιηθεί κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου. Η πόλη έχει πληρωθεί από ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, που κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι στα επιφανειακά στρώματα οι κροκάλες έχουν πολύ μεγάλη συμμετοχή (Σχήμα 2). Μέσα στα πολύ χαλαρά κροκαλοπαγή παρατηρούνται και ενδιαστρώσεις από ερυθροπηλούς, που πιθανό να είναι Πλειστοκαινικής ηλικίας. Στις παρυφές της πόλης έχουν αποθεθεί κώνοι κορημάτων (Σχήμα 3), των οποίων οι λατύπες στο μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι ασβεστολιθικές.



Σχήμα 2. Αποψη της πόλης των Βαλασαμάτων.



Σχήμα 3. Πλευρικά κορήματα και ερυθρογαίες στο ΒΑ τμήμα της πόλης.

Στην περιφέρεια της καρστικής πεδιάδας οι μορφολογικές κλίσεις που παρατηρούνται είναι μεγάλες (>30%). Ο πυθμένας της είναι επίπεδος και η αποστράγγισή της γίνεται υπόγεια μέσω των καταβόθρων που υπάρχουν στο ΒΔ τμήμα της πόλης.

Το βαθύτερο τμήμα της πόλης βρίσκεται μεταξύ των Νέων Βαλασαμάτων και της Μονής του Αγίου Γερασίμου (Σχήμα 4). Στο τμήμα αυτό παρατηρούνται μεγάλες αποθέσεις ερυθράς γης και κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων σχηματίζεται μικρή λίμνη βάθους περίπου 2 m, τα νερά της οποίας αποστραγγίζονται μέσω των καταβόθρων της περιοχής σε χρονικό διάστημα 10 έως 20 ημερών.

Σε υψόμετρο 500 m απαντούν υπολείμματα παλαιών επιφανειών διάβρωσης, καθώς και υπολειμματικός λόφος τύπου Hum στο πεδινό τμήμα της βόρειας περιοχής, κοντά στα νέα Βαλασαμάτα (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Η Ιερά Μονή του Αγ. Γερασίμου στο νότιο τμήμα της πόλης

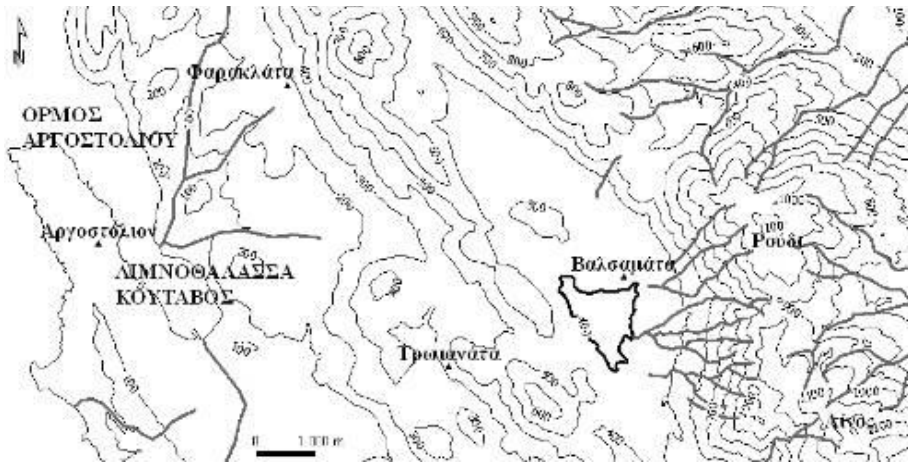


Σχήμα 5. Hum της πόλης των Βαλασαμάτων όπου είναι κτισμένο και το ομώνυμο χωριό.

Η λεκάνη απορροής της πόλης των Βαλασαμάτων ορίζεται κύρια από την ισοϋψή των 300 m περίπου, η οποία περικλείει και την μικρή πόλη των Τρωϊανάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης παρουσιάζει τις ακόλουθες ιδιομορφίες:

- Οι κλάδοι που αναπτύσσονται στο δυτικό και βορειοδυτικό μέρος της λεκάνης έχουν σχηματισμένη κοίτη. Κατά θέσεις η σημερινή κοίτη έχει διαβρώσει τους κώνους κορημάτων που είχαν δημιουργηθεί παλαιότερα, ενώ σήμερα διαβρώνουν το μητρικό πέτρωμα.
- Απεναντίας στο νότιο και νοτιοανατολικό μέρος της λεκάνης οι κοίτες έχουν πολύ μικρό μήκος σε σχέση με το μεγάλο εμβαδόν των λεκανών που αποστραγγίζουν.





Σχήμα 6. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης που απεικονίζει το υδρογραφικό δίκτυο.



Σχήμα 7. Βορειοανατολικά της πόλης καλλιεργούμενες αναβαθμίδες με αλλούβια και ερυθρογαίες.



Σχήμα 7. Βορειοανατολικά της πόλης καλλιεργούμενες αναβαθμίδες με αλλούβια και ερυθρογαίες.

Στα ΒΑ και ΒΔ τμήματα της πόλης υπάρχουν κώνοι κορημάτων, όπου οι κάτοικοι έχουν δημιουργήσει τεχνητές αναβαθμίδες και τις καλλιεργούν (Σχήμα 7 και 8). Κατά την χρονική περίοδο τέλος Ιανουαρίου με αρχές Φεβρουαρίου στους κλάδους που αναπτύσσονται στα αλλούβια σχηματίζεται μικρή λίμνη, ενώ στους ασβεστολίθους ή στις Τεταρτογενείς αποθέσεις της πόλης δεν συγκρατείται επιφανειακά το νερό.

Οι καταβόθρες στα Βαλσαμάτα βρίσκονται στο εσωτερικό της ομώνυμης πόλης, στην ΒΔ ρηξιγενή ζώνη. Αποστραγγίζουν τα νερά και τροφοδοτούν τις πηγές του Κούταβου και τον υδροφόρο ορίζοντα της πεδιάδας της Κρανιάς, όπως φαίνεται στο σχήμα 9. Η μεγαλύτερη από τις καταβόθρες βρίσκεται ανατολικά των Νέων Βαλσαμάτων. Η προσπάθεια που έγινε με τη ρήψη 50Kg λυποποδίου στις καταβόθρες Βαλσαμάτων με σκοπό την ιχνηθέτησή τους απέτυχε, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι καταβόθρες αυτές δεν λειτούργησαν κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Maurin & Zolt, 1967).



Σχήμα 9. Οι καρστικές μορφές της περιοχής μελέτης

#### 4.2 Δημιουργία και εξέλιξη της πόλης των Βαλσαμάτων και των Τρωϊανάτων

Η δημιουργία της αυτόνομης κλειστής λεκάνης των Βαλσαμάτων καθώς και η μικρότερη σε έκταση πόλη των Τρωϊανάτων που βρίσκεται δυτικότερα, πραγματοποιήθηκε με πολλές και ποικίλες διεργασίες, μεταξύ των οποίων η τεκτονική δραστηριότητα, τα λιθολογικά

χαρακτηριστικά της περιοχής και οι κλιματικές συνθήκες είναι οι παράγοντες που επέδρασαν άμεσα.

Η εξέλιξη της πόλγης διαχωρίζεται στα παρακάτω στάδια:

- **1<sup>ο</sup> Στάδιο:** Ο ρηγματογόνος τεκτονισμός είχε ως αποτέλεσμα τη διάρρηξη της αρχικής παλαιοεπιφάνειας, υπολείμματα της οποίας παρατηρούνται σήμερα στα 600 m. Στη συνέχεια καταβύθισε τμήματά της και με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν οι δύο τεκτονικές λεκάνες των Βαλσαμάτων και των Τρωϊανάτων σε ευδιάλυτα κυρίως πετρώματα.
- **2<sup>ο</sup> Στάδιο:** Η λεκάνη η οποία δημιουργήθηκε μεταξύ των ευδιάλυτων ασβεστολιθικών πετρωμάτων με την επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών αρχίζει να καρστικοποιείται. Εξαιτίας των φερτών υλικών, τα οποία προέρχονται από τη διάβρωση των ασβεστόλιθων καθώς και από τα αργιλικά υπολείμματα της χημικής διάλυσης τους, ο πυθμένας της λεκάνης πολύ γρήγορα στεγανοποιείται (Παπαδοπούλου & Βερυκίου, 1998). Σταματάει η κατά βάθος ανάπτυξη της και με τη δράση οριζόντιας χημικής διάλυσης, αρχίζει να διευρύνεται, αποκτά υπόγεια αποχέτευση και παίρνει τη μορφή πόλγης.
- **3<sup>ο</sup> Στάδιο:** Κατά την επίκλυση του κατώτερου Πλειστοκαίνου η νεοσχηματισθείσα πόλγη βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα γεμίζει με μάργκες (αποθέσεις μολασσικού τύπου) και προκύπτει ένα απολιθωμένο καρστ ή παλαιοκαρστ.
- **4<sup>ο</sup> Στάδιο:** Κατά το ανώτερο Πλειόκαινο η περιοχή αναδύεται και με τις επικρατούσες θερμές και υγρές κλιματολογικές συνθήκες λαμβάνει χώρα μεγάλη αποκομιδή των επικλυσισμένων σχηματισμών, οπότε αποκαλύπτεται το παλαιοκαρστ και προκύπτει το «καρστ εκταφής». Η κύρια πηγή προέλευσης των υλικών την περίοδο αυτή, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, προέρχεται από το μέτωπο της επώθησης του Αίνου, η οποία ήταν σύγχρονη με την Πλειοκαινική ιζηματογένεση (Underhill, 1985).
- **5<sup>ο</sup> Στάδιο:** Στην αναδυθείσα περιοχή λαμβάνει χώρα νέα φάση καρστικοποίησης, η οποία ευνοείται από τις κλιματολογικές εναλλαγές των μεσοπαγετώνων περιόδων και τελικά την περίοδο του Πλειστοκαίνου η πόλγη λαμβάνει τη σημερινή της μορφή.

## 5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά για την δημιουργία και εξέλιξη της πόλγης θεωρήθηκε ότι:

Με το τέλος των αλπικών εφαπτομενικών τεκτονικών κινήσεων και την έναρξη του ρηγματογόνου τεκτονισμού αρχίζει η δημιουργία των κοιλάδων, καθώς και η κατά βάθος διάβρωση.

Η περιοχή της πόλγης ανυψώνεται και λειτουργεί ως ένα ανοικτό γεωμορφολογικό, υδρολογικό και υδρογεωλογικό σύστημα. Η έναρξη της δημιουργίας καθώς και τα πρώτα στάδια εξέλιξης της πόλγης σχετίζονται με την επαναδραστηριοποίηση των ρηγμάτων της προηγούμενης φάσης.

Η καρστικοποίηση της περιοχής πιστοποιείται από την παρουσία πλήθους δολινών σε μεγαλύτερα υψόμετρα στην ευρύτερη περιοχή της πόλγης και σχετίζονται με την έντονη διάβρωση της περιοχής.

Σε μία επόμενη φάση με την επαναδραστηριοποίηση των ρηγμάτων δημιουργούνται συνθήκες που ευνοούν την εξέλιξη της πόλγης. Η πόλγη πληρώνεται με κλαστικό υλικό, που προέρχεται από τα γύρω ασβεστολιθικά πετρώματα.

Οι ερυθροπηλοί ανάμεσα στο κλαστικό υλικό, εκφράζουν περιόδους ηρεμίας της ανάντη περιοχής τροφοδοσίας.

**Βιβλιογραφία**

Aubouin J., and J.Dercourt, 1962: Zone Preapulienne, Zone Ionienne et Zone du Gavrovo en Peloponese occidentale. *Bul. Soc. Geol. France*, 4, 785-794.

Γεωργιάδου-Δικαιούλια Ε., 1965: Το Νεογενές της Κεφαλληνίας. Διατριβή επί διδασκαλία. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 18, 43-106.

British Petroleum, 1971: The geological results of petroleum exploration in western Greece. Institute of Geology and Subsurface Research, Athens, No. 10.

British Petroleum Co., University of Munich & Μιγκίρος, Γ. 1985: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, «Φύλλο Κεφαλληνία (Βόρειο και Νότιο τμήμα)», κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Kamberis, E., F. Marnelis, M. Loucoyannakis, F. Maltezou, A. Hirn, and Streamers Group. 1996: Structure and deformation of the External Hellenides based on seismic data from offshore Western Greece. From Wessely, G. & Liebl, W. (eds), Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe. EAGE Special Publication, 5, 207-214.

Λέκκας, Ε., Γ. Δανάμος, και Γ. Μαυρίκας, 2001: Γεωλογική δομή και εξέλιξη των νήσων Κεφαλονιάς και Ιθάκης. *Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Ετ.*, XXXIV/1, 11-17.

Maurin, V., and Zolt, J., 1967: Salt water encroachment in the low altitude karst water horizons of the island of Kephallinia (Ionian island). *Proc. Dubrovnik Symp. Int. Assoc. Sc. Hydrol.*, 74, 423-438

Mirkou, R.M., 1974. *Stratigraphie et Géologie de la partie septentrionale de le se Zante Grece.* *Ann. Geol. Pays Hell.*, 26, 35-108.

Mercier, J., B. Bousquet, N. Delibassis, I. Drakopoulos, B. Keraunden, F. Lemeille, and D. Sorel, 1972: Déformations en compression dans le Quaternaire des rivages ionien (Céphalonie, Greece). *Donnes néotectoniques et séismiques.* C. R. Ac. Sc. Paris, 275, 2307-2310.

Mercier, J., E. Carey, H. Philip, and D. Sorel, 1976: La néotectonique plio-quaternaire de l'arc égéen externe et de la Mer Egede et ses relations avec la séismicité. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 2, 355-372.

Νικολάου, Κ. 1983: Συμβολή στη γνώση και οριοθέτηση της Ιόνιας και Προαπούλιας ζώνης σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο και Κεφαλληνία. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Παπαδοπούλου, Κ. και Ε. Βερυκίου, 1998: Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στις περιοχές Λειβαδίου και Μαραντοχωρίου της νήσου Λευκάδας. 4ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Αθήνα 12-14 Οκτωβρίου.

Sorel, D., 1976: Etude Neotectonique dans l' arc Egeen externe occidentale les iles ioniennes de Cephalonie et Zante et de l' Elide occidentale (Grece). These du 3e cycle, Univ. Paris-Sud, Faculte Sciences Orsay.

Underhill, J.R., 1985. Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece, Thesis Ph.D. Univ. of Wales.

Underhill, J.R., 1988: Triassic evaporites and Plio-Quaternary diapirism in Western Greece. *Journal of the Geol. Soc. Of London*, 145, 269-282.

Underhill, J.R., 1989: Late Cenozoic deformation of the Hellenide foreland, western Greece. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101, 613-634.

## **ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΟΓΕΝΕΙΣ ΖΩΝΕΣ: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ**

Γκουρνέλος Θ., Σαμπώ Β., Ευελπίδου Ν., Βασιλόπουλος Α., Σκιάνης Γ.  
*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας και κλιματολογίας*

### **Περίληψη**

Σε αυτή την εργασία διερευνούμε την συσχέτιση μεταξύ του ασυνεχούς τεκτονισμού και της εξέλιξης των γεωμορφών. Για την διεκπεραίωση της εργασίας υιοθετήθηκε μία μεθοδολογία πολλαπλών βαθμίδων. Βάσει αυτού, κατά πρώτον εξετάζουμε την τοπογραφία της εν λόγω περιοχής και ταξινομούμε τις γεωμορφές. Στη συνέχεια εξετάζουμε τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής, το υδρογραφικό δίκτυο, τις χρήσεις γης, τη βλάστηση και τον βαθμό της ανθρώπινης παρέμβασης.

Εν τέλει, εξετάζουμε τις τεκτονικές ζώνες της περιοχής (ρήγματα και ρηγματογενείς ζώνες). Επίσης, επεξεργαζόμαστε δεδομένα από την ανάλυση αεροφωτογραφιών και της δορυφορικής εικόνας της περιοχής. Οι παραπάνω πληροφορίες αναλύονται σε περιβάλλον GIS με τη χρήση μεθοδολογίας έμπειρων συστημάτων. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, εφαρμόσαμε την παραπάνω διαδικασία σε επιλεγμένες περιοχές της Ελλάδος.

### **GEOMORPHOLOGY AND FAULTED ZONES: AN APPROACH ON SOME SELECTED AREAS OF GREECE USING G.I.S. A MULTI-CRITERIA INFERENCE MECHANISM**

Gournelos T., Sabot V., Evelpidou N., Vassilopoulos A., Skianis G.  
*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Geography and Climatology*

### **Abstract**

In this paper we investigate the relations between the landforms and the discontinuous tectonism. A multistep methodology has been adopted. Thus, first we study the topography of a given area and by proper procedures we classify the geofoms. We next examine the geological formations of the area, the drainage system, the landuse, the vegetation and the human impact.

Finally, we study the tectonic zones of this area (faults and fractures zones). Data has also been obtained by airphotos and satellite images. All the above information is analyzed in a G.I.S platform using expert system methodology. This procedure has been applied to some selected places of the Greek territory.

### **1. Introduction**

The land surface is the result of the interaction between the internal and external processes. The discontinuous deformations such as the faults and fractures are the principal neotectonic manifestations. The most common kind between faults are the normal faults which create abrupt topographic areas (fault scarps); the processes of erosion and deposition modify this original structure.

The aim of this paper is to investigate the relation between the geomorphology and the

internal neotectonic processes. We have approached this problem, using expert system methodology in order to classify different levels of information such as topography, geology, drainage system, vegetation-land use.

## 2. Methodology

For the documentation's and analysis' needs of this research, a Geographical Information System has been developed; the primary spatial information that is the topography, the drainage system and the geological formations has been inserted in the spatial database. These data resulted in separate information layers and they have been compiled for each region. Processing the aforementioned spatial data resulted in a series of secondary information layers, such as the relief. Together with geographical information, a vast amount of attribute data has also been inserted in the database; attribute data has been collected after fieldwork, photointerpretation of aerial photographs and satellite images.

The flow diagram (Fig. 1) shows the main step of this methodology. Firstly we have introduced the input data, and then, using qualitative and quantitative criteria we have proceeded to a classification of geofoms in order to locate faulted zones. The main qualitative criteria which we have used are the slope gradient maps, the indicator slope maps, while in order to characterize the possible faulted zones we have used altitudinal analysis, morphological slopes, stream length gradient (Keller and Pinter, 2002), and moving window statistics, the front mountain sinuosity and the fractal dimension. Finally to detect lineaments in satellite images we have applied convolution filters using Erdas software (Erdas Imaging, 2000).

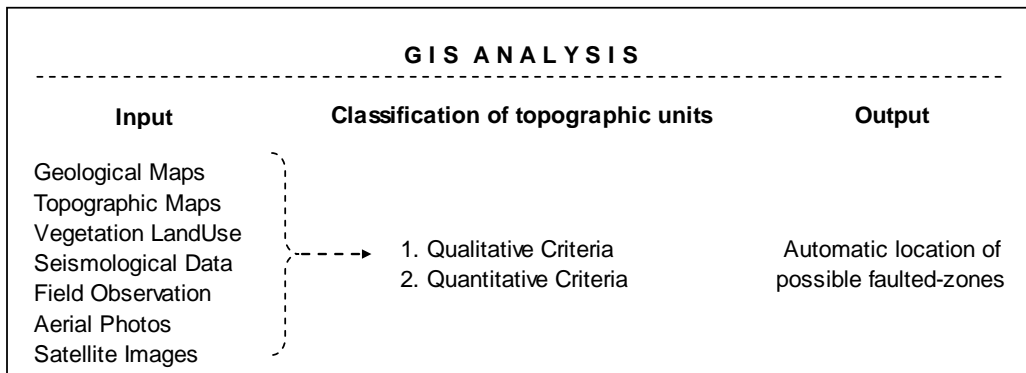


Fig. 1. Flow diagram

## 3. Case study

We have applied this methodology to the islands of Corfu, Lefkas, Kefallonia, Zante and to the area of Trichonis Lake (Fig. 2). These places are very close to the Ionian subduction zone and present intense earthquake activity. The geological evolution of these areas is characterized by the alpine structures and the neotectonic faulting (IGME, 1963; Bornovas, 1964; I.G.S.R. N. Corfu Sheet, 1970; I.G.S.R. S. Corfu Sheet, 1970; British Petroleum Co. Ltd., 1971; Caputo, 1984; IGME, 1985; Leivaditis, 1987; Livaditis and Verikiou-Papaspiridakou, 1987a,b; Doutsos et al, 1987; Underhill, 1989; Gournellos et al. 1997; Maroukian et al. 2004; Gournellos et al. 2005). The geomorphological processes of these areas have been studied by numerous authors (Gournellos et al. 1997; Gournellos et al. 1999; Verikiou et al. 2000; Vassilopoulos, 2001; Verikiou et al. 2002; Gournellos et al. 2005).

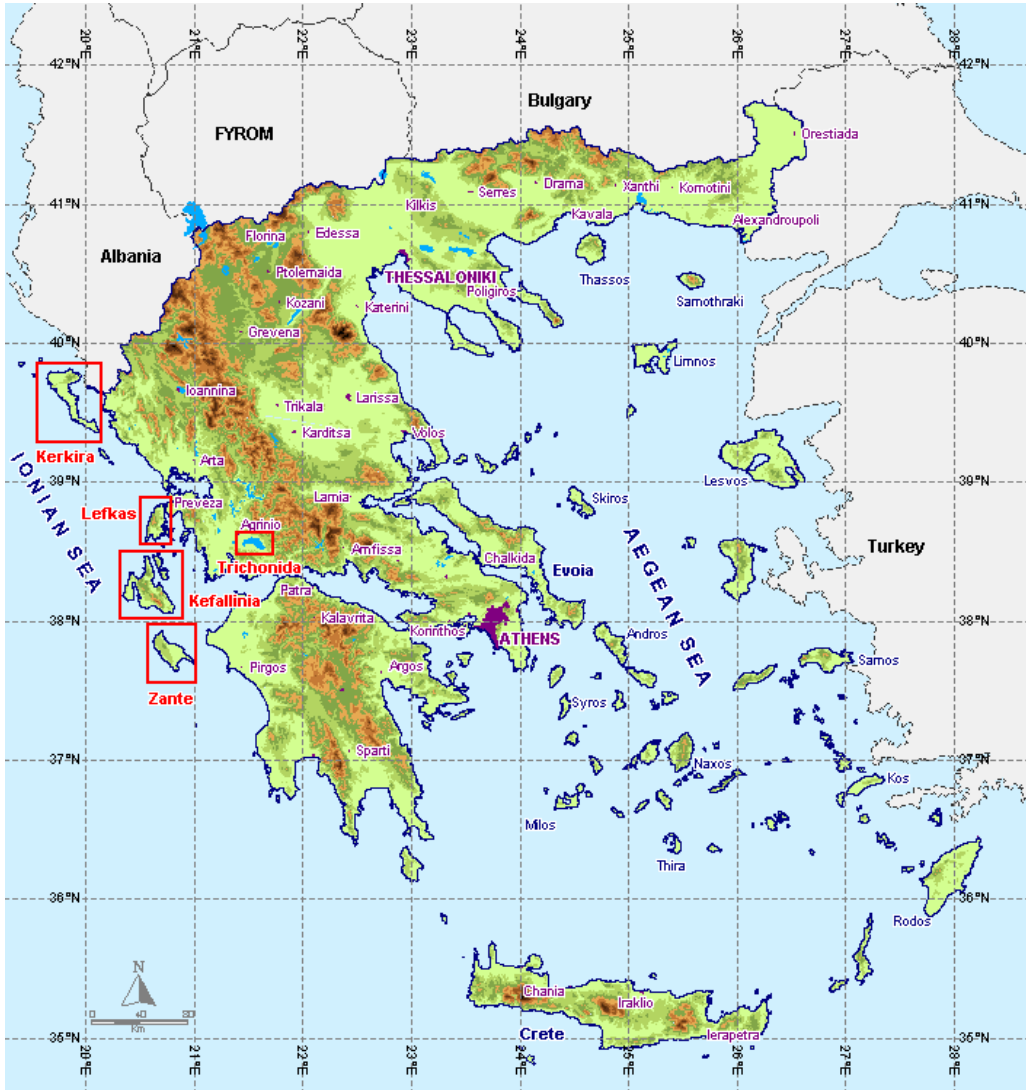
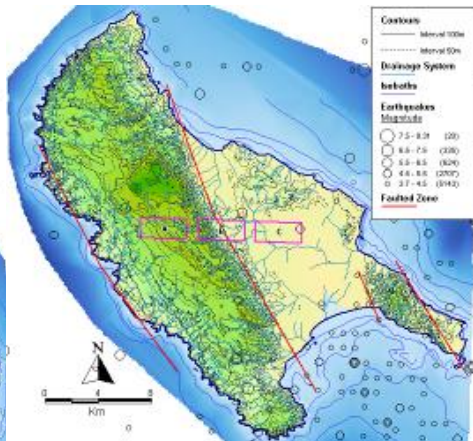
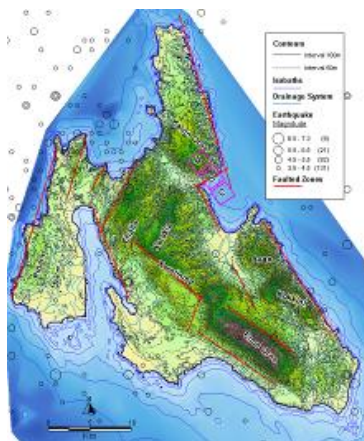


Fig. 2. Study areas

Thus, using the multi criteria procedure we have located the main faulted zones as they have been mapped in figure 3. The slope maps and the indicator maps (Fig. 4) were very useful tools. Then we proceed to estimate some characteristic parameters of the fault zones such as the front mountain sinuosity, slope, stream length gradient index, fractal dimension, altitudinal analysis (Table I), fault orientation and length (Table II). It must be noted that we have also investigated the mapping of lineament by analyzing satellite images.





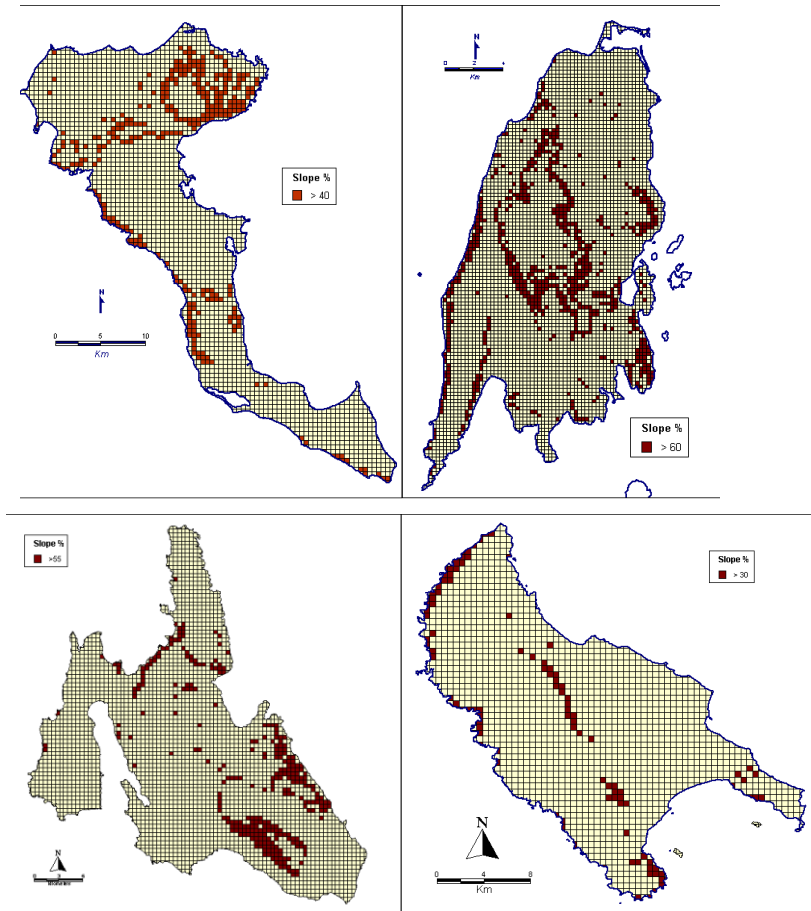


Fig. 3. Location of the main faulted zones using a multi-criteria procedure.

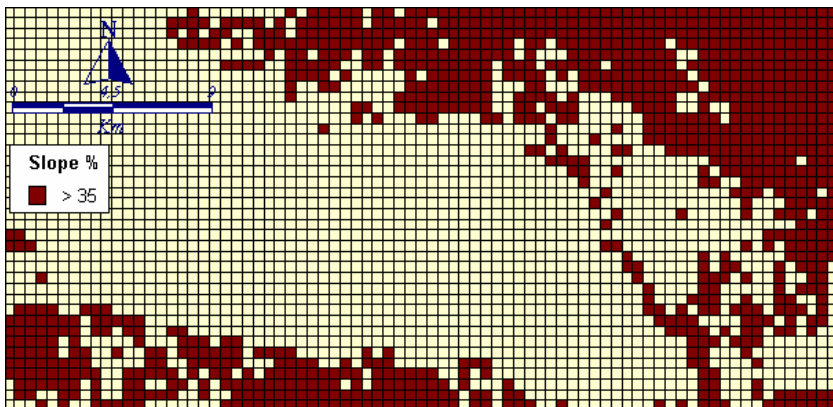


Fig. 4. Slope maps for the study areas.

We applied convolution filters on a Landsat image of Zakynthos Island, taken in July 1984, in order to detect lineaments which possibly express fault zones.

We first applied a 3x3 high pass filter, which is incorporated in the standard convolution masks of ERDAS Imagine 8.5 software. The coefficients of the mask are the following:

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

(1)

The filtered 432 RGB image of the island, according to mask (1), shows a NW-SE lineament which is estimated to be a faulted zone. This lineament, may also be seen as a border zone in dark tones and an adjacent region with bright tones, if another filter, proposed by Richards & Jia 1999, is applied on the same image. The coefficients of this filter are given by:

0	+1	+1
-1	0	+1
-1	-1	0

(2)

Finally we applied a filter proposed by Skianis et. al. 2005, which is defined by the following 5x5 mask:

-0.014	-0.101	-0.003	-0.101	-0.014
0.000	-0.101	-0.199	0.000	-0.101
-0.003	-0.199	3.159	-0.199	-0.003
-0.101	0.0000	-0.199	0.000	-0.101
-0.014	-0.101	-0.003	-0.101	-0.014

(3)

This filter has had a remarkable effect on the thermal infrared band 6 of the Landsat image. A lineament with dark tones has been observed, at the same location with the NW-SE lineament of the other filtered images.

#### 4. Conclusion

We have approached the relations between geomorphology and faulting using a multi-criteria procedure. Thus using various data levels such as topography, lithology, earthquake distribution, air-photo, satellite image and field observation, we have achieved to locate possible faulted zones in the Ionian islands of Corfu, Leukas, Kefallinia, Zante and in the area of Trichonis lake. All those areas are characterized by intense active deformation, related to the general geotectonic field.

Thus, the results of this paper can be very useful in local and regional scale for future decisions concerning development and environmental protection.

#### Appendix 1

Table I. Altitudinal analysis – Moving window statistics for the case studies

Altitude analysis – Moving window statistics – Kerkira			
	A	B	C
<b>Count</b>	453	1.134	10
<b>Minimum</b>	650	-41	-49
<b>Maximum</b>	800	750	-31
<b>Range</b>	150	791	18
<b>Sum</b>	327.050	406.102	-422
<b>Mean</b>	721,965	358,115	-42,2
<b>Variance</b>	1.366,34	48.651,93	30,36
<b>Standard Deviation</b>	36,964	220,572	5,509

<b>Altitudinal analysis – Moving window statistics - Lefkas</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Count</b>	9	175	297
<b>Minimum</b>	-146	-50	260
<b>Maximum</b>	-50	360	700
<b>Range</b>	96	410	440
<b>Sum</b>	-746	24.625	140.380
<b>Mean</b>	-82.8889	140,714	472,66
<b>Variance</b>	1.053,43	12.718,2	13.059,93
<b>Standard Deviation</b>	32,4566	112,2775	114,28

<b>Altitude analysis – Moving window statistics - Kefalinia</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Count</b>	518	396	21
<b>Minimum</b>	350	-106	-128
<b>Maximum</b>	822	500	-50
<b>Range</b>	472	606	78
<b>Sum</b>	318.983	55.814	-1.969
<b>Mean</b>	615,797	140,944	-93,7619
<b>Variance</b>	13.037,13	18.769,46	680,562
<b>Standard Deviation</b>	114,18	137,002	26,0876

<b>Altitudinal analysis – Moving window statistics - Zante</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Count</b>	385	710	0
<b>Minimum</b>	400	50	-
<b>Maximum</b>	550	550	-
<b>Range</b>	150	500	-
<b>Sum</b>	191.450	206.830	-
<b>Mean</b>	497,273	291,31	-
<b>Variance</b>	1.193,86	20.158,14	-
<b>Standard Deviation</b>	34,5523	141,979	-

<b>Altitudinal analysis – Moving window statistics - Trichonida</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Count</b>	16	367	697
<b>Minimum</b>	40	60	140
<b>Maximum</b>	60	240	380
<b>Range</b>	20	180	240
<b>Sum</b>	720	56.180	172.720
<b>Mean</b>	45	153,079	247.805
<b>Variance</b>	75	1.790,79	3.109,24
<b>Standard Deviation</b>	8,66025	42,3178	55,7606

Table II: This table shows the characteristics for each faulted zone; different parameters such as front sinuosity, fractal dimension, stream length index, moving window statistics and fault parameters.

Location	Sinuosity	Fractal Dimension	SL Index	Fault characteristics			Code
				Orientation	Length m	Slope	
Corfu	1.27	1.102	413,76	152,01°	6.068		S1
			761,13				S2
			425,99				S3
Lefkas	1.19	1.0369	265,91	24,25°	14.778,61		S1
			1.561,95				S2
			286,80				S3
Kefallinia	1.62	1.0576	545,25	148.73°	6.276,76		S1
			8,57				S2
			813,46				S3
Zante	1.61	1.0305	295,85	135.57°	3.269,93		S1
			430,41				S2
Trichonida	2.44	1.1645	256,27	94,98°	14.134,23	16,26°	S1
			1.541,74				S2
			28,69				S3

## References

Βασιλόπουλος Α., Θ. Γκουρνέλος, Ν. Ευελπίδου, 2000: Κατασκευή περιβαλλοντικής βάσης δεδομένων και αντίστοιχου χάρτη για τη νήσο Κεφαλληνία με τη χρήση τεχνολογίας G.I.S., Πρακτικά 6ου Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Χ.Ε.Ε.Ε, σελ. 539-545.

Σαμπώ Β., Θ. Γκουρνέλος, Ν. Ευελπίδου, Α. Βασιλόπουλος, 2001: Δημιουργία Βάσης Δεδομένων και χάρτη επικινδυνότητας διάβρωσης της περιοχής της λίμνης Τριχωνίδας χρησιμοποιώντας κανόνες ασαφούς λογικής σε περιβάλλον Γ.Σ.Π., Πρακτικά 9ου Διεθνούς συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Αθήνα, Vol. XXXIV/1, p.p. 443-450.

Bornovas J., 1964: Geological study of Leukada island. IGSR, Vol. X, No 1: 142.

British Petroleum Co. Ltd., 1971: The geological results of petroleum exploration in western Greece, Athens, Greece, Institute for Geological and Subsurface Research, Report No. 10.

Caputo R., 1984: Geologia della zona trascorrente di Corfu (Grecia), Thesis Univ. Ferrara, 1-130, unpublished.

Dermitzakis M., D. Papanikolaou and Z. Karotsieris, 1977: The marine Quaternary deposits of SE Zakynthos island and their paleogeographic implications, VI Inter. Congress of Aegean Region, Athens.

Doutsos T., N. Kontopoulos, D. Frydas, 1987: Neotectonic evolution of northwestern continental Greece: logische Rundschau, 76, 433-452.

Gournellos Th., A. Vassilopoulos, N. Evelpidou, 1997: Development of a GIS -based methodology to analyze geological, geomorphological and environmental data of the island of Zakynthos, Proceedings International Symposium on Engineering geology and the

environment, Athens, p.p. 1245-1251

Gournelos T., N. Evelpidou, A. Vassilopoulos, 2005: Developing a neuro-fuzzy system to classify the drainage sub-basins according to erosion processes in the island of Lefkas (Greece), presented at the COST Action 634 conference: Reorganizing field and landscape structures in a context of building strategies for water and soil protection, Lublin, Poland, 15-17 September 2005, Abstract.

Gournelos Th., N. Evelpidou, A. Vassilopoulos, 1999: A morphometric analysis using GIS to deduce geomorphological process - natural hazards, at Zakynthos islands, Proceedings of the 6th International conference on Environmental Science and Technology, Samos, Vol. II, p.p. 371-378.

I.G.S.R. (Institute for Geology & Subsurface Research), 1970: Geological Map, North Corfu Sheet, Scale 1:50.000

I.G.S.R. (Institute for Geology & Subsurface Research), 1970: Geological Map, South Corfu Sheet, Scale 1:50.000

IGME, 1963: Geological map of Leukas, 1:50.000.

IGME, 1985: Geological map of Kefallinia, 1:50.000.

Keller E.A. and N. Pinter, 2002: Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape, Second Edition, USA.

Leivaditis G., 1987: Coastal morphology of Zante island, 1st PanHellenic Geographical congress, 195-203.

Livaditis G and E. Verikiou-Papaspiridakou, 1987(a): Coastal morphology of Leukas island, Proceedings of 1st PanHellenic Geographical Conference, Athens, 387-394.

Livaditis G. and E. Verikiou-Papaspiridakou, 1987(b): Coastal sedimentology conditions that formed "Zostiros" formation in Leukada town. 1st Hellenic Geographical Congress, Vol. B, p. 229-235.

Maroukian H., K. Gaki - Papanastassiou, A. Vassilopoulos, N. Evelpidou, D. Papanastasiou, 2004: Coastal configuration variability and retreat of the five largest Ionian islands (W. Greece), Littoral 2004, 7th International Conference Delivering Sustainable Coasts: Connecting Science and Policy, September 20 - 22, Vol. 2, p.p. 654- 659.

Skianis G., D. Vaiopoulos, K. Nikolakopoulos, 2005: A study of the performance of a new sharpening filter. Proc. SPIE, 5982, 323-334, Image and Signal Processing for Remote Sensing XI, Lorenzo Bruzzone; Ed.

Underhill J.R., 1989: Late Cenozoic deformation of the Hellenide forland, Western Greece, Geological Society of America Bulletin, 101, 613-634.

Vassilopoulos A., 2001: Analysis of Geomorphological and Geographical data, using GIS techniques in Kefallinia island, Thesis, University of Athens, Geology Department, p.222.

**Verikiou E., N. Evelpidou, A. Vassilopoulos, 2000: "Processing knickpoints in Leukada island with the use of GIS techniques", Annale Geologique des Pays Helleniques, XXXVIIIc, 211-220.**

Verikiou E., A. Vassilopoulos, N. Evelpidou, 2002: Geomorphological characteristics in Leukas island using GIS, Proceedings of the 6th Pan-Hellenic geographical congress of the Hellenic Geographical Society, October 3-6, Vol. I, p.p.395-402.

## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗ Ν. ΜΥΚΟΝΟ

Γκουρνέλος Θ<sup>1.</sup>, Χαλκιάς Χ.<sup>2.</sup>, Σκέντος Α.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,

<sup>2</sup>Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετάται το φαινόμενο της διάβρωσης μέσα από μία μεθοδολογική προσέγγιση η οποία αξιοποιεί την έννοια της εντροπίας η οποία σχετίζεται με μετρήσεις πιθανοτήτων εμφάνισης κάποιου γεγονότος ή φαινομένου. Με τη βοήθεια ενός ΓΠΣ δημιουργούνται διάφορες μεταβλητές (κλίση, λιθολογία, κάλυψη γης, απορροή) οι οποίες σχετίζονται με τη διάβρωση και υπολογίζεται η εντροπία τόσο για κάθε μια από αυτές όσο και για σύνθετα θεματικά επίπεδα τα οποία προκύπτουν από συνδυασμούς τους. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια κατάσταση μειωμένης εντροπίας. Η όλη διαδικασία εφαρμόζεται στη Ν. Μύκονο με τελικό παραγόμενο χάρτη με τη χωρική κατανομή των ζωνών διάβρωσης.

### STUDY OF THE EROSIONAL PROCESSES BASED ON THE DECREASING ENTROPY MEASURES: A GIS APPLICATION ON THE ISLAND OF MYKONOS

Gournelos T.<sup>1.</sup>, Chalkias C.<sup>2.</sup>, Skentos A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National and Kapodistrian University of Athens,, Department of Geology and Geoenvironment,

<sup>2</sup>Harokopio University, Department of Geography

### Abstract

In this paper we study erosional processes using the Entropy concept. In general Entropy is defined in thermodynamics and is related to probability measures. It is closely associated with a measure of uncertainty. This concept is used as a base to develop a methodology for studying erosion. Thus by introducing in G.I.S. system progressively various variables (lithology, drainage system, slope gradient, land cover) we have estimated the Entropy measures. The final result is the minimum Entropy situation. This procedure has been applied on the Mikonos island in order to create a map of spatial distributes of erosion risk zones.

**Λέξεις κλειδιά:** ανάλυση εντροπίας, διάβρωση, Ν. Μύκονος, μοντελοποίηση με ΓΠΣ.

**Key words:** entropy analysis, erosion, Mykonos island., GIS modeling.

### 1. Εισαγωγή

Η μελέτη και η μοντελοποίηση των φυσικών συστημάτων και διεργασιών είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία, καθώς περιλαμβάνει αφενός την αποτίμηση πληθώρας πληροφοριών με χωρική διασπορά, αφετέρου την αξιολόγηση της χωρικής ετερογένειας και των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που σχετίζονται με το υπό εξέταση φαινόμενο. Σε αυτή την προσπάθεια, η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ ή GIS) αποτελεί στις μέρες μας σημαντικό αρωγό παρέχοντας πλήθος δυνατοτήτων διαχείρισης και ανάλυσης. Η καταγραφή, η συνδυαστική αξιοποίηση θεματικών επιπέδων πληροφορίας, η διενέργεια μετρήσεων και η οπτικοποίηση των χωρικών δεδομένων είναι μερικές μόνο από αυτές τις δυνατότητες. Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό των

ΓΠΣ είναι ότι αποτελούν το πλαίσιο εντός του οποίου υλοποιούνται διαφορετικές μεθοδολογίες χωρικής ανάλυσης. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από τη χωρική βάση δεδομένων (ολοκληρώνοντας στοιχεία από διάφορες πηγές) και τις διαδικασίες – εργαλεία ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων. Η χαρτογραφική υπέρθεση, η στατιστική ανάλυση (π.χ. η χωρική παλινδρόμηση) η ανάλυση με τη χρήση ασαφούς λογικής (Fuzzy logic), η στοχαστική ανάλυση, η προσομοίωση με τα ψηφιδωτά αυτόματα (cellular automata), η ανάλυση δικτύων με τη χρήση της θεωρίας των γραφημάτων αποτελούν μερικά μόνο χαρακτηριστικά παραδείγματα των μεθοδολογιών ανάλυσης οι οποίες υποστηρίζονται από ένα ΓΠΣ. Η σχετική βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη περιλαμβάνοντας εφαρμογές από διάφορες επιστήμες οι οποίες μελετούν χωρικά φαινόμενα. Ένα τμήμα αυτών των εφαρμογών και των ερευνητικών προσπαθειών ασχολείται με τη μελέτη της χωρικής ετερογένειας και ένα ακόμη μικρότερο τμήμα με τη μελέτη της εντροπίας στην αποτίμηση χωρικών πληροφοριών. Αυτό αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας, η οποία ασχολείται με τη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης εξετάζοντας την εντροπία ενός φυσικού συστήματος. Η βασική ιδέα στηρίζεται στη συσχέτιση του παραγόμενου των διαδικασιών διάβρωσης με το αποτέλεσμα ενός πειράματος πιθανοτήτων. Παρόμοια πειράματα εμπεριέχουν ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε η έννοια της εντροπίας. Ο όρος εντροπία – ο οποίος προέρχεται από τη θερμοδυναμική – χρησιμοποιείται ως μέτρο περιγραφής της αταξίας σε ένα κλειστό σύστημα (Batty 1976). Η μελέτη της εντροπίας έχει αξιοποιηθεί, μεταξύ άλλων, και σε γεωγραφικές εφαρμογές ιδιαίτερα στη μελέτη φαινομένων με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας – τυχαιότητας (π.χ. στην κλιματολογία Balling & Roy 2004, στην οικολογία Li & Reynolds 1993, στην υδρολογία Fiorentino & Claps 1992, στην αστική γεωγραφία Chen & Liu 2002 και στη χαρτογραφία Bjorke 1996, Li et al 2002).

Για την μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης συχνά χρησιμοποιείται ένα μεγάλο πλήθος χωρικών μεταβλητών οι οποίες οργανώνονται στη χωρική βάση δεδομένων ενός ΓΠΣ. Η επιλογή των μεταβλητών αυτών, η εσωτερική οργάνωση και ταξινόμηση των πληροφοριών που περιέχουν και οι λογικοί μηχανισμοί με τους οποίους σχετίζονται με το φαινόμενο είναι πρωταρχικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Οι μεταβλητές που αξιοποιούνται σχετίζονται με την τοπογραφία, το γεωλογικό καθεστώς, τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου και τις χρήσεις γης ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και μετρήσεις - παρατηρήσεις υπαίθρου. Η εργασία που παρουσιάζεται παρακάτω ασχολείται με τη διενέργεια και την αξιοποίηση μετρήσεων εντροπίας για τη βέλτιστη χρήση αυτών των δεδομένων εισόδου στη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης.

Το υπόλοιπο τμήμα της εργασίας οργανώνεται ως εξής: στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο και η μεθοδολογία υπολογισμού της εντροπίας. Στη συνέχεια επιχειρείται η εφαρμογή της μεθόδου στη Ν. Μύκονο και δίδονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της εφαρμογής, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση της προτεινόμενης μεθόδου, σχολιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής και παρατίθενται τα συμπεράσματα.

## 2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία αυτή, βασίζεται στην τεχνολογία των ΓΠΣ και αξιοποιεί ως εργαλείο ανάλυσης μετρήσεις του μεγέθους της εντροπίας. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό σχήμα αποτελείται από την αλληλουχία των παρακάτω βημάτων: α) οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων, β) ορισμός - υπολογισμοί εντροπίας, γ) προσομοίωση στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ. Τα στάδια αυτά αναπτύσσονται στη συνέχεια.

### 2.1 Οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων

Η μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης προϋποθέτει την αποτίμηση κάποιων χωρικών μεταβλητών οι οποίες σχετίζονται με το φαινόμενο. Η τοπογραφική οργάνωση της περιοχής μελέτης, τα lithολογικά χαρακτηριστικά, η βλάστηση, και τα χαρακτηριστικά του

υδρογραφικού δικτύου, είναι οι μεταβλητές που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή. Οι μεταβλητές αποδίδονται στο ΓΠΣ που υλοποιήθηκε μέσα από ένα ή περισσότερα θεματικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία αποτελούν τη χωρική βάση δεδομένων (ΧΒΔ).

Η καταγραφή της τοπογραφικής οργάνωσης πραγματοποιείται με τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) για την περιοχή μελέτης. Το μοντέλο αυτό το οποίο προκύπτει από διάφορες πηγές (ψηφιοποίηση ισούψων καμπυλών, στερεοζεύγη Α/Φ, Τηλεπισκόπηση κλπ), δίνει παράγωγες πληροφορίες ιδιαίτερα χρήσιμες στη μελέτη της διάβρωσης. Το παραγόμενο θεματικό επίπεδο της κλίσης του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε εδώ αφού σχετίζεται με την επίδραση της βαρύτητας η οποία καθορίζει το φαινόμενο της διάβρωσης. Τα lithολογικά χαρακτηριστικά αποδίδονται στο θεματικό επίπεδο της γεωλογικής δομής. Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης με έμφαση στην περιγραφή των lithολογικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη διάβρωση. Τα στοιχεία της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνουν το υδρογραφικό δίκτυο και την οργάνωση των υδρολογικών λεκανών. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατό, είτε να ψηφιοποιηθούν άμεσα από τοπογραφικούς χάρτες, είτε να εξαχθούν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες από το ΨΜΕ της περιοχής. Τέλος, η βλάστηση αποδίδεται μέσα από χάρτες χρήσης γης, και από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

## 2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία αυτή, βασίζεται στην τεχνολογία των ΓΠΣ και αξιοποιεί ως εργαλείο ανάλυσης μετρήσεις του μεγέθους της εντροπίας. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό σχήμα αποτελείται από την αλληλουχία των παρακάτω βημάτων: α) οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων, β) ορισμός - υπολογισμοί εντροπίας, γ) προσομοίωση στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ. Τα στάδια αυτά αναπτύσσονται στη συνέχεια.

### 2.1 Οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων

Η μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης προϋποθέτει την αποτίμηση κάποιων χωρικών μεταβλητών οι οποίες σχετίζονται με το φαινόμενο. Η τοπογραφική οργάνωση της περιοχής μελέτης, τα lithολογικά χαρακτηριστικά, η βλάστηση, και τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, είναι οι μεταβλητές που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή. Οι μεταβλητές αποδίδονται στο ΓΠΣ που υλοποιήθηκε μέσα από ένα ή περισσότερα θεματικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία αποτελούν τη χωρική βάση δεδομένων (ΧΒΔ).

Η καταγραφή της τοπογραφικής οργάνωσης πραγματοποιείται με τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) για την περιοχή μελέτης. Το μοντέλο αυτό το οποίο προκύπτει από διάφορες πηγές (ψηφιοποίηση ισούψων καμπυλών, στερεοζεύγη Α/Φ, Τηλεπισκόπηση κλπ), δίνει παράγωγες πληροφορίες ιδιαίτερα χρήσιμες στη μελέτη της διάβρωσης. Το παραγόμενο θεματικό επίπεδο της κλίσης του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε εδώ αφού σχετίζεται με την επίδραση της βαρύτητας η οποία καθορίζει το φαινόμενο της διάβρωσης. Τα lithολογικά χαρακτηριστικά αποδίδονται στο θεματικό επίπεδο της γεωλογικής δομής. Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης με έμφαση στην περιγραφή των lithολογικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη διάβρωση. Τα στοιχεία της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνουν το υδρογραφικό δίκτυο και την οργάνωση των υδρολογικών λεκανών. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατό, είτε να ψηφιοποιηθούν άμεσα από τοπογραφικούς χάρτες, είτε να εξαχθούν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες από το ΨΜΕ της περιοχής. Τέλος, η βλάστηση αποδίδεται μέσα από χάρτες χρήσης γης, και από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

Σημειώνεται ότι τα επίπεδα πληροφορίας τα οποία περιγράφηκαν παραπάνω για να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη διάβρωσης, θα πρέπει να υποστούν δευτερογενή επεξεργασία έτσι ώστε η εσωτερική τους οργάνωση να περιλαμβάνει πληροφορίες για το βαθμό κατά τον οποίο τα στοιχεία του ευνοούν ή όχι το φαινόμενο της διάβρωσης. Έτσι, γίνεται επαναταξινόμηση των στοιχείων κάθε επιπέδου σε κλάσεις «διάβρωσιμότητας» σε τακτική



κλίμακα (μικρή - μέση - μεγάλη διαβρωσιμότητα). Για παράδειγμα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται σε μια από αυτές τις κατηγορίες ανάλογα με το αν τα λιθολογικά χαρακτηριστικά τους ευνοούν ή όχι τη διάβρωση. Παρόμοιες επαναταξινομήσεις λαμβάνουν χώρα και για τις υπόλοιπες μεταβλητές. Παράλληλα, γίνεται και ο καθορισμός του συντελεστή πιθανότητας εμφάνισης διάβρωσης για κάθε κλάση στο διάστημα (0,1). Στο επόμενο στάδιο, αξιοποιώντας τη χωρική βάση δεδομένων γίνονται οι υπολογισμοί του μεγέθους της εντροπίας.

## 2.2 Εντροπία

Η ιδέα της εφαρμογής της εντροπίας στη μελέτη πληροφοριών είναι αρκετά παλιά (Shannon 1948, Shannon 1951, Khinchin, 1957). Σύμφωνα με αυτή η εντροπία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H_n = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad \text{με } 0 < P_i, (i = 1 \dots n) \text{ και } \sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (1)$$

όπου  $H_n$  η εντροπία του συστήματος,  $n$  το πλήθος των εξεταζόμενων κλάσεων (στην περίπτωσή μας  $n=2$ , “διάβρωση” – “όχι διάβρωση”), και  $P_i$  η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κλάσης, που εκφράζεται από το ποσοστό εμφάνισης της κλάσης στο σύνολο της πληροφορίας.

Αρχικά εξετάστηκε σύστημα χωρίς πληροφορία το οποίο εμφανίζει τη μέγιστη εντροπία. Σε αυτό το σύστημα  $P_1 = P_2 = 0.5$  και η εντροπία λαμβάνει την τιμή 1. Στη συνέχεια προστέθηκαν διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (επαναταξινομημένα θεματικά επίπεδα κλίσης, λιθολογίας, κάλυψης γης, στοιχείων υδρογραφικού δικτύου) και για κάθε μια προσθήκη επαναυπολογίστηκε η εντροπία του συστήματος. Η εφαρμογή των μετρήσεων αυτών πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ και περιγράφεται στη συνέχεια.

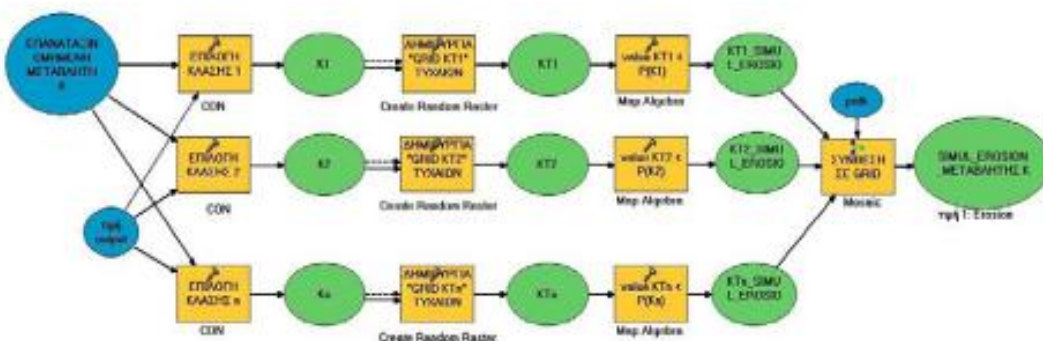
## 2.3 Υπολογισμοί εντροπίας στο πλαίσιο ΓΠΣ

Ο σταδιακός υπολογισμός της εντροπίας με παράλληλη αύξηση των επιπέδων πληροφορίας υλοποιήθηκε με την αξιοποίηση των αναλυτικών δυνατοτήτων ενός ΓΠΣ μέσα από ένα πείραμα προσομοίωσης. Το σύνολο των υπολογισμών έλαβε χώρα σε ψηφιδωτά επίπεδα χωρικών πληροφοριών αξιοποιώντας το λογισμικό ArcGIS και την επέκτασή του Spatial Analyst. Η προσομοίωση ακολούθησε τα παρακάτω βήματα: αρχικά έγινε μετασχηματισμός όλων των επιπέδων πληροφορίας σε ψηφιδωτή μορφή με ανάλογα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (στήλες, γραμμές, μέγεθος ψηφιδών). Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η επαναταξινόμηση των τιμών για κάθε επίπεδο πληροφορίας με βάση το βαθμό διαβρωσιμότητας στις αντίστοιχες κλάσεις και κατασκευάστηκε ο πίνακας πιθανοτήτων ( $P_k$ ) εμφάνισης διάβρωσης για κάθε κλάση. Γι παράδειγμα στην κλάση «μεγάλη διαβρωσιμότητα» K3 (η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλες κλίσεις) ορίζεται στο 0.8 η τιμή της πιθανότητας για διάβρωση. Στο επόμενο στάδιο κατασκευάστηκε ένα νέο θεματικό επίπεδο με τυχαίους αριθμούς ( $\Delta$ ) στο διάστημα (0,1) και για κάθε κλάση των θεματικών επιπέδων προσδιορίστηκαν οι ψηφίδες με την ιδιότητα  $\Delta < P_k$ . Στις ψηφίδες αυτές ανατέθηκε η τιμή 1 (= διάβρωση). Έτσι, στο προηγούμενο παράδειγμα, για όλες τις ψηφίδες της κλάσης K3 υλοποιήθηκε το ερώτημα value ( $\Delta$ ) < 0.8. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις κλάσεις του επιπέδου με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός νέου επιπέδου με τιμές 1 και 0 («διάβρωση» και «όχι διάβρωση» αντίστοιχα). Για το επίπεδο αυτό υπολογίστηκε εκ νέου η συνολική εντροπία σύμφωνα με την εξίσωση 1.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά με την προσθήκη νέων θεματικών επιπέδων τα οποία συνδυάζονται με τις κατάλληλες λειτουργίες υπέρθεσης θεματικών επιπέδων δημιουργώντας σύνθετες κλάσεις. Έτσι για παράδειγμα η υπέρθεση της κλίσης με τη

λιθολογία έχει ως αποτέλεσμα – μεταξύ άλλων – και τον κατακερματισμό της κλάσης K3 (του προηγούμενου παραδείγματος) στις υποκλάσεις “K3Λ1”, “K3Λ2”, “K3Λ3” που αντιστοιχούν σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις και λιθολογίες με μικρή, μέση και μεγάλη διαβρωσιμότητα αντίστοιχα. Για αυτές τις υποκλάσεις ορίζεται ο πίνακας αντιστοίχισης με πιθανότητες διάβρωσης και εκτελούνται τα βήματα που περιγράφηκαν παραπάνω με τελικό στόχο τον υπολογισμό της συνολικής εντροπίας για το νέο σύνθετο επίπεδο. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς όλα τα θεματικά επίπεδα. Καθώς η διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα (η προσομοίωση εκτελείται με πολλές επαναλήψεις έτσι ώστε να υπολογιστούν οι στατιστικοί μέσοι) και απαιτεί αρκετή υπολογιστική ισχύ κατασκευάστηκε ένα μοντέλο διαδικασιών στο λογισμικό ArcGIS, με τη χρήση του εργαλείου Model Builder. Η γενική ροή των δεδομένων και οι διαδικασίες που εκτελούνται φαίνονται στο σχ. 1.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο σχήμα αυτό περιγράφεται ένα μικρό μόνο τμήμα του μοντέλου το οποίο αναλύει μια μεταβλητή.



Σχ. 1. Μοντέλο υπολογισμού της εντροπίας

Η επόμενη φάση της εργασίας η οποία επικεντρώθηκε στην εφαρμογή του μοντέλου για ένα πραγματικό φυσικό σύστημα, περιγράφεται παρακάτω.

### 3. Εφαρμογή στη Ν. Μύκονο

Το πείραμα προσομοίωσης το οποίο περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εφαρμόστηκε για το νησί της Μυκόνου. Αρχικά, δημιουργήθηκε η χωρική βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από θεματικά επίπεδα με κοινό σύστημα χωρικής αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Τα επίπεδα αυτά και οι πηγές τους φαίνονται παρακάτω:

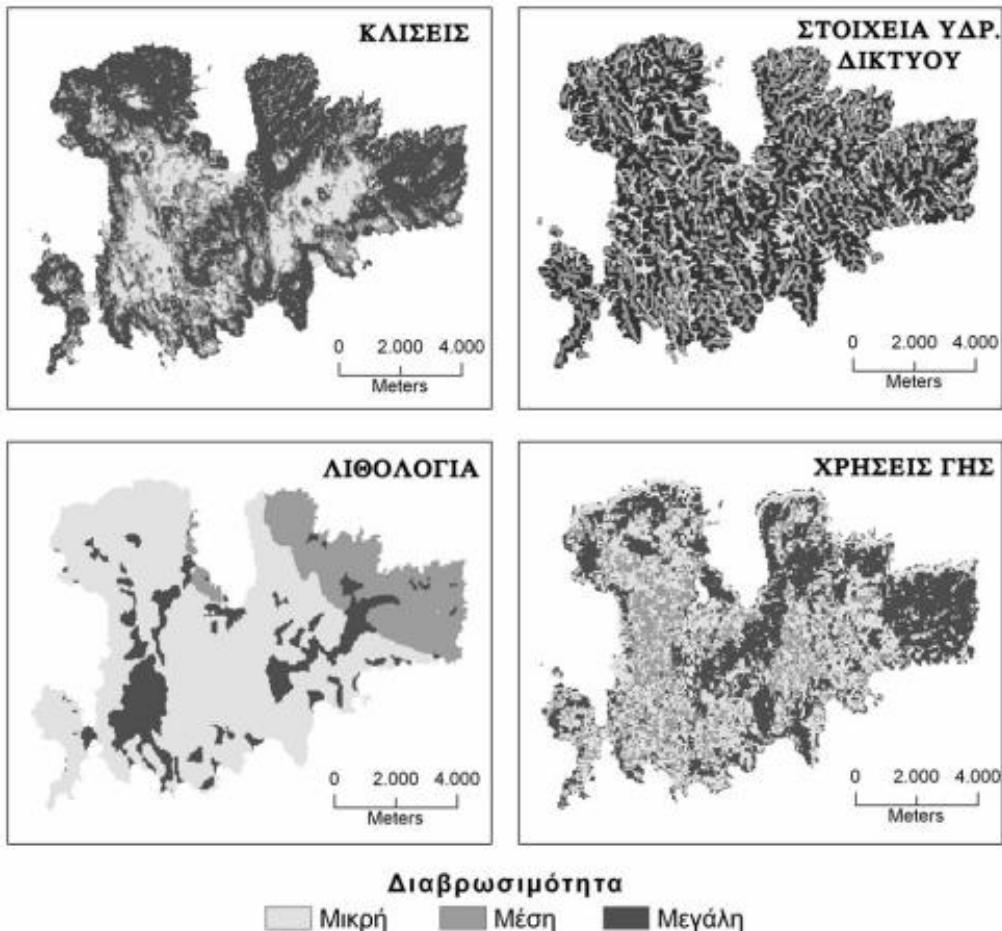
- Ισούψεις καμπύλες (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Υψομετρικά σημεία (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Υδρογραφικό δίκτυο (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Γεωλογία (πηγή: ΙΓΜΕ)
- Χρήσεις γης (πηγή εικόνα Landsat 1998, χωρική διακριτική ικανότητα 30μ)

Η Ν. Μύκονος βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα του συμπλέγματος των Κυκλάδων, ΝΑ της ν. Τήνου. Έχει επιφάνεια 87 km<sup>2</sup>, μήκος ακτών 81 km, ενώ ο πληθυσμός της σύμφωνα με την απογραφή 2001 ανέρχεται σε 9960 κατ. (Χαλκιάς 2003). Χαρακτηρίζεται από ξηρά και άγονα εδάφη, με χαμηλούς λόφους ενώ το ψηλότερο σημείο του νησιού έχει υψόμετρο 372 μ. Οι ακτές της είναι απότομες και παρουσιάζουν μεγάλο διαμελισμό. Αναφορικά με τις χρήσεις γης

θα πρέπει να τονίσουμε την ολοένα και αυξανόμενη επέκταση του αστικού ιστού και την περιορισμένη βλάστηση. Η γεωλογία της χαρακτηρίζεται από μεταμορφωμένα πετρώματα, γρανοδιוריτικές διεισδύσεις, ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Βορεάδης 1961, Παπασταματίου 1963, Durr & Altherr 1979, Aydis 1985), ενώ έχουν επίσης εξεταστεί η γεωμορφολογική και η μορφοτεκτονική εξέλιξη της νήσου (Riedl 1980, Γκουρνέλος κα αντίστοιχα).

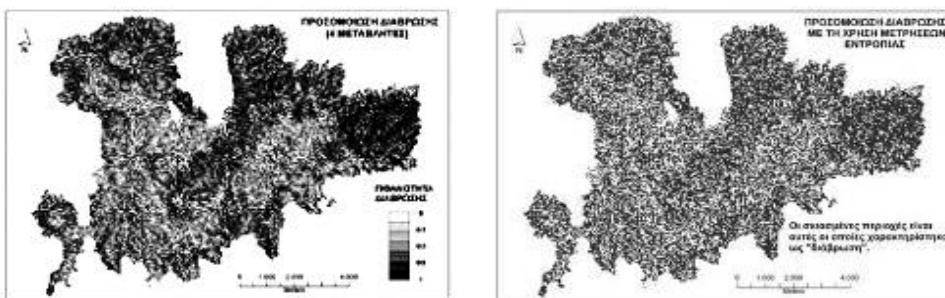
Από τα επίπεδα των ισοϋψών καμπυλών, του υδρ. δικτύου και των υψομετρικών σημείων κατασκευάστηκε το ΨΜΕ της ν. Μυκόνου, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ANUDEM (Hutchinson 1989). Από αυτό, κατασκευάστηκε τόσο το θεματικό επίπεδο των κλίσεων, όσο και το επίπεδο των στοιχείων του υδρογραφικού δικτύου (μήκος απορροής προς τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου). Τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση της τοπογραφικής οργάνωσης και των υδρολογικών συνθηκών της περιοχής που συνδέονται με το φαινόμενο της διάβρωσης. Η ταξινομημένη δορυφορική εικόνα και ο γεωλογικός χάρτης χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση των χρήσεων γης και της λιθολογίας αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι επαναταξινομήσεις των επιπέδων αυτών και προσδιορίστηκαν οι κλάσεις μικρής - μέσης - μεγάλης διαβρωσιμότητας σε κάθε επίπεδο (Σχ. 2).



Σχ. 2. Επαναταξινομημένες μεταβλητές με βάση τη διαβρωσιμότητα  
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Στο επόμενο στάδιο κατασκευάστηκαν οι πίνακες πιθανοτήτων για κάθε μια κλάση διαβρωσιμότητας κάθε επιπέδου και έγινε η προσομοίωση της διάβρωσης με τη σταθμισμένη (ανάλογα με τη πιθανότητα για διάβρωση) ανάθεση τυχαίων αριθμών στο διάστημα (0,1). Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η κατασκευή (για κάθε μεταβλητή) του επιπέδου με τιμές 1 και 0 (διάβρωση – όχι διάβρωση) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εντροπίας. Τέλος, έγινε σύνθεση των επιπέδων πληροφορίας και υπολογίστηκε η πιθανότητα διάβρωσης (Σχ. 3) και υπολογίστηκε η εντροπία με τη διαδοχική αύξηση της πληροφορίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε βήμα αυτής της διαδικασίας προσομοίωσης – το οποίο επαναλήφθηκε 50 φορές – έγινε η αντίστοιχη στατιστική μελέτη και υπολογισμός της εντροπίας του συστήματος (πίνακας 1).



Σχ. 3. Σύνθεση των επιπέδων πληροφορίας. Πιθανότητα

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι τιμές της εντροπίας που υπολογίστηκαν για κάθε μια μεταβλητή καθώς και οι υπολογισμοί της εντροπίας με τη διαδοχική αύξηση της πληροφορίας.

Από τα στοιχεία αυτά, είναι φανερή η μείωση της εντροπίας με την αύξηση της πληροφορίας.

Πίνακας 1 : Υπολογισμοί συνολικής εντροπίας

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΕΝΤΡΟΠΙΑ
Κλίση	0.953
Λιθολογία	0.950
Χρήσεις Γης	0.971
Χαρακτηριστικά Υδρ. Δικτύου	0.952
Κλίση – Λιθολογία	0.943
Χρήσεις Γης – Υδρ. Δίκτυο	0.940
Σύνολο Μεταβλητών	0.935

#### 4. Συμπεράσματα

Η έννοια της εντροπίας συνδέεται άμεσα με πιθανοτικά μοντέλα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βέλτιστη αξιοποίηση επιπέδων πληροφορίας. Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο νησί της Μυκόνου για τη μελέτη των διαδικασιών διάβρωσης. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι σε 1ο επίπεδο, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για τη διαδικασία διάβρωσης – απόθεσης (περιβάλλον μέγιστης εντροπίας) δεν μπορούν να οριστούν ζώνες διάβρωσης. Προοδευτικά, προσθέτοντας διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (π.χ. κλίση, λιθολογία, χρήσεις γης, στοιχεία υδρογραφικού δικτύου) η εντροπία μειώνεται και αρχίζει σταδιακά η σαφής οριοθέτηση ζωνών διάβρωσης – απόθεσης. Εξάλλου, η αυτοματοποίηση της μεθόδου δίνει τη δυνατότητα πολλαπλών προσομοιώσεων με παράλληλη στατιστική μελέτη των μετρήσεων της συνολικής εντροπίας του συστήματος. Τα πρακτικά αποτελέσματα αυτής της εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που

σχετίζονται με την αναπτυξιακή προοπτική των ελληνικών νησιών.

## Βιβλιογραφία

Avdis V., 1985: Contribution to the geology of Mykonos. Γεωλ. Και Γεωμ. Μελέτες, Τόμος Παπασταματίου

Balling R. C., Roy S.S., 2004: A spatial entropy analysis of temperature trends in the United states. Geophysical Research Letters 31: 11-2.

Batty M., 1976: Entropy in spatial aggregation. Geographical Analysis 8: 1-21.

Bjorke J. T., 1996: Framework for entropy-based map evaluation. Cartography and Geographical Information Systems, 23: 78-95.

Chen Y. G., Liu J. S., 2002: Derivations of fractal models of city hierarchies using entropy-maximization principle. Progress in Natural Science, 12: 208-11.

Durr S., Altherr R., 1979: Existence de klippes d' une nappe composite neogene dans l' ile de Mykonos/ Cyclades. Reun. Pour de la Med. Vol.25, 2a, Monaco.

Fiorentino M., Claps P., 1992: On what can be explained by the entropy of a channel network. Entropy and energy dissipation in water resources, ed. V. R. Singh and M. Fiorentino, 139-54. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

Hutchinson, M.F., 1989, A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits, Journal of Hydrology: 106 : 211 – 232.

Khinchin A. I., 1957: Mathematical Foundations of Information Theory, Dover Publications, New York.

Li H., Reynolds J. F., 1993: A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. Landscape Ecology 8: 155-62.

Li Z. L., Huang P. ZH., 2002 : Quantitative measures for spatial information of maps, International Journal of Geographical Information Science, vol. 16, No. 7, 699-709.

Papastamatiou J., 1963: Sur la presence de roches sedimentaires d'age pretriasique a Mykonos (Archipel de Cyclades, Grece). C.R. Acad. Sc., Paris, (D), 256, p. 5167 – 5169.

Riedl H., 1980: Geographische Studien im Bereich der Kykladen Santorin und Mykonos mit einem Beitrag uber Karpathos. Istitut Fur Geographie der Universitat Salzburg.

Shannon C. E., 1948: A Mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27: 379-423, 623-56.

Shannon C. E., 1951: Prediction and Entropy of printed English. Bell System Technical Journal 10: 50-61.

Βορεάδης 1961: Η γεωλογία και τα κοιτάσματα Βαρύτου των νήσων Μυκόνου και Δραγονήσι. Ann. Geol.de Pays Hell., 12: 263-300.

Γκουρνέλος Θ., Μαζιώτης Α., Στασινούλας Β., 1990: Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Μυκόνου. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Τόμος XXII σελ. 5-13, Αθήνα.

Χαλκιάς Χ. Ν., 2003: Οργάνωση γεωγραφικών πληροφοριών για τα ελληνικά νησιά με την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων, Γεωγραφίες, τεύχος 4: 62-95, εκδόσεις Εξάντας.

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ SARVIZ, ΟΥΓΓΑΡΙΑ

Ευελπίδου Ν.<sup>1</sup>, Barczy Α.<sup>2</sup>, Vona Μ.<sup>2</sup>, Penksza Κ.<sup>2</sup>, Centeri C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας

Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, e-mail: [evelpidou@geol.uoa.gr](mailto:evelpidou@geol.uoa.gr)

<sup>2</sup> Πανεπιστήμιο Szent Istvan, Godollo,

Τομέας Συντήρησης Φυσικού Περιβάλλοντος και Οικολογίας Τοπίου

H-2103, Godollo, Pater K.u.1., Hungary, E-mail: [Centeri.Csaba@kti.szie.hu](mailto:Centeri.Csaba@kti.szie.hu)

### Περίληψη

Η κοιλάδα του Sárvíz βρίσκεται ΝΔ της πρωτεύουσας της Ουγγαρίας (Βουδαπέστη). Η συνολική έκταση της υπό μελέτη περιοχής είναι 60.561,85ha. Το εδαφικό κάλυμμα ποικίλει, σε μορφή μωσαϊκού, αλλά τα μεγαλύτερα τμήματα είναι μορφής Τσέρνοζεμ. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, δημιουργήθηκε ο εδαφικός χάρτης της κοιλάδας, με βάση παλαιότερους χάρτες, γεωτρήσεις και αεροφωτογραφίες. Βασίζόμενοι στον εδαφικό χάρτη, δημιουργήθηκε ο χάρτης διαβρωσιμότητας για την περιοχή της Sárvíz Valley Small Region Association. Η μοντελοποίηση της διεργασίας της διάβρωσης έγινε μέσω της χρήσης του μοντέλου USLE (παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους). Εντοπίστηκαν οι περιοχές στις οποίες χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας. Ένας από τους στόχους της εργασίας αυτής, είναι η εφαρμογή των μεθόδων χαρτογράφησης και μοντελοποίησης, για τον υπολογισμό της διάβρωσης. Με τη χρήση των εργαλείων αυτών, είναι δυνατός ο καθορισμός των περιοχών που χρίζουν προστασίας σε θέματα διάβρωσης, καθώς επίσης και εντοπισμού των περιοχών μικρότερης σημασίας σε αγροτική εκμετάλλευση.

### PREPARING THE SOIL LOSS PREDICTION MAP OF THE SARVIZ VALLEY, HUNGARY

Evelpidou Ν.<sup>1</sup>, Barczy Α.<sup>2</sup>, Vona Μ.<sup>2</sup>, Penksza Κ.<sup>2</sup>, Centeri C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Dept. of Geography and Climatology  
Panepistimiopolis, Zografou, 15784, Athens, e-mail: [evelpidou@geol.uoa.gr](mailto:evelpidou@geol.uoa.gr)

<sup>2</sup>Szent Istvan University, Godollo, Dept. of Nature Conservation and Landscape Ecology  
H-2103, Godollo, Pater K.u.1., Hungary, E-mail: [Centeri.Csaba@kti.szie.hu](mailto:Centeri.Csaba@kti.szie.hu)

### Abstract

Sárvíz Valley is approximately 100km long, situated SW from capital of Hungary (Budapest). The total examined area of the valley is 60561.85ha. The soil cover is very mosaic, but the larger spots belong to Chernozems. We prepared the soil map of the valley, based on former soil maps, core samplings and aerial photographs. Based on the soil map we prepared the erosion map on the territory of the Sárvíz Valley Small Region Association. Erosion modeling was done by the USLE (Universal Soil Loss Equation) model. We marked areas where different amount of special attention and soil protection measures are needed. One of the basic aims of this study is the application of soil mapping and modeling for the calculation of erosion. With the help of these tools we are able to outline the areas which, as far as erosion is concerned, are in need of protection, as well as the less useful areas for agricultural production.

**Λέξεις κλειδιά:** USLE, διάβρωση, χαρτογράφηση, μοντελοποίηση.

**Key words:** USLE, erosion, mapping, modeling.

## 1. Introduction

Inappropriate land use is one of the main reasons for soil erosion and land degradation (Hacisalihoglu, 2007; Evelpidou, 2006). Soil loss prediction is a perfect tool to outline areas where soil protection measures should take place. Various soil erosion models have been developed (Giordano, 1986; Kirkby, 1995; Thornes et al., 1996; Baturst et al., 1996) and other models have been proposed (Elwell, 1978; Morgan et al., 1984; Knisel, 1980; Nearing et al., 1989). Gournelos et al. (2004) proposed a model with the use of soft computing methods. It is possible to use soil erosion models to find the most appropriate crops to stop soil loss and unexpected runoff. The most widely used model for soil loss prediction is the USLE - Universal Soil Loss Equation (Wischmeier and Smith, 1978). USLE predicts the long term average annual rate of erosion on a field slope based on rainfall pattern, soil type, topography, crop system and management practices. USLE only predicts the amount of soil loss that results from sheet or rill erosion on a single slope and does not account for additional soil losses that might occur from gully, wind or tillage erosion. This erosion model was created for use in selected cropping and management systems, but is also applicable to non-agricultural conditions such as construction sites. The USLE can be used to compare soil losses from a particular field with a specific crop and management system to "tolerable soil loss" rates. Alternative management and crop systems may also be evaluated to determine the adequacy of conservation measures in farm planning (Stone and Hilborn, 2000).

Authors emphasize the importance of local measurements in order to use the USLE outside the USA (Hall *et al.*, 1985). Numerous measurements were made to use the model in other countries. The USLE was applied to the Rio Lempa Basin (El Salvador and Honduras) using GIS and remote sensing technologies, and the estimated erosion rates were compared with sediment delivery ratios. Spatial analysis indicated that agriculture on very steep slopes contributes only a small fraction to the total estimated soil erosion, whereas agriculture on gentle and moderately steep slopes played a more important role (Kim *et al.*, 2005). Onyando *et al.* (2005) were using USLE to calculate the potential amount of erosion in order to find out the source of the sediment in Lake Baringo that was filled up rapidly by sediment, decreasing its depth from 8 to 2,5m from 1972 to 2003. Fistikoglu and Harmancioglu (2002) used the USLE integrated with GIS to identify the gross erosion, sediment loads, and organic N loads within a small region of the Gediz River, Turkey. USLE model, have been used to estimate soil erosion in a Himalayan watershed (Jain *et al.*, 2001). Tattari *et al.* (2001) found that USLE highly overestimated erosion for Finnish agricultural clayey soils with relatively steep slopes (i.e. 7%-8%). Sparovek *et al.* (2000) compared three water erosion prediction methods (Cs-137, WEPP, USLE) in south-east Brazilian sugarcane production. USLE predicted the highest erosion values and spread out over the widest range.

Numerous attempts were made to make input data more accurate. Wilkes and Sawada (2005) generated annual and monthly R factor maps using geostatistical interpolation. Their annual and seasonal maps can help in land use planning within the regions of intense agriculture surrounding Lakes Huron, Erie, and Ontario. R factor map was prepared by da Silva (2004) for Brasil.

Rodriguez et al. (2006) were investigating the K factor of the USLE on the Canary Island to find out the role of soil organic matter (SOM) in the aggregate stability and in the resistance of Andosols to water erosion. The soil erodibility factor according to the USLE method was calculated for selected Polish soils by Wawer *et al.* (2005). Lang *et al.* (1984), Centeri (2002), Centeri and Császár (2005) and Kertész *et al.* (1997) measured soil erodibility under artificial rainfall. Stein *et al.* (1997) examined erodibility of reclaimed surface mined areas. Loch *et al.* (1998) had soil erodibility measurements on Australian soils. In Hungary, calibrations are made for calculating K factor based on measurements

under natural rainfall (Kertész *et al.*, 1997). However Kertész *et al.* (1997) have not published results in Hungarian and soil types were not classified in the Hungarian Soil Classification System.

Soil erosion was examined with rainfall simulation from various aspects. Lang *et al.* (1984), Harmon *et al.* (1978), Lattanzi (1973) and Kerényi (1981) examined splash erosion under artificial rainfall on small erosion plots. Inter rill erosion required wider and longer plots (Neal 1938, Zingg 1940 and Lattanzi 1973). Van Liew and Saxton (1983), Meyer and Harmon (1989) and Quansah (1985) had researches on rill erosion. Rainfall simulators were used to describe larger areas Gilley *et al.* (1977), Hahn *et al.* (1985), Hart (1984), Mitchell *et al.* (1983) and Kertész *et al.* (1997). Finally rainfall simulators were under investigations (Auerswald and Eicher, 1992; Auerswald *et al.*, 1992a; Auerswald *et al.*, 1992a).

Simonides (2005) modified the gradient and slope length factor in order to compare the modified version of the USLE with the original model. Slope length and gradient is the most investigated area because it is the core of the digital version of the model. Water erosion is greatly affected by these two factors, thus make the calculation of the LS factor more appropriate highly increase the correctness of the model (Warren *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2005).

USLE C-factors (cover-management) for 40 crop rotation systems was investigated on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium (Gabriels *et al.*, 2003).

The major weakness of the USLE model is that it is unable to measure sedimentation. The sediment delivery ratio (SDR) is the usual tool to calculate the amount of the sediment (Krasa *et al.*, 2005).

The USLE was used for various purposes around the world. Hailelassie *et al.* (2005) used the model for the assessment of nutrient depletion and its spatial variability on smallholders' mixed farming systems in Ethiopia using partial versus full nutrient balances. Moehansyah *et al.* (2004) used three soil erosion models for Riam Kanan catchment in South Kalimantan province of Indonesia. While ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation) was evaluated for its accuracy to predict both runoff and soil loss, USLE and AUSLE (Adapted USLE) were evaluated for soil loss only. Auerswald *et al.* (2003) examined soil erosion potential of organic versus conventional farming by USLE in Bavaria. They predicted an average 15% less erosion on arable land for organic agriculture than for conventional agriculture. Sparovek *et al.* (2000) compared three water erosion prediction methods (Cs-137, WEPP, USLE) in south-east Brazilian sugarcane production. USLE predicted the highest erosion values and spread out over the widest range.

Soil loss tolerance must be mentioned in order to set the categories on the soil loss map. In agricultural production permissible soil loss means that agricultural activity gives chance for soil formation and does not reduce soil fertility (Holý, 1982). Hall *et al.* (1985) concluded, "An upper limit (to allowable soil loss) of 11 t/ha/year is generally accepted since it approximates the maximum rate of A horizon development under optimum condition". Larson (1981) proposed a two-level approach to setting T values: a T1 value reflecting on site soil productivity maintenance objectives, T2 value reflecting broader social purposes and off-site concerns, such as water pollution and reservoir sedimentation. The T1 values would be set by scientific experts in soils and agriculture, T2 values would be set by economists, environmental scientists and planners, and public policymakers. This way T2 temporarily might be set higher than T1.

The aim of this study is to show the soil loss map prepared by the USLE for the Sárvíz Small Region Association. USLE was the only possible solution to prepare this map because we had all the input data for this model only. The Sárvíz Small Region Association asked our research group to prepare a complex study of the area, including the planning of greenways. This project is a part of the complex study. On the field of erosion there is a strong



cooperation between Greece and Hungary.

## 2. Data and methodology

### 2.1. Sárvíz Valley is approximately 100km long, situated SW from capital of Hungary (Budapest).

The total examined area of the valley is 60561.85ha. The valley is situated 89-161m a.s.l. The lower floodplains are 1km wide, followed by a second terrace of the river, 6-12m above the recent plain. The parent materials of the soils are mainly from the Pleistocene (dominantly loess, loessy sand). The soil cover is very mosaic, the larger spots belong to Chernozems, but there are water and salt affected soils, too. The examined Small Region Association involved ten settlements (**Aba, Tác, Csósz, Soponya, Sárkeresztúr, Kisláng, Sárszentágota, Kálóz, Sárbogárd, Sáregres**).

### 2.2. Methodology – Soil loss calculation with the USLE model

The USLE is the most comprehensive technique available for estimating erosion on cropland but it is performing well under forests and meadows, too. It involves six major factors that affect upland soil erosion in terms of water: rainfall erosivity, soil erodibility, slope length, slope steepness, crop management techniques and surface cover (on close to natural areas), and conservation techniques. The USLE was created by Wischmeier and Smith (1978) to provide a convenient working tool for conservationists and it is used by scientists, students, farmers and decision makers. The well known equation is the following:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A =	Soil loss [t·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup> ],
R =	Rainfall erosivity factor [MJ mm ha <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup> ],
K =	Soil erodibility factor [t·ha·h·ha <sup>-1</sup> ·MJ <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ],
L =	Slope length factor [dimensionless],
S =	Slope steepness factor [dimensionless],
C =	Crop management and surface cover factor [dimensionless],
P =	Conservation techniques [dimensionless].

Procedure for using the USLE

1. Determine an average R factor for the area, setting the return possibility of the average yearly rainfall amounts.
2. Determine the K factors (based on nomograms of Wischmeier and Smith (1978), on equation based on soil characteristics and on measurements under artificial rain).
3. Calculate the LS values based on the Digital Elevation Model.
4. Choose the crop type factor for the crop to be grown.
5. Select the P factor based on the tillage practice to be used.
6. **Multiply the 5 factors together to obtain the soil loss in (t·ha<sup>-1</sup>·y<sup>-1</sup>).**
7. Erosion modeling was done by the ERDAS Arc/Info and Arc/View programs.

## 3. Results

### 3.1. Description of the settlements

Based on the renewed genetic soil map of the area, prepared by our research team, a more appropriate soil erodibility map was used for the soil loss map at the scale of 1:10000 (Figure 1.).

It was important for the Sárvíz Small Region Association to have a description for each settlement separately, so we described the erosion map by cutting out the areas settlement by settlement (Table 1).

*Table 1. Soil erosion threat of the settlements in the Sárvíz Micro Region, Hungary*

Settlements	Dustribution of the different erosion categories (%)		
	0-2 t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>	2-11 t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>	11 < t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>
<b>Aba</b>	86.9	11.9	1.2
<b>Tác</b>	92.9	7.1	0.0
<b>Csósz</b>	89.8	9.9	0.3
<b>Soponya</b>	88.4	11.6	0.0
<b>Sárkeresztúr</b>	91.1	8.7	0.3
<b>Kisláng</b>	96.1	3.9	0.0
<b>Sárszentágota</b>	96.0	3.8	0.1
<b>Kálóz</b>	87.6	12.3	0.1
<b>Sárbogárd</b>	84.2	15.0	0.9
<b>Sáregres</b>	79.4	18.5	2.1
<b>Average:</b>	89.2	10.3	0.5

With the help of the GIS, we were able to produce statistical tables based on erosion modeling (Table 1). **Table 1. shows data for the 10 settlements in the Sárvíz Small Region Association, for the three preset categories.**

**Most of the settlements' area belongs to the lowest erosion category (0.2 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>).** The range of this area coverage is 79.4–96.1%, standard deviation (SD) value is 4.9.

The medium erosion category (2-11 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) has similar standard deviation (SD = 4.4) since values of percentage ranges from 3.8 to 18.5. Six out of 10 settlements has 9.9% or more areas with medium erosion category. This is the erosion rate where soil protection measures are usually not enforced but erosion is higher than soil formation, so we can count on continuous soil depletion. This medium erosion category might be more important for the farmers and decision makers than higher values since it is not connected to any obligatory measures against erosion!

The severe erosion category (11 < t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) cover only a small – an average 0,5% – proportion of the areas and it has a much lower, SD = 0,66. It means about 300 hectares inside the examined area and it can cause serious off-site effects locally, because 11 < t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> totals 3300 tons of sediments concentrated on a relatively small area. This huge amount of soil loss must be handled by local authorities.

It was important to calculate erosion by settlements. We prepared the statistics for each settlements and for each erosion categories. Figure 1. shows the order of the severe erosion category of the settlements. Figure 1. calls attention of the mayors of the settlements on the importance of soil loss.

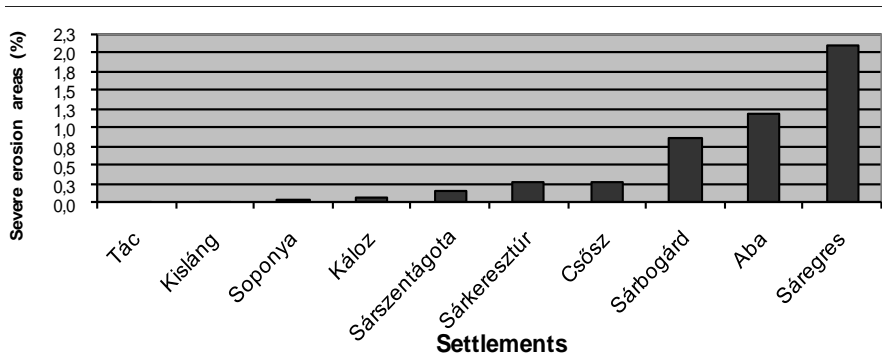


Figure 1. Order of the settlements and the proportion of severe erosion on their area, Sárköz Valley Micro Region Association, Hungary

### 3.1. Erosion threat scenarios with various C factors on arable land

There is no digital system that should follow the changes of crops on arable lands. The only solution to solve this problem is to prepare scenarios or to choose a farmer who is ready to provide us information for a certain territory. We should have needed information for the whole investigation area so we could only work with the scenarios. Table 2. shows the results of soil loss in percentage for the three erosion categories. The basis for this calculation is the erosion map (Figure 2.).

Table 2. Erosion threat under different plant covers in the Sárköz Micro Region Association

Soil loss t/ha/y	C factor			
	C=0,1	C=0,2	C=0,5	C=0,6
	(in the percentage of the total area)			
0-2	99,04	95,47	87,87	84,09
2-11	0,96	4,40	11,34	14,78
11-	0,00	0,13	0,79	1,13

As we can see from Table 2., it is not necessary to plant trees on the arable lands, it is enough to choose the crops for the crop rotation carefully to reach 0.1 value for the C factor!

The overall geography of the examined area can be seen in Figure 1. We can see that the valley, characterized by lowlands is situated in the direction of North-East to the South-West and these areas belong to the lowest soil loss category. Low erosion plains are followed by higher erosion hillsides on both sides of the valley.

Figure 2. outline areas with the various erosion categories. The map can be used to produce different scenarios for farmers not only by changing the C factor but with changing R factor and thus forecast the effects of climatic changes. If we remove the C factor from

the input parameters we get the soil erosion threat of the area.

#### 4. Conclusions

Soil loss prediction is an increasingly developing scientific area. There are tens of models available for various purposes. In the present work USLE was the only available model for this huge area in order to calculate erosion rates for local authorities, as it was expected.

The soil loss map provides important information for farmers and decision makers. Figure 2. is a perfect tool to find areas where special attention is needed so this method provides economically viable way of land protection. If there is no protection measures taken, local population has to cope with hundreds of tons of sediment yearly (!) that could even cause more, unexpected problem besides piling up sediment in street dykes.

We offer the erosion map for further investigation of nature conservation, environmental protection and for the planning and construction of greenways and other ecological corridors.

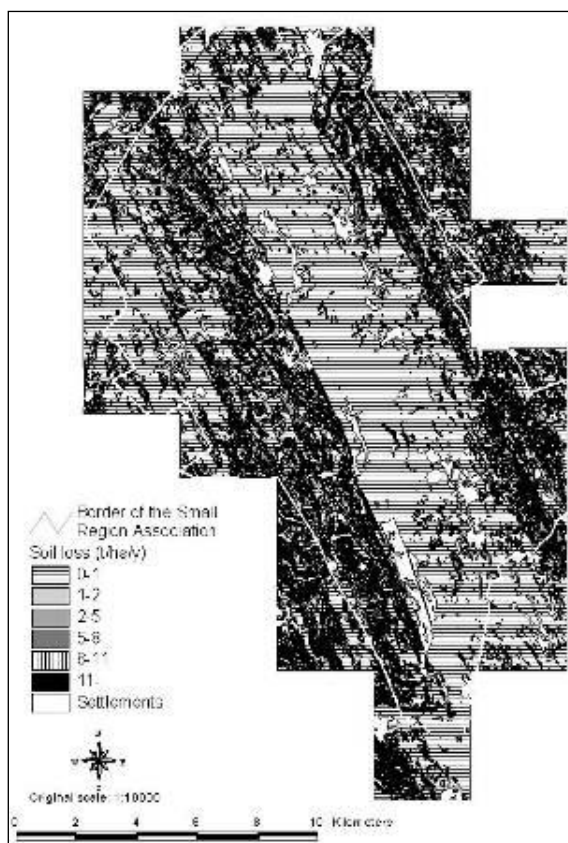


Figure 2. Erosion map of the Sárvíz Valley Micro Region Association, Hungary

#### References

Agnese, C. Bagarello, V., Corrao, C., D'Agostino, L., F. D'Asaro, 2006: Influence of the rainfall measurement interval on the erosivity determinations in the Mediterranean area.

Journal of Hydrology 329(1-2): 39-48.

Auerswald, K., A. Eicher, 1992: Comparison of German and Swiss rainfall simulators - Accuracy of measurement and effect of rainfall sequence on runoff and soil loss rates. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 155: 191-195.

**Auerswald, K., Kainz, M., Schröder, D., W. Martin, 1992a: Comparison of German and Swiss rainfall simulators - Experimental setup. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 155: 1-5.**

Auerswald, K., Kainz, M., Wolfgarten, H. J., J. Botschek, 1992b: Comparison of German and Swiss rainfall simulators - **Influence of plot dimensions. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 155: 493-497.**

Auerswald, K., Kainz, M., P. Fiener, 2003: Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. *Soil Use And Management* 19(4): 305-311.

Baturst, J. C., Kilsby, C. and White, S.: 1996, Modeling the impacts of climate and land-use change on basin hydrology and soil erosion in Mediterranean Europe. In: Brandt, J. and Thornes, J. B., editors, *Mediterranean desertification*, Chichester: Wiley, 354-87.

Centeri, C., 2002: Measuring soil erodibility on the field and its effects on soil protecting crop rotation (in Hungarian with English abstract). *Novenytermeles.* 51(2): 211-222.

Centeri, Cs., A. Császár, 2005: **A felszínborítás, a lejtőszakasz és a foszfor kapcsolata.** (In Hungarian with English abstract: The effects of surface cover on phosphorous distribution over the slope.) *Tájökológiai Lapok* (Hungarian Journal of Landscape Ecology), 3(1): 119-131.

Fistikoglu, O., N.B. Harmancioglu, 2002: Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. *Water Resources Management* 16(6): 447-467.

Elwell H. A.: 1978, Modeling soil losses in Southern Africa. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23: 117-27.

Evelpidou, N., 2006: Usung Fuzzy logic to map soil erosion. A case study from the Island of Paros. *Tájökológiai Lapok* (Hungarian Journal of Landscape Ecology), 4(1): 103-113.

Gabriels, D., Ghekiere, G., Schiettecatte, W., I. Rottiers, 2003: Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. *Soil & Tillage Research* 74(1): 47-53.

Gilley, J.E., Gee, G.W., Bauer, A., Willis, W.O., R.A. Young, 1977: Runoff and erosion characteristics of surface-mined sites in Western North Dakota. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 20: 697-700, 704.

Giordano, A.: 1986: A first approximation of soil erosion risk assessment in the southern countries of the European Community. In Morgan, R. P. C. and Rickson, R. J., editors, *Erosion assessment and modelling*. Commission of the European Communities Report EUR 10860, 3-24.

Gournelos, Th., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A. (2004): Developing an Erosion risk map using soft computing methods (case study at Sifnos island), *Natural Hazards*, Vol.31, No 1, January 2004. Kluwer Academic Publishers, p.p.39-61.

Haileslassie, A., Priess, J., Veldkamp, E., Teketay, D., J.P. Lesschen, 2005: Assessment of soil nutrient depletion and its spatial variability on smallholders' mixed farming systems in Ethiopia using partial versus full nutrient balances. *Agriculture Ecosystems & Environment*

108(1): 1-16.

Hahn, D.T., Moldenhauer, W.C., C.B. Roth, 1985: Slope gradient effect on erosion of reclaimed soils. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 20: 805-808.

Hall, G.F., Logan, T.J., K.K. Young, 1985: Criteria for determining tolerable erosion rates. In: Follett, R.F., B.A. Stewart (eds), *Soil Erosion and Crop Productivity*. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin

Hacisalihoglu, S., 2007: Determination of soil erosion in a steep hill slope with different land-use types: A case study in Mertesdorf (Ruwertal/Germany). *Journal of Environmental Biology* 28(2): 433-438. Suppl.

Harmon, W.C., L.D Meyer, 1978: Cover, slope and rain intensity affect interrill erosion. In: *Proceedings Mississippi Water Resources Conference*. Mississippi State University.

Hart, G.E., 1984: Erosion from simulated rainfall on mountain rangeland in Utah. *Journal of Soil and Water Conservation* 39(5): 330-334.

Holý, M., 1982: *Erosion and environment*. Oxford, Frankfurt: Pergamon Press 1982

Hussein, M.H., Kariem, T.H., A.K. Othman, 2007: Predicting soil erodibility in northern Iraq using natural runoff plot data. *Soil & Tillage Research* 94(1): 220-228.

Jain, S.K., Kumar, S., J. Varghese, 2001: Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management* 15(1): 41-54.

Kerényi, A., 1981: A csepperózió törvényszerűségeinek kvantitatív vizsgálata kísérleti körülmények között (Examining quantitative laws of splash erosion in experiments). *Földrajzi Értesítő* (Geographical Communications) 30(2-3): 205-233.

Kertész, Á., Richter, G., Schmidt, R.G., Braunschweig, W., Huszár, T., Lóczy, D., Schäfer, A., Márkus, B., Varga, G., B. Henzler, 1997: The Balaton Project, *ESSC Newsletter* 2-3: 1-36.

Kim, J.B., Saunders, P., J.T. Finn, 2005: Rapid assessment of soil erosion in the Rio Lempa Basin, Central America, using the universal soil loss equation and geographic information systems. *Environmental Management* 36(6): 872-885.

Kirkby, M.J.: 1995, Modeling the links between vegetation and landforms, *Geomorphology*, 13, p.p. 319-335.

Knisel W. G.: 1980, CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. *USDA Conservation Research Report* 26.

Krasa, J., Dostal, T., Van Rompaey, A., Vaska, J., K. Vrana, 2005: Reservoirs' siltation measurements and sediment transport assessment in the Czech Republic, the Vrchlice catchment study. *Catena* 64(2-3): 348-362.

Lang, K., Prunty, L., Schroeder, S., L. Disrud, 1984: Interrill erosion as an index of mined land soil erodibility. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 27: 99-104, 109.

Larson, W. E., 1981: Protecting the soil resource base. *Journal of Soil and Water Conservation* 36(1): 13-16.

Lattanzi, A., 1973: Influence of straw-mulch rate and slope steepness on interrill detachment and transport of soil. M. S. Thesis, Purdue University

van Liew, M.W., K.E. Saxton, 1983: Slope steepness and incorporated residue effects on rill erosion. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 26: 1738-1743.

Meyer, L.D., W.C. Harmon, 1989: How row-sideslope length and steepness effect sideslope erosion. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 28: 448-453.

Mitchell, J.K., Moldenhauer, W.C., D.D. Gustavson, 1983: Erodibility of Selected Reclaimed Surface Mined Soils. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 26: 1413-1417, 1421.

Moehansyah, H., Maheshwari, B.L., J. Armstrong, 2004: Field evaluation of selected soil erosion models for catchment management in Indonesia. *Biosystems Engineering* 88(4): 491-506.

Morgan R. P. C., Morgan D. D. V. and Finney H. J.: 1984, A predictive model for the assessment of soil erosion risk. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30: 245-53.

Neal, J.A., 1938: The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. *Missouri Agricultural Experiment Station. Res. Bull.* 280.

Nearing M. A., Foster G. R., Lane, L. J. and Finker S. C.: 1989, A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32: 1587-93.

Onyando, J.O., Kisoyan, P., M.C. Chemelil, 2005: Estimation of potential soil erosion for River Perkerra catchment in Kenya. *Water Resources Management* 19(2): 133-143.

Quansah, C., 1985: Rate of soil detachment by overland flow, with and without rain, and its relationship with discharge slope steepness, and soil type. In: El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C., A. Low, A. (eds) 1985: *Soil erosion and conservation*. Soil Cons. Soc. Am., Ank. Iowa: 406-423.

Rodriguez. A.R, Arbelo, C.D., Guerra, J.A., Mora, J.L., Notario, J.S., C.M. Armas, 2006: Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena* 66(3): 228-235.

da Silva A.M., 2004: Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57(3): 251-259.

Simonides, I., 2005: Topographic factor influence on erosive threaten area. *Ekologia-Bratislava* 24(4): 430-437.

Sparovek, G., Bacchi, O.O.S., Schnug, E., Ranieri, S.B.L., I.C. de Maria, 2000: Comparison of three water erosion prediction methods (Cs-137, WEPP, USLE) in south-east Brazilian sugarcane production. *Tropenlandwirt* 101(2): 107-118.

Stein, O.R., D.D. Nett, 1997: Impinging Jet Calibration of Excess Shear Sediment Detachment Parameters. *Trans. American Society of Agricultural Engineers* 40(6): 1573.1580.

Stone, R.P., D. Hilborn, 2000: Universal Soil Loss Equation (USLE). Factsheet, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, Canada

Tattari, S., Barlund, I., Rekolainen, S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H.R., M. Yli-Halla, 2001: Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of the ASAE* 44(2): 297-307.

Thornes, J.B., Shao, J.X., Diaz, E., Roldan, A., McMahon, M., Hawkes, J.C.: 1996, Testing the MEDALUS hillslope model, *Catena* 26, p.p. 137-160.

Warren, S.D., Mitasova, H., Hohmann, M.G., Landsberger, S., Iskander, F.Y., Ruzycski, T.S., G.M. Senseman, 2005: Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. *Catena* 64(2-3): 281-296.

Wawer, R., Nowocien, E., B. Podolski, 2005: Real and calculated K-USLE erodibility factor for selected Polish soils. *Polish Journal of Environmental Studies* 14(5): 655-658.

Wilkes, G., M. Sawada, 2005: Geostatistically derived Great Lakes USLE monthly rainfall erosivity factors. *Journal of Great Lakes Research* 31(2): 155-165.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1978: Predicting rainfall erosion losses. *USDA Agriculture Handbook* 537, 58 p.

Wu, S., Li, J., G. Huang, 2005: An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models. *Environmental Modeling & Assessment* 10(1): 33-42.

Zingg, A.W., 1940: Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering* 21: 59-64.



## ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΟΛΟΚΑΙΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Καρκάνας Α., Κοντόπουλος Ν.

*Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Ιζηματολογίας.*

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή της εξέλιξης της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού σε συγκεκριμένες θέσεις, στη διάρκεια του Ολοκαίνου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά, αρχαιολογικά, ιζηματολογικά και γεωφυσικά δεδομένα.

Οι μετακινήσεις του ποταμού εξαρτώνται από τον ανταγωνισμό της προέλασης των αλλουβιακών ριπιδίων των υπολεκάνων της υδρογεωλογικής λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού, από τη σχέση του ρυθμού βύθισης προς το ρυθμό ιζηματογένεσης καθώς και από την τάση μαιανδρισμού του ρεύματος σε διάφορες θέσεις.

Η περιοχή της λεκάνης του Κηφισού ποταμού κατοικείται αδιάκοπα από τη ύστερη Παλαιολιθική Περίοδο. Η μετανάστευση του ποταμού καθόριζε εν πολλοίς και τις θέσεις ανθρώπινης κατοίκησης και δραστη-ριότητας, που έλαβαν χώρα στην περιοχή.

Ίχνη ανθρώπινης κατοίκησης εντοπίστηκαν στην επιφάνεια του αλλουβιακού ριπιδίου της Δρυμαίας, στην περιοχή του Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιλαίας και βόρεια της ενεργής κοίτης, στην περιοχή Παλαιοθηβών, όπου πιθανολογείται και η ύπαρξη αρχαιολογικού οικισμού και στην πεδιάδα Θουρίου-Προσηγίου, όπου βρέθηκαν δείγματα ανθρώπινης κατοίκησης από το έτος 1950 π.Χ.

Στις περιοχές του Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιλαίας και Παλαιοθηβών ο ποταμός μετακινήθηκε κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου προς Νότο, ενώ αντίθετα στην πεδιάδα της Χαιρώνειας ο ποταμός μετατοπίστηκε προς Βορρά με ταχύτητα μετατόπισης 60,46mm το χρόνο.

### **STREAM BED EVOLUTION OF BOEOTIAN KIPHISOS RIVER DURING THE LATE HOLOCENE AND HUMAN INHABITATION**

Karkanas A., Kontopoulos N.

*University of Patras, Department of Geology, Laboratory of Sedimentology.*

### Abstract

The aim of this study is to present the riverbed movements of Boeotian Kiphisos River during the Holocene, at specific sections. For this aim historical, archaeological, sedimentological and geophysical data were utilized.

The riverbed movements are determined from the antagonism of the Parnassus and Kallidromon alluvial fans which evolve in the middle of fluvial valley or from the rate of subsidence in relation to the rate of sedimentation as well as of the meandering tendency at specific locations.

The area of the Boeotian Kiphisos basin and the Kopais Lake has been inhabited since the upper Palaeolithic Epoch. The riverbed movements determined the locations of human habitation and activity.

The human habitation was confirmed on the surface of alluvial fan of Drimaia, in the area of Lilaia station in a section northwards of the active riverbed. This suggestion is supported by many findings of anthropogenetic origin from old cultures in Palaeothiva area, which indicate the possible existence of an ancient built-up area in this position and archaeological findings in the area of Thurion-Prosilion valley that prove human habitation since 1950 BC.

In the Lilaia and Palaeothiva area the Boeotian Kiphisos River has moved southward during the upper Holocene. In contrast the River shifted in the area of Chaironia valley from South to North at a rate of 60,46mm per year.

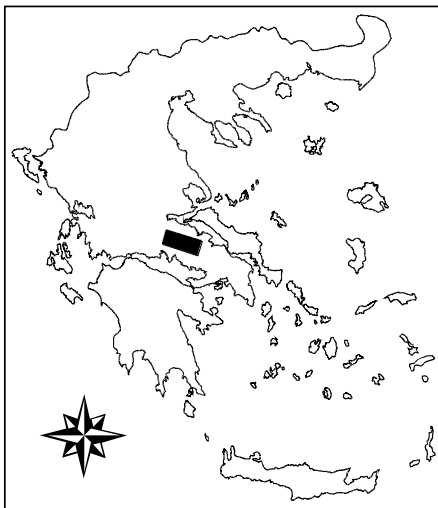
**Λέξεις κλειδιά:** Βοιωτικός Κηφισός ποταμός, εξέλιξη κοίτης, μετακίνηση ποταμού, ανθρώπινη κατοίκηση.

**Key words:** Boeotian Kiphisos river, stream bed evolution, riverbed movement, human inhabitation.

## 1. Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η καταγραφή των αλλαγών της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού από την αρχαιότητα έως τη σύγχρονη εποχή (1945). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα από ιστορικά κείμενα, γεωφυσικά και γεωαρχειολογικά δεδομένα και ευρήματα, που εντοπίστηκαν σε θέσεις της ομώνυμης υδρογεωλογικής λεκάνης.

## 2. Περιοχή έρευνας



Σχήμα 1. Χάρτης προσδιορισμού της περιοχής έρευνας.

Ο Βοιωτικός Κηφισός ποταμός είναι ο κύριος ρευματικός κλάδος της ομώνυμης υδρογεωλογικής λεκάνης, που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (Σχ. 1) και ανήκει διοικητικά στους νομούς Βοιωτίας, Φωκίδας και Φθιώτιδας.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του άνω ρου του ποταμού, το μέσο ρου και το δυτικό τμήμα του κάτω ρου και συγκεκριμένα το τμήμα της κοίτης μεταξύ του Σ. Σ. Λιλαίας και του φράγματος αναρρύθμισης υδάτων της περιοχής Ορχομενού. Οροθετείται δυτικά από τα όρη Γκιώνα και Οίτη, νοτιοδυτικά από τα όρη Παρνασσό και Ελικώνα, νοτιοανατολικά από το όρος Θούριο, βόρεια και βορειοανατολικά από το Καλλίδρομο όρος και ανατολικά από τα όρη Χλωμό, Υφάντειο και Ακόντιο.

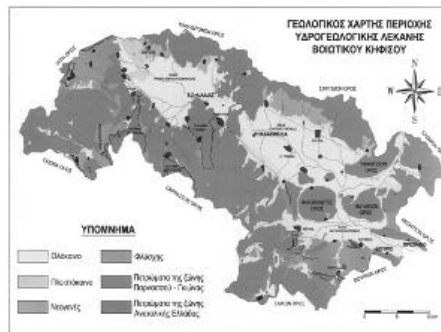
Η συνολική έκταση, που περικλείεται από την υδροκριτική γραμμή της περιοχής μελέτης είναι περίπου 1.158km<sup>2</sup> (Καρκάνας, 2006).

## 3. Γεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής

Ο Βοιωτικός Κηφισός ποταμός διαρρέει τις τριτογενείς και τεταρτο-γενείς αποθέσεις της λεκάνης, οι οποίες υπέρκεινται σχηματισμών των γεωτεκτονικών ζωνών Παρνασσού-Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας (Σχ. 2). Οι αποθέσεις αυτές περιλαμβάνουν ποτάμιες και χειμαρρώδεις αποθέσεις, αλλουβιακές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, αλλουβιακούς κώνους και ριπίδια και προϊόντα διάλυσης ασβεστόλιθων. Συνίστανται από αργίλους, πηλούς,

άμμους, κροκάλες, ψαμμίτες και κροκαλο-παγή.

Οι αλπικές ορογενετικές κινήσεις προκάλεσαν στην περιοχή πτυχώσεις και εφραπτομενικές κινήσεις, στις οποίες οφείλεται η ύπαρξη επωθη-μένων ασβεστολιθικών μαζών της ζώνης Ανατολικής Ελλάδας πάνω στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Οι τριτο- τεταρτογενείς ηπειρωτικές κινήσεις προκάλεσαν τη διάρρηξη των στρωμάτων και την κατακόρυφη μετακίνηση μεγάλων τμημάτων της περιοχής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών τάφρων και κεράτων. Το βύθισμα του Βοιωτικού Κηφισού οφείλεται σε ένα σύστημα ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης το οποίο σε συνδυασμό με ένα άλλο σύστημα ρηγμάτων ΝΔ-ΒΑ διεύθυνσης, υπέστη τεμαχισμό σε μικρότερα τεκτονικά τεμάχια που χαρακτηρίζουν τη σημερινή δομή της περιοχής και αντιστοιχούν στις λεκάνες του άνω, μέσου και κάτω ρου του ποταμού.



Σχήμα 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

#### 4. Εξέλιξη της κοίτης του ποταμίου ρεύματος βάσει ιστορικών στοιχείων



Εικόνα 1. *Union Pictorum*

Η περιοχή της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού και της λίμνης Κωπαΐδας κατοικείται αδιάκοπα τουλάχιστον από την ύστερη παλαιολιθική περίοδο. Στην κατοίκησή της συνέβαλλε η γεωπολιτική της θέση, μιας και ήταν το μοναδικό πέρασμα από το Βορρά προς το Νότο, η μορφολογία της και η ύπαρξη φυσικών καταλυμάτων, κυρίως βραχοσκεπών και σπηλαιών σε χαμηλά υψόμετρα με ήπιο κλίμα, η ύπαρξη ρεόντων και λιμναίων υδάτων και η δυνατότητα κυνηγίου και συλλογής τροφής. Χαρακτηριστικό είναι το σπάνιο πλέον κογχύλι *Union Pictorum*, του κάτω ρου του Βοιωτικού Κηφισού που αποτέλεσε για χιλιάδες χρόνια σπουδαίο είδος διατροφής των κατοίκων της περιοχής αυτής (Εικ. 1).

Δείγματα κατοίκησης, που ανακαλύφθηκαν σε βραχοσκεπές των παρυφών του Κωπαϊδικού πεδίου, τοποθετούνται χρονικά στην ανώτερη φάση της νεότερης παλαιολιθικής περιόδου (20.000 π.Χ.-10.300 π.Χ.) και ανήκουν από πολιτισμικής πλευράς στην Ωρινάκια πολιτισμική φάση (Stamphuss 1942,

Smidt 1965). Το κλίμα της εποχής αυτής ήταν ξηρό και ψυχρό, η στάθμη της λίμνης χαμηλή και η βλάστηση στε-πώδης και αραιή (Σαμσών και Ιωακείμ, 2000).

Στη Μεσολιθική περίοδο, μεταξύ 9.000 π.Χ. και 6.000 π.Χ., η στέπα μετατράπηκε σε δάσος οξυάς (Bintliff, 1977) και το κλίμα έγινε θερμότερο και υγρό (Σαμσών και Ιωακείμ, 2000).

Στη διάρκεια της 5<sup>ης</sup> π.Χ. χιλιετίας ανακαλύφθηκαν ευρήματα της μέσης Νεολιθικής εποχής στην Τούμπα Μπαλωμένου της περιοχής Χαιρώνειας, κοντά στην σημερινή όχθη του Κηφισού (Sotiriadis, 1905 και Τζαβέλα-Evjén, 1988). Περίπου στο δεύτερο μισό της 5<sup>ης</sup> π.Χ. χιλιετίας, διαπιστώνεται η ύπαρξη δρυός και πεύκης, καθώς και αύξηση του πληθυσμού των ποτών φυτών (Σαμσών και Ιωακείμ, 2000).

Από το 4.400-4.000 π.Χ., η προσπάθεια επέκτασης της κτηνο-τροφίας από τον άνθρωπο οδήγησε σε αποψίλωση των δασών και δραστική μείωση των δρυών.

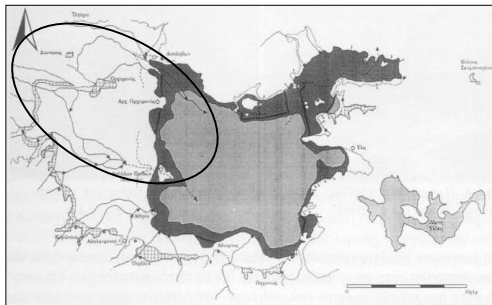
Κατά τη διάρκεια της 4ης π.Χ. χιλιετίας, που συμπίπτει με την εποχή του χαλκού, η λίμνη έχει ρηχέσει αρκετά, αλλά εξακολουθεί να προμηθεύει με οστρεοειδή και αλιεύματα τους κατοίκους (Σαμσών και Ιωακείμ, 2000). Την εποχή αυτή συνεχίζονταν η κατοίκηση και στην περιοχή Χαιρώνειας, όπως αποδείχτηκε από ευρήματα στην Τούμπα Μπαλωμένου (Τζαβέλα-Evjén, 1988 και Sotiriadis, 1905).

Στην εποχή της μέσης χαλκοκρατίας, όταν οι Μινύες αποξήραναν τη λίμνη, επικράτησαν είδη που απαιτούν περισσότερο υγρές συνθήκες, όπως *Typha*, *Sparganium* και *Cyperaceae* (Σαμσών και Ιωακείμ, 2000). Ευρήματα κατοίκησης της εποχής αυτής βρέθηκαν και στη Χαιρώνεια (Τζαβέλα-Evjén, 1992 και Sotiriadis, 1905), αλλά και στην Ελάτεια, όπου υπήρχε μυκηναϊκός οικισμός (Παπαχατζής, 1992). Την εποχή αυτή ο Βοιωτικός Κηφισός, σύμφωνα με χαρτογραφίες που επεξεύρησαν οι Knauss et al. (1984), Heinrich (1988) και Knauss (1995), προκειμένου να αναπαραστήσουν την κατάσταση κατά τη διάρκεια των μυκηναϊκών χρόνων (Σχ. 3), μετά από τη διέλευσή του από την πεδιάδα της Χαιρώνειας έφτανε στη λίμνη μέσω κλάδων, που είτε εξέβαλλαν απ' ευθείας στη λίμνη μέσω Ορχομενού στα βορειοανατολικά και πιθανώς της Ελευσίνας στα ανατολικά, είτε διαιρούνταν και επανενώνονταν ή ενώνονταν με άλλους ποταμούς (Έρκυνα) πριν καταλήξουν μέσω μάλλον του προϊστορικού οικισμού της Αθήνας στη λίμνη. Ίχνη ύπαρξης ενός παλαιού κλάδου του Βοιωτικού Κηφισού, που δείχνει τη διαίρεση της ροής του στην περιοχή αυτή, διακρίνονται σήμερα στην περιοχή Καμίνια Ρωμείου (Εικ.2). Από τη θέση αυτή διήλθε ο Βοιωτικός Κηφισός ή κάποιος κλάδος του με νοτιοδυτική κατεύθυνση (Καρκάνας, 2006).

Στην Τούμπα Μπαλωμένου και στη βόρεια ευρισκόμενη σημερινή κοίτη του Βοιωτικού Κηφισού, ευρήματα αποδεικνύουν, ότι η περιοχή κατοικήθηκε και στη Μεσοελλαδική εποχή αλλά και αργότερα σε εποχές που αντιστοιχούν στην αρχαιότατη Χαιρώνεια I, στη Χαιρώνεια II, και III (Τζαβέλα-Evjén, 1988). Ανατολικά της περιοχής αυτής και μέχρι την περιοχή του οικισμού Ακόντιο βρέθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών διευθέτησης της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού δίπλα και μέσα στην κοίτη, συστάδες νεκροταφείων που προέρχονται από τα ύστερο-γεωμετρικά - αρχαϊκά και κλασσικά χρόνια (Ανδρικού, 1998). Οι διαπιστώσεις αυτές αποδεικνύουν, ότι ο ποταμός κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων ήταν στη θέση αυτή περισσότερο απομακρυσμένος από τις νότιες υπώρειες του όρους Ακόντιο, προς τη Χαιρώνεια. Ευρήματα που εντοπίστηκαν από τον Sotiriadis (1905) σε τύμβο της περιοχής Βρανέζι, ανατολικά του οικισμού Ρωμείο, δείχνουν ότι η θέση αυτή ήταν χέρσος στη διάρκεια της ύστερης πρωτογεωμετρικής περιόδου.

Ο Κηφισός απέκτησε το όνομά του, από την εποχή των πρώτων ελληνικών πολιτισμικών φύλλων που κατοίκησαν την περιοχή και αυτό αποδεικνύεται από την έλλειψη στοιχείων, που αφορούν το γενεαλογικό του δέντρο και από την αδυναμία σύνδεσής του με προηγούμενες μυθολογικές προσωπικότητες. Πιθανώς η ονομασία του να παραπέμπει στους Πελασγούς. Ποτάμια με το ίδιο όνομα υπάρχουν στην Αττική, στη Σαλαμίνα, στη Σκύρο, στη Σικυώνα και στην Απολλωνία (Στράβων). Η ονοματοδοσία ορισμένων εξ αυτών των ποταμών πιθανώς να είναι παράλληλη με του Βοιωτικού Κηφισού. Άλλα όμως (Αττικός Κηφισός, Κηφισός Θριασίου πεδίου) έλαβαν το όνομά τους από κατοίκους της Κωπαΐδας (Αθηναίοι, Ελευσίνιοι κ. α.), που μετανάστευσαν μετά την καταστροφή των αντιπλημμυρικών έργων, εξ αιτίας μεγάλων πλημμυρών και σεισμών που προηγήθηκαν και την άνοδο της στάθμης του νερού ή τη σταδιακή βύθιση του πυθμένα της λίμνης. Ο Κηφισός αναφέρεται σαν βασιλιάς-γιος θεού, χωρίς να συνδέεται όμως η καταγωγή του με το ελληνικό Πάνθεο. Αναφέρεται από όλους

τους αρχαίους συγγραφείς και πολλοί από αυτούς περιγράφοντας τον, άφησαν χρήσιμες πληροφορίες για την πορεία ροής του.



*Σχήμα 3. Αναπαράσταση της έκτασης της λίμνης κατά τους μυκηναϊκούς χρόνους στην οποία φαίνονται εκτός από τα αντιπλημμυρικά αναχώματα, οι κλάδοι του κάτω ρου του Βοιωτικού Κηφισού (έλλειψη) και ο τρόπος που εκβάλλουν στη λίμνη (Knauss et al., 1984).*



*Εικόνα 2. Ίχνη παλαιού κλάδου του Βοιωτικού Κηφισού νοτιοανατολικής κατεύθυνσης, που σφείλονται σε κροκάλες και άμμο της ποτάμιας αύλακας. Στο βάθος διακρίνεται το όρος Θούριο και στον ορίζοντα το όρος Ελικών.*

Σύμφωνα με μια εκδοχή, το ανθρώπινο γένος δημιουργήθηκε από λίθους που εκτόξευαν πίσω τους ο Δευκαλίων και η Πύρρα, μετά από τον κατακλυσμό, όταν η κιβωτός τους προσάραξε στον Παρνασσό. Οι λίθοι προέρχονταν από τις όχθες του Κηφισού ποταμού, γεγονός που σηματοδοτεί αφ' ενός την ύπαρξη του ονόματος του Κηφισού από την εποχή του κατακλυσμού αφ' ετέρου ότι η ρίψη των λίθων πραγματοποιήθηκε πιθανώς σε περιοχή του άνω ρου του Κηφισού ή σε κάποιο από τα ασβεστολιθικά του ριπίδια. Ο πρώτος άνθρωπος, μετά τον κατακλυσμό, πίστευαν πως είναι ο Αλαλκομενέας, που γεννήθηκε από τα νερά του ποταμού. (ΗΣίοδος, Πausανίας).

Ο Ησίοδος αναφέρει, ότι ο Κηφισός ποταμός διαρρέει τη Φωκική πεδιάδα «σκολιώς και δρακοντοειδώς» και συνεχίζει την πορεία του μέσω του Πανοπέως και της οχυρωμένης Γλήχωνος προς τον Ορχομενό, ελισσόμενος ως δράκων, πιστοποιώντας έτσι την ύπαρξη μαιάνδρων τόσο στην περιοχή της λεκάνης της Ελάτειας-Τιθορέας, όσο και σε περιοχές του κάτω ρου, μέχρι την έξοδό του στη λίμνη.

Ο Όμηρος (Ιλιάδα, ραψ. Β΄) αναφέρει, ότι ο Κηφισός πηγάζει από τη Λιλαία, που δηλώνει ότι η πηγή της Λιλαίας ήταν η πιο σημαντική, σημαντικότερη από τις άλλες πηγές-κόρες του Κηφισού Κασταλία, Δαύλεια, Αμφίκλεια, Μέλαινα και Θυΐα. Την αναφορά αυτή επαναλαμβάνει και ο Στράβων στα Γεωγραφικά του (βιβλίο Θ΄, 19), περιγράφοντας επί πλέον με ακρίβεια την πορεία ροής του ποταμού προς τη λίμνη μέσω δυο τουλάχιστον κλάδων, ενός με διεύθυνση προς τα ανατολικά (Ορχομενία) και ενός προς τα βορειο-ανατολικά (Κορωνειακή).

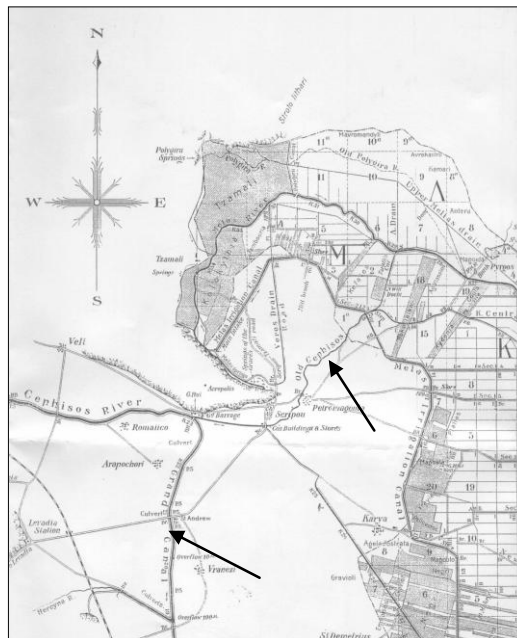
Στα αρσενικά παιδιά του Κηφισού εκτός από τον Αλαλκομενέα, που όπως αναφέρθηκε βγήκε από τα νερά του συγκαταλέγεται και ο Νάρκισσος. Ο μύθος του τελευταίου εξελίσσεται σαφώς στον κάτω ρου του ποταμού, εφ' όσον στα σκόλιά του (=μυϊάνδροι) περιέπλεξε και αποπλάνησε ο Κηφισός τη μητέρα του, νύμφη Λειριόπη. Μεταμορφώθηκε από τη Νέμεση στο γνωστό αρωματικό υδροχαρές φυτό που ευδοκίμωσε στις όχθες του Κηφισού ποταμού, από το οποίο, καθώς επίσης και από κρίνα και ρόδα της όχθης του ρεύματος παρασκευάζονταν αρωματικά έλαια και φαρμακευτικές αλοιφές (Pausanias).

Όπως προκύπτει από τα γραπτά των αρχαίων συγγραφέων, ο Κηφισός ποταμός,

τουλάχιστον μέχρι την εποχή των κατακλισμών, όδευε προς την περιοχή των Αλακομενών και του Αλιάρτου, στο νότιο μέρος του Κωπαϊδικού πεδίου. Μετά από την αποξήρανση της λίμνης που επιχείρησαν οι Μινύες, ο ποταμός εξετράπη προς βορρά, ώστε να συναντήσει τον ποταμό Μέλανα Ορχομενού και στη συνέχεια να αποστραγγιστεί μέσω μεγάλης καταβόθρας της περιοχής Ακραϊφνίας προς τον Ευβοϊκό κόλπο. Μετά από την καταστροφή της καταβόθρας (Mariolakos et al., 2001) και σταδιακά του αποστραγγιστικού αγωγού και την εξαφάνιση του πολιτισμού των Μινύων, ο ποταμός ακολούθησε την πορεία εκτροπής κατ' ευθείαν προς την αναγεννημένη λίμνη, εν μέρει δε επέστρεψε πιθανώς αργότερα στην αρχική του πορεία προς τις Αλακομενές, δημιουργώντας κατά τόπους διάφορα έλη.

Από τον 15ο μ.Χ. αιώνα πολλοί περιηγητές και χαρτογράφοι αποτύπωσαν την πορεία ροής του Κηφισού, όχι όμως με τέτοια ακρίβεια, που να δίνουν επί πλέον πληροφορίες γι αυτήν. Σύμφωνα με τους χάρτες και τα κείμενα των συγγραφέων αυτών, προκύπτει ότι μέχρι την αποξήρανση της λίμνης υπήρχε ένας μόνο κλάδος του Κηφισού, που εξέβαλλε απ' ευθείας στη λίμνη κοντά στην περιοχή του Ορχομενού και μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρών άλλος κλάδος του, τροφοδοτούσε το έλος του Αγίου Δημητρίου.

Το ενδιαφέρον για τον Κηφισό και για τον τρόπο της κάτω ροής του άρχισε ξανά, όταν άρχισαν οι σκέψεις για αποξήρανση της λίμνης στα μέσα του 19ου αιώνα και ο ποταμός θα ήταν ο βασικός αγωγός, που θα συνέβαλλε στην άρδευση των νέων εκτάσεων. Στους χάρτες, που συντάχθηκαν από τους μηχανικούς της εταιρίας Lake Korais Company, στα πλαίσια της αποξήρανσης της λίμνης κατά τη διάρκεια των ετών 1887-1931 (Μέλιος, 1996 και Γρυπάρη κ.α., 1999), διακρίνεται η παλαιά κοίτη του Βιωτικού Κηφισού, που μετά από την περιοχή Ρωμείκου κινείται προς τον Ορχομενού με διεύθυνση βορειοανατολική, ώσπου να συναντήσει τον ποταμό Μέλανα (σχ. 4).



Σχήμα 4. Απόσπασμα χάρτη διανομής κλήρου Κωπαϊδικού πεδίου, στον οποίο φαίνεται η παλαιά κοίτη του ποταμού προς την πόλη του Ορχομενού και η Μεγάλη διώρυγα που κατευθύνεται προς το Νότο. (πηγή: Οργανισμός Κωπαΐδας, αρχείο της Lake Korais Company).

## 5. Εξέλιξη της κοίτης του ποταμού βάσει ιζηματολογικών, γεωφυσικών και αρχαιολογικών δεδομένων.

### 5.1. Περιοχή Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιλαίας.

Στην περιοχή του Σιδηροδρομικού Σταθμού Λιλαίας πραγματοποιήθηκαν επτά (7) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, σε τομή κάθετη στον άξονα του ρεύματος του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού (Καρκάνας, 2006). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται από αποθέσεις αύλακας ροής, πλημμυρικών πεδίων, ιλυορών και αποθέσεων δεβρικών ροών, που προέρχονται από το βόρεια ευρισκό-μενο αλλουβιακό ριπίδιο της Δρυμαίας. Από τη σύγκριση των περιβαλλόντων απόθεσης των γεωτρήσεων της τομής αυτής, προέκυψε ότι ο Βοιωτικός Κηφισός ποταμός, στην περιοχή του Σ. Σ. Λιλαίας μετακινείται προς Νότο (Καρκάνας, 2006).

Σε γεωτρήσεις της περιοχής αυτής εντοπίστηκαν, μέσα σε στρώματα αμμώχου χαλικιού και ελαφρά χαλικούχας ιλύος, θραύσματα κεραμικών, που πιστοποιούν πιθανώς ανθρώπινη κατοίκηση.

### 5.2. Περιοχή Σιδηροδρομικού Σταθμού Παλαιοθηβών.

Στη θέση Διασταύρωση κοντά στο Σιδηροδρομικό Σταθμό Παλαιοθηβών πραγματοποιήθηκαν εννέα (9) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε τομή επίσης κάθετη στον άξονα του ρεύματος του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού (Καρκάνας, 2006). Στην περιοχή κυριαρχούν ιζήματα προερχόμενα από αποθέσεις αύλακας ροής και πλημμυρικές αποθέσεις, ενώ στα άκρα της τομής εμφανίζονται ιζήματα προερχόμενα από το αλλουβιακό ριπίδιο της Τιθορέας (νότια) και ιλυορές προερχόμενες από το αλλουβιακό ριπίδιο του Μοδίου (βόρεια).

Στην περιοχή αυτή ο ποταμός τείνει, στο ύστερο Ολόκαινο, να μεταναστεύσει προς Νότο. Η μετανάστευση αυτή πραγματοποιείται στα πλαίσια των μεταβολών των μαϊνάνδρων του ρευστού στο σημείο αυτό, εφ' όσον ο ποταμός μετατοπίζεται γενικά στην ευρύτερη περιοχή προς Βορρά εξ αιτίας της προέλασης του ριπιδίου της Τιθορέας και μεγαλύτερου ρυθμού ιζηματογένεσης από το ρυθμό βύθισης, όπως έδειξε η επεξεργασία γεωφυσικών δεδομένων και τεκτονικών στοιχείων (Καρκάνας, 2006).

Στους πυρήνες τεσσάρων (4) γεωτρήσεων της τομής αυτής και νότια της ενεργής κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού εντοπίστηκαν θραύσματα οστράκων κεραμικών, που προσδιορίζουν οριζόντα κατοίκησης παλαιότερων πολιτισμών, με ελαφρά κλίση προς Βορρά ενώ στον πυρήνα άλλης γεώτρησης βρέθηκαν θραύσματα μεταλλικών αντικειμένων από χαλκό και σίδηρο. Στο βόρειο τμήμα της τομής εντοπίστηκαν ωσαύτως κεραμικά όστρακα σε δυο γεωτρήσεις, που προσδιορίζουν επίσης οριζόντα κατοίκησης με νότια κλίση (Καρκάνας, 2006).

Η ύπαρξη ευρημάτων στις θέσεις των γεωτρήσεων οδήγησαν στη βιβλιογραφική αναζήτηση δεδομένων, που να δηλώνουν πιθανώς την ύπαρξη οικισμού στην περιοχή αυτή.

Από τις αναφορές του Πausanias στο έργο του «Ελλάδος περιηγήσεις, Βοιωτικά-Φωκικά», προκύπτει ότι τμήμα των κατοίκων της αρχαίας πόλης με το όνομα Λέδων, πατρίδα του στρατηγού Φιλομήλου, που ήταν χτισμένη στη βόρεια κατωφέρεια του Παρνασσού, μετά την ολοκληρωτική καταστροφή της κατά τη διάρκεια του τέλους του ιερού πολέμου (346 π.Χ.) εγκαταστάθηκε σε πεδινή περιοχή κοντά στον Κηφισό ποταμό. Την εποχή των περιηγήσεων του Πausanias (ρωμαιοκρατία) ο οικισμός αυτός αριθμούσε, κατά τον αρχαίο ιστορικό, περί τους 70 κατοίκους. Οι τοπογραφικές ενδείξεις, που βρίσκονται στα γραπτά του Πausanias, είναι αόριστες και ανεπαρκείς για τον προσδιορισμό της θέσης της πόλης και του οικισμού μετεγκατάστασης των Λέδωντων (Παπαδημητρίου, 1984 και Παπαχαντζής, 1992).

Ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης της Λέδοντος δεν είναι εφικτός ακόμη και μετά τις

περιγραφές των περιηγήσεων του Leake (1835), την αναφορά του Σωτηριάδη (1909) και τις βιβλιογραφικές προσπάθειες των Κρέμμου (1878) και Αραβαντινού (1893). Κατά τον Leake (1835), η αρχαία πόλη της Λέδοντος πρέπει να βρίσκεται στη θέση Παλαιοθήβα, όπου ο Ηρόδοτος τοποθετεί την πόλη των Πεδιέων. Στη θέση των Παλαιοθηβών όμως, ο Lolling (1889) τοποθετεί τον νεότερο οικισμό των Λεδοντίων, ενώ κατ' αυτόν η αρχαία Λέδων βρισκόταν στη θέση του σημερινού δημοτικού διαμερίσματος της Αγίας Μαρίνας του Δήμου Τιθορέας. Από τα παραπάνω προκύπτει η ασάφεια και η διάσταση απόψεων των συγγραφέων στο θέμα του προσδιορισμού της θέσης της νεότερης πόλης Λέδων, εφ' όσον μάλιστα λείπουν τα αρχαιολογικά ευρήματα και δεν έχει πραγματοποιηθεί συστηματική αρχαιολογική ανασκαφή. Οι νεότεροι συγγραφείς συμφωνούν πάντως στο σημείο, ότι η αρχαία πόλη Λέδων βρισκόταν με βεβαιότητα στη βόρεια πλαγιά του Παρνασσού και ότι ο προσφυγικός οικισμός των Λεδοντίων, βρισκόταν σε περιοχή της νότιας όχθης του Κηφισού ποταμού.

Η μελέτη του Παπαδημητρίου (1984), στα πλαίσια της οποίας πραγματοποιήθηκε αυτοψία σε ρηχά φρεάτια που χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα ως αποθέτες, κατέληξε στο συμπέρασμα πως στην περιοχή των Παλαιοθηβών βρισκόταν το ιερό της Ίσιδος, χωρίς όμως να έχει εντοπιστεί το άδυτο της αρχαίας θεάς. Κατά τον ίδιο συγγραφέα, μετά από τοπογραφικούς υπολογισμούς με τη χρήση συντελεστών απόκλισης των αποστάσεων βάσει άλλων γνωστών, η πόλη της αρχαίας Λέδοντος βρίσκεται κοντά το δημοτικό διαμέρισμα της Αγίας Μαρίνας, ενώ ο νεότερος προσφυγικός οικισμός, κοντά στον σημερινό οικισμό της Αγίας Παρασκευής.

Από τα βιβλιογραφικά δεδομένα, προκύπτει ότι είναι πιθανή η ύπαρξη έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας ή κατοίκησης στην περιοχή που πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις της τομής αυτής καθώς και στον ευρύτερο χώρο. Τα χαρακτηριστικά δείγματα, που εντοπίστηκαν στους πυρήνες των γεωτρήσεων, πιθανώς να είναι μάρτυρες της ανθρώπινης παρουσίας των κατοίκων των Φωκικών πόλεων στο ιερό της Ίσιδος κατά τη διάρκεια των εορτών, είτε ακόμη του νεότερου οικισμού της Λέδοντος.

Εάν η υπόθεση θεωρηθεί ορθή, τότε μπορεί να αποτολμηθεί, με βάση τα βάθη του οριζοντα κατοίκησης, ο υπολογισμός του ρυθμού ιζηματογένεσης των αποθέσεων του Βοιωτικού Κηφισού στην περιοχή αυτή. Εφ' όσον η μετανάστευση των κατοίκων πραγματοποιήθηκε από το έτος 346 π.Χ. και μετά (2.350 έτη από σήμερα) και με δεδομένα τα βάθη εντοπισμού των κεραμικών οστράκων, ο ρυθμός ιζηματογένεσης στις θέσεις των γεωτρήσεων κυμαίνεται μεταξύ 0,43mm/έτος και 1,17mm/έτος.

### 5.3. Περιοχή Χαιρώνειας.

Στην περιοχή της πεδιάδας της Χαιρώνειας και μεταξύ των οικισμών Θούριο (νότια) και Προσήλιο (βόρεια) πραγματοποιήθηκαν δεκαεννέα (19) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε τομή κάθετη στον άξονα του ρεύματος του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού (Καρκάνας, 2006). Η επεξεργασία των δεδομένων των αναλύσεων των γεωτρήσεων αυτών έδειξαν ότι ο Βοιωτικός Κηφισός στην περιοχή αυτή κινείται εντός της πεδιάδας πλημμύρας, που δημιουργήθηκε από τις αποθέσεις των υλικών, που μετέφερε ο ίδιος. Τα υλικά μεταφοράς και απόθεσης είναι γενικά λεπτόκοκκα, αποτελούνται από χαλικούχα άμμο έως πηλό και προέρχονται από πετρώματα των γεωτεκτονικών ζωνών Παρνασσού-Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας προέρχονται δε από αποθέσεις αύλακας ροής, αποθέσεις θημωνιασμένων φραγμών και ιζήματα πεδιάδας πλημμύρας.

Γενικά ο Βοιωτικός Κηφισός ποταμός μετακινήθηκε στην περιοχή αυτή κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου προς Βορρά και για μια απόσταση 520m συνολικά. Η μετακίνηση αυτή, σύμφωνα με αναγωγή βάσει του ρυθμού ιζηματογένεσης ξεκίνησε στην αρχή της 8<sup>ης</sup> π.Χ. χιλιετίας και συνεχίστηκε μέχρι το έτος 600 μ.Χ. περίπου. Ο ρυθμός μετακίνησης της κοίτης προς Βορρά ανέρχεται σε 60,14mm/έτος. Η μετακίνηση της ροής του ποταμού προς Βορρά προκύπτει και από τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας.



Κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων της κοίτης του Βοιωτικού Κηφισού, σχηματίζονταν σε διάφορες θέσεις, της πεδιάδας πλημμύρας τοπογραφικά χαμηλά, στα οποία αναπτύσσονταν μικρής έκτασης υδάτινες επιφάνειες (τέλματα ή βάλτοι), τα οποία δέχονταν υλικά από τις πλημμύρες του ποταμού και εξαφανίζονταν σταδιακά και στις οποίες αναπτύχθηκαν αποικίες οργανισμών γλυκέων υδάτων (οστρακώδη γαστερόποδα, και χαρόφυτα). Τα τέλματα φαίνεται πως δημιουργούνται περισσότερο στο βόρειο τμήμα της πεδιάδας, κοντά στο όρος Ακόντιο, όπου τα υψόμετρα είναι σχετικά μικρότερα και πιθανώς κάποιος κλάδος του Κηφισού ποταμού να έρεε διαρκώς σε αυτή τη θέση.

Ο ρυθμός ιζηματογένεσης της περιοχής Χαιρώνειας είναι 0,856mm/έτος, όπως προέκυψε από τη ραδιοχρονολόγηση απανθρακωμένου φυτικού λειψάνου. Βάσει αυτού προκύπτει ότι το κεραμικό όστρακο που βρέθηκε σε βάθος 300cm σε γεώτρηση του νότιου τμήματος της περιοχής, που δείχνει πιθανώς ανθρώπινη κατοίκηση στη θέση αυτή, αντιστοιχεί σε ηλικία 3.488 έτη δηλαδή στο έτος 1.538 π.Χ.

Κεραμικό όστρακο, που βρέθηκε σε βάθος 270cm σε γεώτρηση του βόρειου τμήματος, έχει ηλικία που προσδιορίζεται μετά από αναγωγή σε 3.140 έτη από σήμερα, δηλαδή το έτος 1.190 π.Χ. Στην ίδια περιοχή (βόρεια) βρέθηκε σε πολλές θέσεις σωρεία κεραμικών θραυσμάτων, το παλαιότερο των οποίων βρέθηκε σε βάθος 315cm και αντιστοιχεί, μετά από αναγωγή, στο έτος 1.713 π.Χ., παρόμοια ηλικία με αυτή του κεραμικού οστράκου της γεώτρησης του νότιου τμήματος. Στη θέση της γεώτρησης αυτής, η κατοίκηση χαρακτηρίζεται μάλλον ως παρόχθια και το έτος αυτό μέχρι σήμερα είναι συνεχής. Θραύσμα οστέος σπονδυλωτού, που πιθανώς να είναι και ανθρώπινο και να υποδεικνύει τη θέση παλαιού νεκροταφείου, βρέθηκε σε βάθος 146cm, μαζί με κεραμικά θραύσματα και ο θάνατος του κατόχου του αντιστοιχεί στο έτος 252 μ.Χ., στη διάρκεια δηλαδή της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Η συνύπαρξη πολλών θραυσμάτων κεραμικών με το θραύσμα οστού στο βάθος αυτό, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα ευρήματα στον πυρήνα της γεώτρησης αυτής, δεν αποκλείει την ύπαρξη τάφου ρωμαϊκών χρόνων στη θέση αυτή.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ασβεστιτικών συγκριμάτων, τα οποία σχηματίστηκαν σε εποχές θερμού και ξηρού κλίματος. Τα ασβεστιτικά συγκρίματα εμφανίζονται σε βάθη, που αντιστοιχούν πιθανώς στις ξηρασίες του 8<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα και του 5<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα (Μαριολάκος, 2001).

Από τη γεωφυσική έρευνα προέκυψε επίσης η μετακίνηση της ποτάμιας αύλακας προς Βορρά είτε εξ αιτίας υλικών πρόσκωσης της κοίτης, είτε γιατί λόγω τεκτονικών αιτιών δημιουργήθηκαν συνθήκες βύθισης μεγαλύτερες από το ρυθμό ιζηματογένεσης.

## 6. Συμπεράσματα

Από τη σύγκριση των παραπάνω δεδομένων, που αφορούν την περιοχή έρευνας προκύπτει ότι:

1. Η περιοχή της λεκάνης του Βοιωτικού Κηφισού και της λίμνης Κωπαΐδας κατοικείται αδιάκοπα τουλάχιστον από την ύστερη παλαιολιθική περίοδο.
2. Την εποχή της μέσης χαλκοκρατίας ο Βοιωτικός Κηφισός έφτανε στην Κωπαΐδα μέσω κλάδων, που είτε εξέβαλλαν απ' ευθείας στη λίμνη είτε διαιρούνταν και επανενώνονταν ή ενώνονταν με άλλους ποταμούς πριν καταλήξουν σ' αυτή. Ίχνη ύπαρξης ενός παλαιού κλάδου του Βοιωτικού Κηφισού, που δείχνει τη διαίρεση της ροής του στην περιοχή αυτή, εντοπίστηκε στην περιοχή του οικισμού Ρωμείο.
3. Κατά τη διάρκεια της Μεσοελλαδικής εποχής αλλά και αργότερα σε εποχές που αντιστοιχούν στην αρχαιότατη Χαιρώνεια I, II, III και στα ύστερο-γεωμετρικά-αρχαϊκά και κλασσικά χρόνια ο ποταμός ήταν περισσότερο απομακρυσμένος από τις νότιες υπώρειες του όρους Ακόντιο, προς τη Χαιρώνεια, ενώ η περιοχή ανατολικά του οικισμού Ρωμείο, ήταν χέρσος στη διάρκεια της ύστερης πρωτογεωμετρικής περιόδου.

4. Από τον 15ο μ.Χ. αιώνα μέχρι την εποχή της αποξήρανσης της λίμνης υπήρχε ένας μόνο κλάδος του Κηφισού, που εξέβαλλε απ' ευθείας στη λίμνη κοντά στην περιοχή του Ορχομενού και μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρών άλλος κλάδος του, τροφοδοτούσε το έλος του Αγίου Δημητρίου.
5. Πιστοποιείται ανθρώπινη κατοίκηση σε τμήμα της περιοχής του Σ.Σ. Λιλαίας, βόρεια της ενεργής κοίτης του ποταμού, στην επιφάνεια του αλλουβιακού ριπιδίου της Δρυμαίας.
6. Πιστοποιείται ορίζοντας κατοίκησης παλαιότερων πολιτισμών, στην περιοχή Σ.Σ. Παλαιοθηβών σε θέσεις εκτός της ενεργής κοίτης, τόσο στο νότια ευρισκόμενο αλλουβιακό ριπίδιο της Τιθορέας, όσο και στο αλλουβιακό ριπίδιο του Μοδίου. Πιθανολογείται η ύπαρξη στην περιοχή αυτή του οικισμού της Λέδοντος, η ακριβής θέση του οποίου είναι μέχρι σήμερα άγνωστη, είτε απλώς ένας χώρος καταυλισμού των κατοίκων των Φωκικών πόλεων στο ιερό της Ίσιδος κατά τη διάρκεια εορτών. Στη θέση αυτή η κοίτη του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού μετακινείται στη διάρκεια του ανώτερου Ολόκαινου προς Νότο.
7. Στην πεδιάδα της Χαϊρώνειας πιστοποιείται συνεχής ανθρώπινη κατοίκηση τουλάχιστον από το έτος 1.950 π.Χ., πιθανολογείται δε η ύπαρξη νεκροταφείου της περιόδου επικράτησης της Ρωμαϊκής αυτό-κρατορίας. Στην περιοχή αυτή ο ποταμός έχει μετακινηθεί κατά τη διάρκεια του Ολοκαινού προς Βορρά.

## Βιβλιογραφία

- Ανδρικού, Ε., 1998. Θ' Εφορεία προϊστορικών και κλασικών Αρχαιοτήτων. *Αρχαιολογικόν Δελτίον, Τόμος 48 (1993), Μέρος Β' 1-Χρονικά*, Αθήνα.
- Αραβαντινός, Α., 1893. *Ασκληπιός και Ασκληπιεία*, 17 σ., Leipzig.
- Γρυπάρη, Μ., Κοιλάκου, Χ., Κουντούρη, Ε., Μέλιος, Ν., Παπαδόπουλος, Α., 1999. *Κωπαΐδα. Μια περιήγηση στο χώρο και το χρόνο*, 63 σ., Αθήνα.
- Ησιόδος, 8ος π.Χ. αιώνας. *Θεογονία*. Μετάφραση: Σ. Γκιργκένης, εκδόσεις: ΖΗΤΡΟΣ, 2001.
- Καρκάνας Α., 2006. *Ολοκαινικά περιβάλλοντα απόθεσης και η σύγχρονη ιζηματολογία του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού*. Διδακτορική διατριβή, 649σ., Πάτρα.
- Κρέμμος, Γ., 1878. *Ιστορική Γεωγραφία*, σ. 71, Αθήναι.
- Μαριολάκος, Η., 2001. *Η συμβολή της Γεωμυθολογίας στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση*. Συνέδριο της Κ.Ε.Π.Ε., Στυλίδας-Υπάτης, 1-4/2/2001.
- Μέλιος, Ν., 1996. *Τεκμήρια και επεξεργασμένα στοιχεία για την ιστορία του Κωπαϊδικού ζητήματος*, Αθήνα.
- Όμηρος, 8ος π.Χ. αιώνας. *Ιλιάδα*. Μετάφραση: Γ. Ψυχουντάκης. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1995.
- Παπαδημητρίου, Α., 1984. Η Τιθόρα και τα ιερά της. Προσπάθεια στην ιστορική τοπογραφία. *Αρχαιολογικόν Δελτίον*, τόμος 33 (1978), μέρος Α' - Μελέτες, σ. 121-145, Αθήναι.
- Παπαχατζής, Ν., 1992. Πausανίου Ελλάδος περιήγησις. Βιβλία 9 και 10, Βοιωτικά και Φωκικά: *Εισαγωγή στα Βοιωτικά και Φωκικά, κριτικό υπόμνημα και αποκατάσταση του κειμένου, μετάφραση και σημειώσεις ιστορικές, αρχαιολογικές, μυθολογικές*. Εκδοτική Αθηνών Α.Ε., Αθήνα.
- Παυσανίας, 150 μ. Χ. *Ελλάδος περιήγησις, βιβλία 9 και 10: Βοιωτικά-Φωκικά*.

Μετάφραση: Ν. Παπαχαν-τζής, Εκδοτική Αθηνών, 1992.

Σαμσών, Α., Ιωακείμ, Χ., 2000. *Παλαιοπεριβάλλον και κατοίκηση στην περιοχή της Κωπαΐδας κατά την παλαιολιθική και νεολιθική περίοδο*. Δ' Διεθνές Συνέδριο Βοιωτικών Μελετών. Εταιρία Βοιωτικών Μελετών. Λιβαδειά.

Στράβων, 50 π. Χ. *Γεωγραφικά*. Βιβλίου Θ'. Τα άπαντα των αρχαίων Ελλήνων συγγραφέων. Τόμος ΙΙΙ. Μετάφραση Κ. Θ. Αραπόπουλου (1937). Εκδόσεις «ΠΑΠΥΡΟΣ», σ.1190-1237., Αθήνα 1975.

Σωτηριάδης, Γ., 1909. *Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας*, σελ.128.

Τζαβέλλα-Εντζεν, Χ., 1988. Διερεύνηση της Νεολιθικής Τούμπας Μπαλωμένου στη Χαιρώνεια. *Επετηρίς της Εταιρείας Βοιωτικών Μελετών*, Τόμος Α', Τεύχος α', Α' Διεθνές Συνέδριο Βοιωτικών Μελετών, σ. 37-40, Θήβα 1986.

Τζαβέλλα-Εντζεν, Χ., 1992. Ανασκαφικές ενέργειες στη Χαιρώνεια. *Επετηρίς της Εταιρείας Βοιωτικών Μελετών*, Τόμος Β', Τεύχος α', Β' Διεθνές Συνέδριο Βοιωτικών Μελετών, σ. 63-67, Λιβαδειά 1992.

Bintliff, J. L., 1977. Natural environment and human settlement in prehistoric Greece. *British Archaeological Report, suppl. Series*, vol. 28, Oxford.

Heinrich, B., 1988. Prehistoric hydraulic constructions in the Copais. *Επετηρίς της Εταιρείας Βοιωτικών Μελετών*, τόμος Α', τεύχος α'. Α' Διεθνές Συνέδριο Βοιωτικών Μελετών, Θήβα 1992, σ. 43-64, Αθήνα.

Knauss, J., 1995. Technical and historical aspects of the unfinished ancient drainage tunnel at the outmost northeast corner of the Copais-basin. *Επετηρίς της Εταιρείας Βοιωτικών Μελετών*, τόμος Β', τεύχος α'. Β' Διεθνές Συνέδριο Βοιωτικών Μελετών, Λιβαδειά 1992, σ. 83-95, Αθήνα.

Knauss, J., Heinrich, B., Kalcyk, H., 1984. Die Wasserbauten der Minyen in der Kopais – die älteste Flussregulierung Europas, *Bericht*, No 50 des Instituts für Wasserbau und Wassermengen-wirtschaft der Technische Universität München (Kopais 1).

Leake, W. M., 1835. *Travels in Northern Greece*. Vol. II, 79p..

Lolling, L., 1889. *Hellenische Landeskunde und Topographie*. 130 S., Nordlingen.

Mariolakos, I., Fountulis, I., Kranis, H., 2001. *Geology and Tectonics: Sterea Hellas area*. Engineering Geology and the Environment, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Sturnaras (Eds), p. 3971-3986, Swets & Zeitinger, Lisse.

Smidt, E., 1965. Die Seidi-Höhle. Eine jung paläolithische Station in Griechenland. *IVe Colloque Inter-national de Spéléologie, Athènes*, 1963, 163-174.

Sotiriadis, G., 1905. Untersuchungen in Boiotien und Phokis. *Mitt. des Kaiserlich Deutsch. Archäol. Inst., Athenische Abteilung*, Band XXX, Athen, 416s.

Stamphuss, R., 1942. Die ersten altsteinzeitlichen Höhlenfunde in Griechenland. *Mannus* 34, 132-147.

## ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΞΥ ΣΧΙΝΟΥ ΚΑΙ ΨΑΘΑΣ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ)

Καρύμπαλης Ε.<sup>1</sup>, Βερυκίου-Παπασπυριδάκου Ε.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

<sup>2</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η γεωμορφολογία της παράκτιας περιοχής μεταξύ του όρμου Αγίας Σωτήρας και του ακρωτηρίου Μύτικα Ψάθας, στις νότιες ακτές του όρμου των Αλκυονίδων στον ανατολικό Κορινθιακό κόλπο. Για τη μελέτη της περιοχής πραγματοποιήθηκε λεπτομερής υπαίθρια παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5000. Αποτυπώθηκαν οι λιθολογικοί τύποι και οι παράκτιες γεωμορφές που απαντώνται κατά μήκος της ακτογραμμής που μελετήθηκε όπως ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί (beachrocks), παράκτιοι κρημνοί, ανυψωμένες εγκοπές στη βάση των παράκτιων κρημνών, αιγιαλοί αποτελούμενοι από υλικά ποικίλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, παράκτια έλη, διαβρωμένα παλαιά δελταϊκά ριπίδια κ.α. Οι παράκτιες γεωμορφές συσχετίστηκαν με την τεκτονική και τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και την εξέλιξη της περιοχής διαδραματίζουν οι τεκτονικές κινήσεις και οι πρόσφατες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης. Η περιοχή είναι ιδιαίτερα ενεργή τεκτονικά όπως δείχνουν οι πολλές και συχνές σεισμικές δονήσεις με πρόσφατες αυτές που σημειώθηκαν το 1981 με επίκεντρο τις νήσους Αλκυονίδες. Από τους σεισμούς αυτούς ενεργοποιήθηκε το κανονικό ρήγμα Σχίνου - Αλεποχωρίου - Ψάθας το οποίο διέρχεται από την περιοχή. Στο τμήμα της ακτής που βρίσκεται στο βυθιζόμενο τμήμα του ρήγματος παρατηρούνται βυθισμένες παράκτιες γεωμορφές ενώ σε εκείνο που αναπτύσσεται στο τμήμα που ανυψώνεται οι παράκτιες γεωμορφές έχουν ανυψωθεί.

### GEOMORPHOLOGICAL OBSERVATIONS ALONG THE COASTAL ZONE BETWEEN SCHINOS AND PSATHA (EASTERN GULF OF CORINTH)

Karymbalis E.<sup>1</sup>, Verikiou-Papaspiridakou E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harokopio University, Department of Geography

<sup>2</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment, Division of Geography-Climatology

### Abstract

This study deals with the coastal geomorphology of the area between the bay of Agia Sotira and cape Mytikas Psathas at the southern coastline of the Alkyonides Gulf located on the eastern Gulf of Corinth. A detailed coastal geomorphological mapping at the scale of 1:5000 was performed through field-work. Lithological types as well as coastal landforms along the investigated coastline (including coastal cliffs, beachrocks, beaches consisting of various grain size materials, coastal marshes, eroded Pleistocene fan deltas, uplifted notches at the base of the cliffs e.t.c.) were depicted. The above mentioned mapped coastal landforms were associated with tectonic elements and the seismic activity of the area. It was concluded that tectonic movements and recent sea-level changes played a significant role for the configuration and the evolution of the coastal zone of the study area. Recent destructive earthquakes, especially those of 1981, in the Alkyonides Gulf and associated normal faulting, show that the area is particularly tectonically active. The normal fault of Alepochori that passes through the area was activated by these earthquakes. The part of the

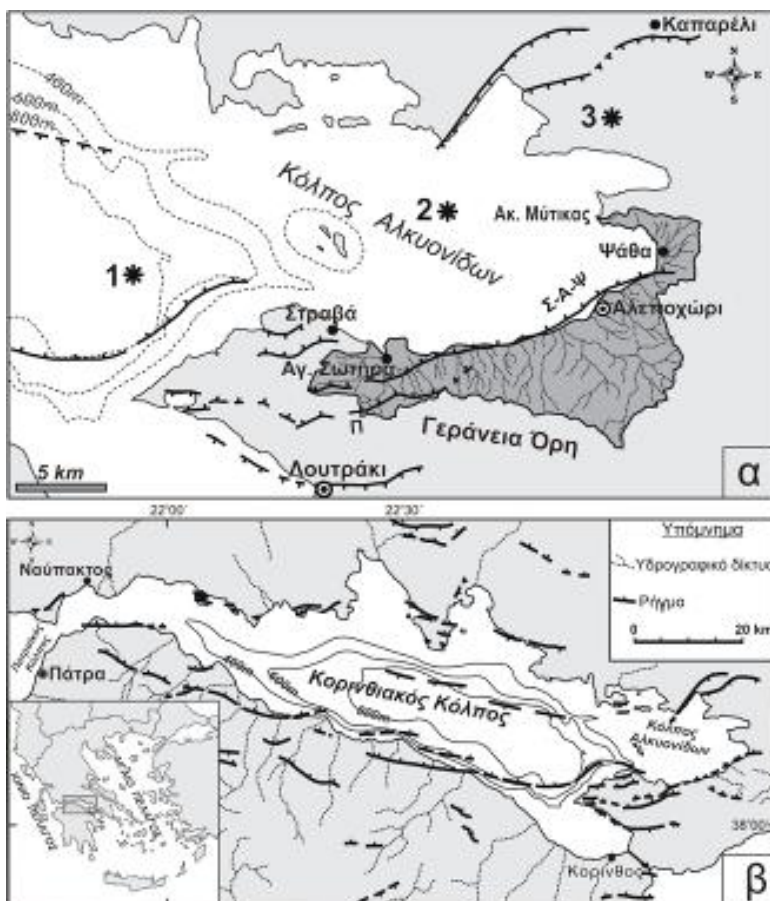
coastline that lies on the hangingwall is characterized by the presence of subsiding coastal landforms while at the shoreline of the footwall uplifted coastal landforms are observed.

**Λέξεις κλειδιά:** παράκτια γεωμορφολογία, Ανατολικός Κορινθιακός Κόλπος, Αλεποχώρι.

**Key words:** coastal geomorphology, Eastern Gulf of Corinth, Alepochori.

## 1. Γεωγραφική θέση

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της παράκτιας ζώνης των νότιων ακτών του κόλπου των Αλκυονίδων στον ανατολικό Κορινθιακό κόλπο (Σχήμα 1α).



Σχήμα 1. α). Γεωγραφική θέση του κόλπου των Αλκυονίδων στον ανατολικό Κορινθιακό κόλπο. Φαίνεται η ακτογραμμή που μελετήθηκε καθώς και τα υδρογραφικά δίκτυα που εκβάλλουν σε αυτή. Στον χάρτη σημειώνονται τα κυριότερα ρήγματα της περιοχής (Σ-Α-Ψ: ρήγμα Σχίνου – Αλεποχωρίου – Ψάθας, Π: ρήγμα Πισίων) ενώ με αστερίσκους απεικονίζονται τα επίκεντρα των σεισμών του 1981, (τα ρήγματα και τα σεισμικά επίκεντρα στον χάρτη του κόλπου των Αλκυονίδων από Hubert et al., 1996. β) Βαθυμετρικός χάρτης του Κορινθιακού κόλπου με τα κυριότερα ρήγματα (από Armitjo et al., 1996 τροποποιημένος).

Ο Κορινθιακός κόλπος αποτελεί μια ασύμμετρη τεκτονική τάφρο που έχει δημιουργηθεί από κανονικά ρήγματα γενικής διεύθυνσης Δ.ΒΔ. – Α.ΝΑ. και χαρακτηρίζεται από μεγάλη σεισμική δραστηριότητα και υψηλούς ρυθμούς διάνοιξης που φθάνουν τα 15-22 mm/έτος (Houghton et al., 2003).

Η ακτογραμμή που χαρτογραφήθηκε έχει συνολικό μήκος 30 km και εκτείνεται από τον όρμο Αγίας Σωτήρας στα δυτικά έως το ακρωτήριο Μύτικας Ψάθας στα ανατολικά (Σχήμα 1). Η άμεση τροφοδοσία της με υλικό πραγματοποιείται μέσω των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλουν κατά μήκος αυτής. Οι λεκάνες που έχουν διαμορφώσει τα υδρογραφικά αυτά δίκτυα είναι μικρής έκτασης (τα εμβαδά τους κυμαίνονται από 0.5 έως 35 km<sup>2</sup>) και η ανάπτυξη και μορφολογία τους έχουν επηρεαστεί τόσο από την τεκτονική συμπεριφορά των ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ που ταπεινώνουν την παράκτια ζώνη και ανυψώνουν τον ορεινό όγκο των Γερανείων όσο και από τη λιθολογική σύσταση των σχηματισμών που τις καταλαμβάνουν. Η τοπογραφία των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που τροφοδοτούν άμεσα την παράκτια ζώνη της περιοχής που μελετήθηκε καθώς και η εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών εντός αυτών απεικονίζονται στα Σχήματα 2 και 3.

## 2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε λεπτομερής υπαίθρια παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση κατά μήκος της ακτογραμμής που μελετήθηκε. Ως υπόβαθρο για την χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Για την πληρέστερη μελέτη της παράκτιας ζώνης αποτυπώθηκε η τοπογραφία και η γεωλογία των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλουν στη νότια και ανατολική ακτογραμμή του κόλπου των Αλκουνίδων. Τα υδρογραφικά αυτά δίκτυα και η μορφολογία των λεκανών απορροής τους απεικονίστηκαν χρησιμοποιώντας τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού ενώ τα λιθολογικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και της άμεσης περιοχής κατά μήκος της ακτογραμμής αντλήθηκαν από το φύλλο Καπαρέλλι του γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:50000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΓΓΜΕ, 1984).

Η παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε από υπαίθρια επιτόπια έρευνα ενώ επιπλέον συλλέχθηκε και αξιολογήθηκε η βιβλιογραφία για την ευρύτερη περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού κόλπου και του κόλπου των Αλκουνίδων. Πέρα από τις παράκτιες γεωμορφές (ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί, σύγχρονοι αιγιαλοί, παράκτια έλη, παράκτιοι κρημνοί, ανυψωμένες εγκοπές, κ.α.) έγιναν ποιοτικές παρατηρήσεις σχετικά με την κοκκομετρία και τη λιθολογία των υλικών των αιγιαλών κατά την περίοδο της χαρτογράφησης ενώ επιπλέον έγινε καταγραφή των ανθρωπογενών επεμβάσεων κατά μήκος της ακτογραμμής, οι οποίες λόγω της αυξανόμενης τουριστικής ανάπτυξης, υπήρξαν ιδιαίτερα σημαντικές κατά τις τελευταίες δεκαετίες.

Δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων από την ψηφιοποίηση (των ισουψών καμπυλών, του υδρογραφικού δικτύου, των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών στοιχείων) από τους αναλογικούς χάρτες διαφόρων κλιμάκων καθώς και τις παράκτιες γεωμορφές η θέση των οποίων πιστοποιήθηκε με τη χρήση GPS αξιοποιώντας τις δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με τη χρήση των λογισμικών MapInfo 8 και Vertical Mapper 3.

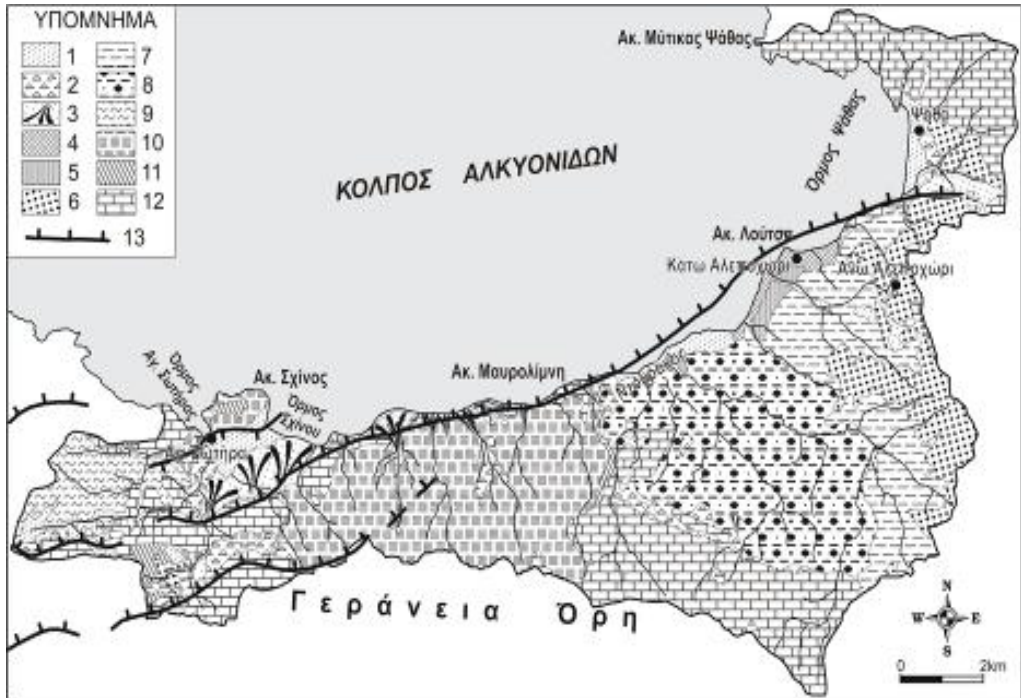


Σχήμα 2. Τοπογραφικός χάρτης των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλλουν στις νότιες ακτές του κόλπου των Αλκυονίδων.

### 3. Γεωλογία - Τεκτονική

Οι λεκάνες απορροής των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλλουν από την περιοχή Ντουράκος έως τον όρμο της Αγίας Σωτήρας οριοθετούνται από τα ρήγματα των Πισίων και του Σχίνου και αναπτύσσονται σε ασβεστόλιθους Μεσοζωϊκής ηλικίας και σε υπερβασικά πετρώματα των νότιων κλιτύων του ορεινού όγκου των Γερανείων (Σχήμα 3). Συγκεκριμένα πρόκειται για ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας μέσου Τριαδικού - Δογγέριου, σχηματισμούς της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης καθώς και τα υπερβασικά πετρώματα αυτής ηλικίας Αν. Δογγέριου - Μ. Μάλμιου και ο Βοιωτικός φλύσχης ηλικίας Αν. Μάλμιου - Κατ. Κρητιδικού. Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση Πλειστοκαινικών αλλουβιακών κώνων και παράκτιων ριπιδίων, στις εκβολές ορισμένων από τα δίκτυα αυτά, που η κύρια ανάπτυξη τους τοποθετείται πιθανά στην τελευταία παγετώδη περίοδο (ΙΓΜΕ, 1984). Οι λεκάνες τα δίκτυα των οποίων εκβάλλουν στο ανατολικό τμήμα της περιοχής από την θέση Ντουράκος έως τον όρμο της Ψάθας αναπτύσσονται σε σχηματισμούς Νεογενούς ηλικίας που περιλαμβάνουν μάργες, ψαμμίτες, αργίλους και κροκαλοπαγή Πλειοκαινικής ηλικίας καθώς και σε Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς που αποτελούνται από ποταμοχειμάρριες αποθέσεις και εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών, αργίλων και πηλών (Σχήμα 3). Τα δίκτυα αυτά έχουν δενδρική μορφή, είναι περισσότερο ανεπτυγμένα, έχουν μικρότερες μορφολογικές κλίσεις ενώ κύρια διεργασία είναι η οπισθοδρομούσα διάβρωση (Σχήμα 2). Είναι προφανές ότι λόγω του ευδιάβρωτου χαρακτήρα των λιθολογιών η τροφοδοσία του τμήματος αυτού της παράκτιας ζώνης με υλικό είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το ανατολικό.

Οι Ολοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις, τα πρόσφατα υλικά των αιγιαλών της παράκτιας ζώνης, ιλύς που καταλαμβάνει τις παράκτιες ελώδεις περιοχές και σύγχρονους κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα που καλύπτουν τις κλιτείς μεγάλων μορφολογικών κλίσεων.



Σχήμα 3. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που εκβάλλουν στις νότιες ακτές του κόλπου των Αλκυονίδων (τροποποιημένος από ΙΓΜΕ, 1984). Υπόμνημα: 1: αλλουβιακές αποθέσεις (Ολόκαινο), 2: πλευρικά κορημάτα και κώνοι κορημάτων (Ολόκαινο), 3: Αλλουβιακοί κώνοι και αλλουβιακά ριπίδια (πιθανά Βούρμιο), 4: Κατώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα (πιθανά Αν. Πλειστόκαινο), 5: Ανώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα (Τυρρηνείο), 6: Ποταμοχειμάρριες απόθέσεις από εναλλαγές κροκαλοπαγών, αργίλων και ηλλών (Πλειστόκαινο), 7: Μάργες - άργιλοι και ψαμμίτες λιμναίας και υφάλμυρης φάσης (Αν. Πλειόκαινο), 8: Μάργες - ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Πλειόκαινο), 9: Βοιωτικός φλύσχος (Αν. Μάλμιο - Κ. Κρητιδικό), 10: Υπερβασικά πετρώματα (Αν. Δογγέριο - Μ. Μάλμιο), 11: Σχιστοκερατολιθική διάπλαση (Αν. Δογγέριο - Μ. Μάλμιο), 12: Ασβεστόλιθοι και δολομίτες (Μ. Τριαδικό - Δογγέριο), 13: Ρήγμα.

Η περιοχή μελέτης είναι τεκτονικά πολύ ενεργή όπως αποδεικνύει η εντονη σεισμική δραστηριότητα και η παρουσία ενεργών ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Οι πρόσφατοι σεισμοί του 1981 προκάλεσαν σημαντικές καταστροφές στην ευρύτερη περιοχή του ανατολικού Κορινθιακού κόλπου. Οι δύο πρώτες σεισμικές δονήσεις συνέβησαν τη νύχτα της 24ης προς 25η Φεβρουαρίου και η τρίτη συνέβη επτά μέρες αργότερα στις 4 Μαρτίου. Αποτέλεσμα των δύο πρώτων σεισμών ήταν η δραστηριοποίηση των κανονικών ρηγμάτων των Πισίων και του Αλεποχωρίου (Σχήμα 1). Η δραστηριοποίηση ήταν ορατή στη βάση των επιφανειακών εμφανίσεων των διαρρήξεων αυτών. Μικρής έκτασης διαρρήξεις παρατηρήθηκαν επίσης σε ρήγματα της ευρύτερης περιοχής (Jackson et al., 1982). Οι Hubert et al. (1996) υποστήριξαν ότι τα δύο πρώτα γεγονότα ήταν αποτέλεσμα της διάρρηξης των ρηγμάτων Πισίων και Αλεποχωρίου και όχι της ενεργοποίησης ενός υποθαλάσσιου ρήγματος που διέρχεται ανοικτά της ακτογραμμής. Διάφοροι ερευνητές εκτιμούν ένα μέσο διάστημα επανενεργοποίησης του ρήγματος Αλεποχωρίου της τάξης των 330 ετών για τα τελευταία 2000 έτη και ρυθμούς κατακόρυφης μετατόπισης 0.7-2.5 m (Collier et al., 1998, Vita-Finzi and King, 1985).



#### 4. Παράκτιες γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στην περιοχή μελέτης

Κατά την γεωμορφολογική χαρτογράφηση οι παράκτιες γεωμορφές διακρίθηκαν σε θαλάσσιες διάβρωσης και απόθεσης. Επιπλέον αναγνωρίστηκαν οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις που κυρίως συνίστανται σε κατασκευές και παρεμβάσεις κατά μήκος της ακτογραμμής με σκοπό κυρίως την προστασία από τη θαλάσσια διάβρωση.



Σχήμα 4. Παράκτιος γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής μεταξύ όρμου Αγ. Σωτήρας και ακρωτηρίου Μύτικα Ψάθας. Ο χάρτης προέκυψε από υπαίθρια χαρτογράφηση με υπόβαθρο τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5000. Υπόμνημα: 1: αλλουβιακές αποθέσεις, 2: πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων, 3: Αλλουβιακοί κώνοι και αλλουβιακά ριπίδια, 4: Κατώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα, 5: Ανώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα, 6: Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις από εναλλαγές κροκαλοπαγών, αργίλων και πηλών, 7: Μάργες - άργιλοι και ψαμμίτες, 8: Μάργες - ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, 9: Βοιωτικός φλύσσης, 10: Υπερβασικά πετρώματα, 11: Σχιστοκερατολιθική διάπλαση, 12: Ασβεστόλιθοι και δολομίτες, 13: παράκτιος κρημνός, 14: κρημνός με ιζήμα, 15: υπολειμματική στήλη μορφής μανιταριού, 16: αιγιαλός με αδρομερές υλικό, 17: αιγιαλός με αμμώδες υλικό, 18: αιγιαλός με ανάμεικτο υλικό, 19: παράκτιο έλος, 20: ψηφιδοπαγής αιγιαλός, 21: ακτή που υποχωρεί, 22: τεχνητά πληρωμένα ακτή, 23: ρήγμα.

Ένα αρκετά μεγάλο μήκος της ακτογραμμής χαρακτηρίζεται από παράκτιους κρημνούς που κυρίως αναπτύσσονται στις περιοχές που Μεσοζωϊκής ηλικίας ασβεστόλιθοι καταλήγουν στη θάλασσα (Σχήμα 4). Ιδιαίτερα εντυπωσιακοί είναι οι ασβεστόλιθοι κρημνοί που απαντώνται ανατολικά της Μαυρολύμνης όπου διέρχεται το ρήγμα Σχίνου - Αλεποχωρίου και στη νότια ακτογραμμή του όρμου της Ψάθας. Το ύψος του παράκτιου κρημνού στον όρμο της Ψάθας φθάνει τα 200 m και αντιστοιχεί στο σχεδόν κατακόρυφο μέτωπο του ομώνυμου ρήγματος που αποτελεί την προς τα ανατολικά προέκταση του ρήγματος Σχίνου - Αλεποχωρίου. Στη βάση του ασβεστόλιθικού αυτού μετώπου έχουν αναπτυχθεί τρεις εγκοπές οι οποίες σήμερα βρίσκονται ανυψωμένες σε σχέση με τη σημερινή στάθμη θάλασσας αποτελώντας σαφή ένδειξη τεκτονικής ανύψωσης του τμήματος αυτού της ακτογραμμής. Η υψηλότερη εντοπίζεται περίπου 2 m πάνω από τη σημερινή στάθμη. Οι Ledder et al. (1991) εκτιμούν ότι η υψηλότερη εγκοπή άρχισε να δημιουργείται κατά την τελευταία υψηλή στάθμη θάλασσας υπολογίζοντας έτσι ένα ρυθμό τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής της τάξης των

0.3 mm/έτος. Οι ανυψωμένες αυτές εγκοπές έχουν μερικώς καταστραφεί από την πρόσφατη κατασκευή του παράκτιου δρόμου που συνδέει το Αλεποχώρι με την Ψάθα. Παρόμοια διαλυσιγενής θαλάσσια εγκοπή έχει αναπτυχθεί στη βάση υπολειμματικής στήλης μορφής μανταριού, που απέχει μόλις 30 m από την ακτογραμμή, στην περιοχή Ντουράκος (Σχήματα 4, 5a). Η εγκοπή αυτή βρίσκεται 0.7 m πάνω από τη σημερινή στάθμη θάλασσας και δεν έχει χρονολογηθεί διότι δεν υπάρχει βιογενές υλικό ενώ δεν είναι σαφές αν ανυψώθηκε κατά τους σεισμούς του 1981. Οι Jackson et al., (1982) λαμβάνοντας υπόψη τη βαθυμετρία του κόλπου υποστήριξαν αρχικά ότι η συνέχεια του παράκτιου ρήγματος στην περιοχή αυτή διέρχεται μέσα από τη θάλασσα για να συναντήσει το εντυπωσιακό μέτωπο στη νότια ακτογραμμή του όρμου της Ψάθας, γεγονός που μεταγενέστερα αποδείχτηκε με σεισμικά προφίλ που διενεργήθηκαν στην κόλπο (Leeder et al., 2002). Συνεπώς η ανύψωση που παρατηρείται εδώ αντανakλά κινήσεις στο ανυψούμενο τέμαχος του ρήγματος.

Χαμηλοί παράκτιοι κρημνοί αναπτύσσονται και σε χαλαρές ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις στις περιοχές που τα υδρογραφικά δίκτυα καταλήγουν στην ακτογραμμή. Σηματοδοτούν το ανώτερο όριο της δράσης των κυμάτων και αποτελούν ένδειξη υποχώρησης της ακτογραμμής. Μπροστά από τους χαμηλούς αυτούς κρημνούς αναπτύσσονται αμμόδεις και χαλικώδεις αιγιαλοί.

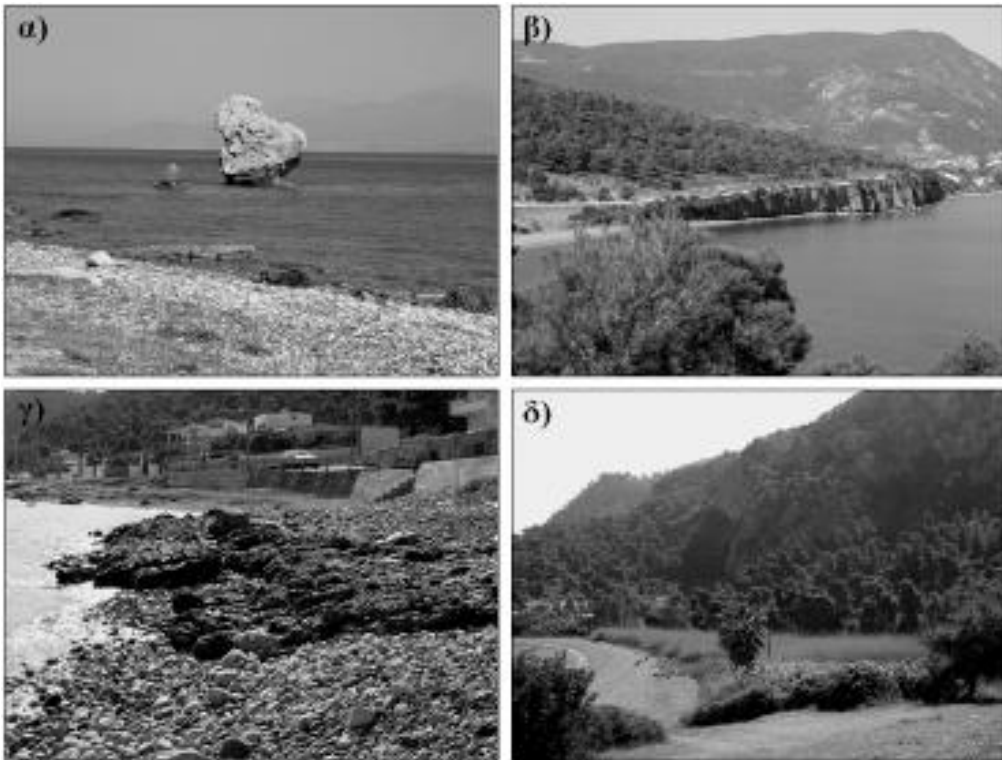
Χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη κρημνών κατά μήκος των παράκτιων μετώπων των Πλειστοκαινικών αλλουβιακών κώνων και ριπιδίων στις περιοχές Κινέτας, Αγ. Βλάσιου και Αλμύρας στο δυτικό τμήμα της περιοχής που φθάνουν σε ύψος μέχρι και 20 m (Σχήμα 5b). Κατά μήκος της βάσης τους έχουν αναπτυχθεί αιγιαλοί από την επαναπόθεση των υλικών-προϊόντων της υποχώρησης των κώνων. Δεδομένου ότι οι λεκάνες απορροής των δικτύων που απέθεσαν τους κώνους και τα ριπιδία καταλαμβάνονται από υπερβασικά πετρώματα το υλικό των αιγιαλών αυτών είναι ποικίλης κοκκομετρικής διαβάθμισης γωνιώδεις λατύπες και χάλικες από σερμπεντινίτες.

Αιγιαλοί αναπτύσσονται κυρίως από την περιοχή Ντουράκος έως το Κάτω Αλεποχώρι, που τα μεγαλύτερα υδρογραφικά δίκτυα τα οποία αναπτύσσονται σε ευδιάβρωτους Πλεο-Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς, εκβάλλουν στη θάλασσα, στον μυχό του όρμου της Ψάθας καθώς και στις περιοχές Αρμύρα και Αγ. Σωτήρας στο δυτικό τμήμα της περιοχής που μελετήθηκε (Σχήμα 4). Κατά την παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση οι αιγιαλοί διακρίθηκαν με κριτήριο το μέγεθος των υλικών από τα οποία συνίστανται. Η ανάπτυξη, η κοκκομετρία και η λιθολογία των υλικών των αιγιαλών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής των ανάντη υδρογραφικών δικτύων. Μεγάλο μήκος της ακτογραμμής καταλαμβάνεται από αιγιαλούς αδρομερών υλικών (κυρίως χαλικών και κροκαλών) καθώς και αιγιαλούς ανάμεικτου υλικού (κροκαλών και άμμων). Τα υλικά των αιγιαλών αυτών την περίοδο της χαρτογράφησης ήταν διαβαθμισμένα σε δύο ή τρεις επιμήκειες, παράλληλες προς την ακτογραμμή, ζώνες (berms) που είναι χαρακτηριστικές της κυματικής ενέργειας που δέχεται η ακτή. Αμμόδεις αιγιαλοί χαρτογραφήθηκαν στον όρμο της Αγίας Σωτήρας και κατά μήκος της παραλίας Αλεποχωρίου ενώ όπως έχει ήδη αναφερθεί μικρού πλάτους αιγιαλοί αναπτύσσονται μπροστά από τους παράκτιους κρημνούς που έχουν σχηματισθεί στα μέτωπα των αλλουβιακών κώνων και ριπιδίων (Σχήμα 4).

Στην περιοχή του Αλεποχωρίου έχουν αναφερθεί και χαρτογραφηθεί ανυψωμένες παλιές αποθέσεις αιγιαλών (Kelletat et al., 1976; Jackson et al., 1982; ΙΓΜΕ, 1984; Leeder et al., 1991; Collier et al., 1992). Οι υψηλότερες αποθέσεις αιγιαλού βρίσκονται σε υψόμετρο μεταξύ 25 και 35 m. Δείγμα από κοράλλια στις αποθέσεις αυτές έδωσε ηλικία  $90 \pm 4$  ka και  $126 \pm 6$  ka με τη μέθοδο ραδιοχρονολόγησης U-Th (Leeder et al., 1991). Λαμβάνοντας τη δεύτερη ηλικία εκτιμάται ένας μέσος ρυθμός ανύψωσης περίπου 0.3 mm/έτος που είναι παρόμοιος με αυτόν που εκτιμήθηκε από τις ανυψωμένες εγκοπές στη βάση του ασβεστολιθικού μετώπου του ρήγματος στην Ψάθα. Η δεύτερη εμφάνιση ανυψωμένων αποθέσεων αιγιαλού βρίσκεται 6.5-13 m πάνω από τη θαλάσσια στάθμη, περιλαμβάνει στρώματα άμμων και χαλικών και δεν έχει χρονολογηθεί ενώ η χαμηλότερη θαλάσσια

αναβαθμιδα βρίσκεται σε υψόμετρο 2 m.

Κατά μήκος της σημερινής ακτογραμμής στις θέσεις Ακρ. Λούτσα και Ντουράκος παρατηρούνται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί (Σχήμα 5γ). Το υλικό τους παρουσιάζουν μεγάλη κοκκομετρική διαβάθμιση (από λεπτόκοκκη άμμο μέχρι κροκάλες μεγάλου μεγέθους και κελύφη οργανισμών). Η λιθολογία τους εξαρτάται από την περιοχή στην οποία αναπτύσσονται. Στο δυτικό τμήμα της περιοχή επικρατούν ασβεστολιθικές κροκάλες και κροκάλες από υπερβασικά πετρώματα. Οι πάγκοι αυτοί βρίσκονται ανυψωμένοι κατά 0.3 – 0.5 m πάνω από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη αποτελώντας ένδειξη τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής. Οι εμφανίσεις των ανυψωμένων αυτών ψηφιδωπαγών αιγιαλών βρίσκονται στο ανυψούμενο τέμαχος του ρήγματος Σχίνου - Αλεποχωρίου - Ψάθας.



Σχήμα 5. α) Ανυψωμένη εγκοπή σε βράχο μορφής μανιταριού στην περιοχή Λακκούλα. β) Παράκτιος κρημνός στη βάση Πλειστοκαινικού αλλουβιακού κώνου στην περιοχή Κινέτα. γ) Ανυψωμένος ψηφιδωπαγής αιγιαλός στην περιοχή Ντουράκος. δ) Παράκτιο έλος στην περιοχή Αγ. Βλάσιος. Διακρίνεται ο χαλικιώδης φραγματικός αιγιαλός καθώς το μέτωπο του ρήγματος Σχίνου - Αλεποχωρίου - Ψάθας.

Παράκτιες ελώδεις εκτάσεις υπάρχουν στον όρμο της Ψάθας και στις περιοχές Αλμύρα και Άγιο Βλάσιο στον όρμο του Σχίνου (Σχήμα 4). Τα παράκτια έλη αναπτύσσονται πίσω από χαλικιώδεις αιγιαλούς που έχουν τη μορφή φράγματος το ύψος των οποίων φθάνει μέχρι και 1 m (Σχήμα 5δ). Τα παράκτια αυτά έλη βρίσκονται στο βυθιζόμενο τέμαχος του ρήγματος Σχίνου - Αλεποχωρίου - Ψάθας και η παρουσία τους αποτελεί ένδειξη αργής τεκτονικής βύθισης (Jackson et al., 1982). Τη μεγαλύτερη έκταση (0.6 km<sup>2</sup>) έχει το έλος που χαρτογραφήθηκε στην Ψάθα ακριβώς βόρεια του ασβεστολιθικού μετώπου του ρήγματος. Στα

ανατολικά της περιοχής το έλος στον Άγιο Βλάσιο οριοθετείται στα νοτιοανατολικά από το μέτωπο του ρήματος Σχίνου – Αλεποχωρίου – Ψάθας. Το έλος στην περιοχή Αλμύρα απεικονίζεται πολύ μεγαλύτερο σε παλαιούς χάρτες. Ο περιορισμός της έκτασής του οφείλεται στην οικιστική ανάπτυξη της περιοχής.

Μια από τις λίγες περιοχές που παρατηρήθηκαν καθαρά ενδείξεις βύθισης κατά τους σεισμούς του 1981 είναι η Μαυρολίμνη (Stiros and Pirazzoli, 1998). Πριν το 1981 η Μαυρολίμνη ήταν μια λιμνοθάλασσα με βάθος περίπου 10 m που χωριζόταν από την θάλασσα με ένα φράγμα από άμμο και χάλικες πλάτους μερικών μέτρων. Το φράγμα αυτό χρησιμοποιούταν ως μόλος για τις βάρκες δεδομένου ότι η λιμνοθάλασσα επικοινωνούσε με την ανοικτή θάλασσα προς βορά. Το 1981 η περιοχή βυθίστηκε κατά περίπου 0.8 m με αποτέλεσμα η κορυφή του χαλικώδους φράγματος να βρεθεί στη στάθμη της θάλασσας. Εξαιτίας της βύθισης αυτής μια στενή παράκτια λωρίδα ξηράς κατακλύστηκε από θαλάσσιο νερό, τα δένδρα της λωρίδας αυτής καταστράφηκαν ενώ μια παραθεριστική κατοικία κατακλύστηκε από θαλάσσιο νερό. Δώδεκα περίπου χρόνια μετά τους σεισμούς στην θέση του βυθισμένου πλέον φυσικού χαλικώδους φράγματος κατασκευάστηκε ένας μόλος από τσιμέντο (Stiros and Pirazzoli, 1998). Η βύθιση αυτή οφείλεται στο ότι το παράκτιο κανονικό ρήγμα διέρχεται νότια της Μαυρολίμνης η οποία συνεπώς βρίσκεται στο βυθιζόμενο τέμαχος του (Jackson et al., 1982).

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στην παράκτια ζώνη αφορούν κυρίως την οικιστική ανάπτυξη και τα έργα στον άμεσο χώρο της ακτογραμμής για την προστασία από την παράκτια διάβρωση. Η οικιστική ανάπτυξη σε όλη την περιοχή μελέτης είναι εμφανής και έχει ενταθεί ιδιαίτερα κατά τις τελευταίες δεκαετίες κυρίως λόγω της τουριστικής της αξιοποίησης. Σε όλο σχεδόν το μήκος της παράκτιας ζώνης που χαρτογραφήθηκε διαπιστώθηκε η έντονη υποχώρηση της ακτογραμμής από τη δράση των θαλάσσιων διεργασιών. Στον όρμο Αγίας Σωτήρας στο δυτικό άκρο της περιοχής μελέτης η υποχώρηση γίνεται εμφανής από τις προσπάθειες των ιδιοκτητών να αποτρέψουν τη θαλάσσια διάβρωση κατασκευάζοντας τσιμέντινα πεζούλια. Στην περιοχή ανατολικά του Αλεποχωρίου και σε μεγάλο τμήμα κατά μήκος του παράκτιου δρόμου που οδηγεί στην Ψάθα έχουν κατασκευαστεί τοιχία από τσιμέντο με σκοπό τον περιορισμό της υποχώρησης της ακτογραμμής. Στον ίδιο δρόμο κατά μήκος της βάσης του ασβεστολιθικού μετώπου του ρήματος Αλεποχωρίου – Ψάθας έχουν τοποθετηθεί γωνιώδεις ογκόλιθοι στη θάλασσα για την απόσβεση της κυματικής ενέργειας και την ανάσχεση της διάβρωσης και της υποχώρησης της ακτογραμμής.

## 5. Συμπεράσματα

Η παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση μεταξύ του όρμου της Αγίας Σωτήρας και του ακρωτηρίου Μύτικας Ψάθας στις νότιες ακτές του κόλπου των Αλκυονίδων οδήγησε στη διαπίστωση ότι σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της μορφολογίας και την εξέλιξη της περιοχής διαδραματίζει ο πρόσφατος τεκτονισμός, που εκδηλώνεται με την σεισμική δραστηριότητα και την ενεργοποίηση κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ που ανυψώνουν τη νότια χερσαία περιοχή και ταπεινώνουν την υποθαλάσσια περιοχή του κόλπου. Η αποτύπωση των παράκτιων γεωμορφών έδειξε ότι σε ένα τμήμα της ακτογραμμής από το δυτικό άκρο της περιοχής μελέτης έως την περιοχή Λακκούλα υπάρχουν σαφείς ενδείξεις βύθισης και υποχώρησης με την παρουσία κρημών που αναπτύσσονται στη βάση αλλοβιακών ριπιδίων, την παρουσία κατακλυσμένων παράκτιων ελών και βυθισμένου χαλικώδους φραγματικού αιγιαλού (στην περιοχή της Μαυρολίμνης). Αντίθετα από την Λακκούλα έως τις νότιες ακτές του όρμου της Ψάθας υπάρχουν σαφείς ενδείξεις τεκτονικής ανύψωσης με τη μορφή ανυψωμένων αποθέσεων αιγιαλών (θαλάσσιων αναβαθμιδών), ψηφιδωπαγών αιγιαλών (beachrocks) και εγκοπών στη βάση ασβεστολιθικών κρημών ιδιαίτερα στο ασβεστολιθικό μέτωπο του ρήματος της Ψάθας. Επίσης βόρεια του ασβεστολιθικού αυτού μετώπου η ακτογραμμή βυθίζεται όπως αποδεικνύει η παρουσία του παράκτιου έλους στην περιοχή της Ψάθας. Η κίνηση αυτή της ακτογραμμής σχετίζεται άμεσα

με τις κινήσεις του ρήγματος Σχίνου – Αλεποχωρίου – Ψάθας. Οι ενδείξεις βύθισης της ακτογραμμής εντοπίζονται στο βυθιζόμενο τέμαχος του ρήγματος και αλλάζουν απότομα σε ανυψωμένες παράκτιες γεωμορφές στο τμήμα της ακτογραμμής που βρίσκεται στο τέμαχος που ανυψούται.

Κύριο χαρακτηριστικό της σημερινής ακτογραμμής είναι η διάβρωση και υποχώρηση από τις θαλάσσιες διεργασίες η δράση των οποίων εντείνεται από τη σταδιακή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις υπήρξαν ιδιαίτερα έντονες κατά τις τελευταίες δεκαετίες και συνίστανται στην αυξανόμενη οικιστική ανάπτυξη κατά μήκος της παράκτιας ζώνης αλλά και σε κατασκευές, παρεμβάσεις και έργα που στοχεύουν στην προστασία της ακτογραμμής από τη θαλάσσια διάβρωση.

## Βιβλιογραφία

Armijo, R., B. Meyer, G. King, A. Rigo, and D. Papanastassiou, 1996: Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implications for the Late Cenozoic evolution of the Aegean, *Geophys. J. Int.*, 126, 11-53.

Collier R., Leeder M., Rowe P. and T. Atkinson, 1992: Rates of tectonic uplift in the Corinth and Megara basins, central Greece. *Tectonics*. 11(6), 1159-1167.

Collier R., D. Pantosti, G. D' Addezio, P.M. DeMartini, E. Masana and D. Sakellariou, 1998: Palaeoseismicity of the 1981 Corinth earthquake fault: seismic implications for seismic hazard. *J. Geoph. Res.*, 103, 30001-30019.

Houghton, S.L., G.P. Roberts, I.D Papanikolaou, J.M. McArthur and M.A. Gilmour, 2003: New 234U-230Th coral dates from the western Gulf of Corinth: Implications for extensional tectonics. *Geophys. Res. Lett.*, 30(19), 2013.

Hubert A., King G., Armijo R., Meyer B. and D. Papanastassiou, 1996: Fault re-activation, stress interaction and rupture propagation of the 1981 Corinth earthquake sequence. *Earth & Planetary Science Letters*. 142, 573-585.

ΙΓΜΕ, 1984: Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλ 1:50000, Φύλλο Καπαρέλλιον, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Jackson J.A., Gagnepain J., Houseman G., King G.C.P., Papadimitriou P., Soufleris C. and J. Virieux, 1982: Seismicity, normal faulting, and the geomorphological development of the Gulf of Corinth (Greece): the Corinth earthquakes of February and March 1981. *Earth and Planetary Science Letters*. 57, 377-397.

Kellett D., Kowalczyk G., Schroder B and K.P. Winter, 1976: A synoptic view on the neotectonic development of the Peloponnesian coastal regions. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*. 127, 447-465.

Leeder M.R., Seger M. and C.P. Stark, 1991: Sedimentology and tectonic geomorphology adjacent to active and inactive normal faults in the Megara Basin and Alkyonides Gulf, Central Greece. *J. Geol. Soc. London*. 148, 331-343.

Leeder M.R., Collier R.E., Abdul Aziz H., Trout M., Ferentinos G., Papatheodorou G. and E. Lyberis, 2002: Tectono-sedimentary processes along an active marine/lacustrine half-graben margin: Alkyonides Gulf, E. Gulf of Corinth, Greece. *Basin Research*. 14, 25-41.

Stiros S.C., P.A. Pirazzoli, 1998: Late Quaternary coastal changes in the Gulf of Corinth, Greece, tectonics, earthquakes, archaeology. *Gulf of Corinth Field Trip Guide Book*.

Vita-Finzi and G.C.P. King, 1985: The seismicity, geomorphology and structural evolution of the Corinth area of Greece. *Philos. Trans. R. Soc. London*. 314, 379-407.

**ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ – ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ  
ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑ (ΝΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ)**

Λαδάς Ι., Φουντούλης Ι., Μαρσιολάκος Η.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας  
[iladas@geol.uoa.gr](mailto:iladas@geol.uoa.gr), [fountoulis@geol.uoa.gr](mailto:fountoulis@geol.uoa.gr), [mariolakos@geol.uoa.gr](mailto:mariolakos@geol.uoa.gr)*

### Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις του βόρειου τμήματος του Νομού Μεσσηνίας με τη συνδυασμένη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Πολυκριτηριακών Μεθόδων Στήριξης Αποφάσεων. Εφαρμόζοντας την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία και τη διαδικασία του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού κατασκευάστηκε ένας χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας ο οποίος παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις συνθήκες ευστάθειας της περιοχής και μπορεί να χρησιμεύσει σαν ένα πρώτο βήμα στο σχεδιασμό για την αντιμετώπιση των καταστροφών από κατολισθήσεις στο Νομό Μεσσηνίας. Ιδιαίτερα ο σκοπός μας είναι να μεταδώσουμε πληροφορίες σχετικά με την ευστάθεια των πρανών της περιοχής μελέτης σε μη-γεωλόγους οι οποίοι λαμβάνουν αποφάσεις για μεγάλα κατασκευαστικά έργα και μελλοντικές αλλαγές χρήσεων γης.

**LARGE SCALE LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING GIS-  
BASED WEIGHTED LINEAR COMBINATION AND MULTICRITERIA  
DECISION ANALYSIS – A CASE STUDY IN NORTHERN MESSINIA  
(SW PELOPONNESUS, GREECE)**

Ladas I., Fountoulis I., Mariolakos I.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Dynamic, Tectonic & Applied Geology,  
[iladas@geol.uoa.gr](mailto:iladas@geol.uoa.gr), [fountoulis@geol.uoa.gr](mailto:fountoulis@geol.uoa.gr), [mariolakos@geol.uoa.gr](mailto:mariolakos@geol.uoa.gr)*

### Abstract

The purpose of this study is to assess the susceptibility of landslides at the northern part of Messinia prefecture using GIS and Multicriteria Decision Analysis. Analytic Hierarchy Process and Weighted Linear Combination method were used to create a landslide susceptibility map which provides valuable information concerning the stability conditions of the territory and may help towards the mitigation of natural landslide disasters in the study area. Particularly the intention is to transfer effectively information regarding slope stability to non-geologists who take decisions for future land use planning processes and major construction projects.

**Λέξεις κλειδιά:** Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός, Φυσικές καταστροφές, Μεσσηνία.

**Key words:** Natural disasters, Messinia, Analytic Hierarchy Process, Weighted Linear Combination.

## 1. Introduction

The study area comprises the northern part of Messinia Prefecture covering a region of about 787 square kilometers at a tectonically active area where landslides are among the most common and hazardous occurring natural hazards. Tsakona landslide, (February 2003), at the boundary between Arcadia and Messinia, is a burning example that have caused the total destruction of a part of the new highway which connects the two prefectures (Fountoulis et al., 2004). After four years the highway is still under reconstruction and the economic losses due to this landslide alone are expected to reach millions of euros.

The main drainage networks in Northern Messinia are constituted by the rivers Neda, Sellas, Amfitas and Maurozoumena. The Neda drainage network flows in the Kyparissiakos gulf having a general stream direction from east to west. At the northern part of Kyparissia Mt. Sellas river forms an orthogonal drainage network where the branches have an initial E-W direction which abruptly changes to N-S, (following the alpine fold axes) and thrusts trending and again to E-W where the main branch discharges in the Kyparissiakos gulf controlled by the Kyparissia fault zone. On the other hand Amfitas and Maurozoumena are the main fluvial systems that drains the hydrological basin of Ano Messinia joining together to form a main stream that flows out south in the lower Messinia basin.

The largest settlements (Kyparissia, Dorio, Meligalas) are arranged along the plain areas of Kyparissia, Dorio and Ano Messinia basins but there are many small villages scattered throughout the majority of the territory.

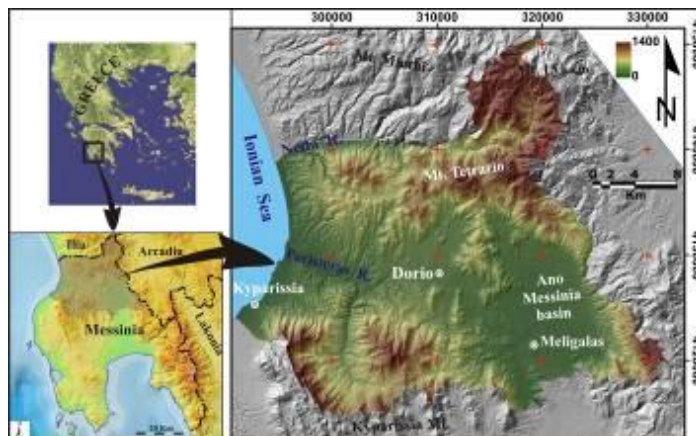


Figure 1. Location map and shaded relief image showing morphology of the study area.

## 2. Geological and structural setting

At the Northern Messinia area, two alpine geotectonic units of the external Hellenides are present, namely (i) the Tripolis unit (shallow-water carbonates, Triassic–L. Eocene and flysch, L. Eocene–E. Miocene), and (ii) the Pindos unit (pelagic limestones, radiolarites, the so-called “first flysch”, thin-bedded limestones, L. Cretaceous and flysch, Danian–Eocene). Pindos unit overthrusts Tripolis unit forming successive thrusts with movement direction from east to west.

The post alpine deposits outcropping in the study area can be distinguished into marine and terrestrial formations. The marine deposits occur only in the Kyparissia - Kalo Nero

graben and consist of marls, sandstones and conglomerates of Late Pliocene – Lower Pliocene and Early Pleistocene age (Fountoulis 1994). The terrestrial deposits mainly represent red-colored siliceous sands and conglomerates alternating with clay occurring in all basins.

The neotectonic macrostructure of the broader area (SW Peloponnesus) is characterized by the presence of large grabens and horsts bounded by wide fault zones, striking N-S and E-W. The main 1st order macro-structures in the study area, as illustrated in fig. 2, are: (a) the Kalamata-Kyparissia megagraben, (b) the Megalopolis-Lykaeon-Minithi-Tetrazio composite tectonic graben and (c) the Kyparissia Mts morphotectonic unit, (Fountoulis 1994). The kinematic evolution of these neotectonic units is complicated since block rotation differentiates the uplift and subsidence rates throughout the margins of the neotectonic blocks.

Within these 1st order neotectonic macrostructures a great number of smaller structures are present, as shown in fig. 2. These neotectonic structures of minor order are dynamically related, as they have resulted from the same stress field but they have a different kinematic evolution. This differentiation has initiated either during the first stages of their creation, or later, during their evolution (Mariolakos et al. 1995).

### 3. Methodology

In our study we implemented Multicriteria Decision Analysis (MCDA) and GIS for the preparation of a landslide susceptibility map at the northern part of Messinia prefecture as shown in the flow chart in fig. 3. Several qualitative and quantitative methods were proposed for landslide susceptibility evaluation, reviews of which are given by various researchers (Aleotti & Chowdhury 1999, Guzzetti et al. 1999, Huabin et al. 2005). In our study we apply the weighted linear combination method (WLC) for the creation of the susceptibility map constructing several thematic maps. Each map represents a landslide factor and for each factor we must identify a number of classes. As a result the territory in each thematic map is divided into **homogenous areas according to the factor's classes**. In WLC method the classes of the factors are standardized to a common numeric range and then combined by means of a weighted average.

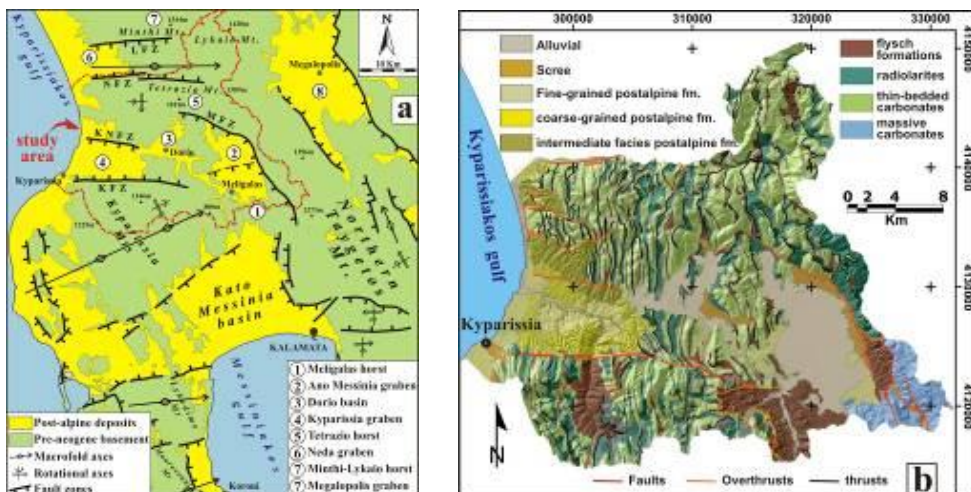


Figure 2. (a) Tectonic sketch map showing the main neotectonic macrostructures of the study area, (b) Reclassified geological map based on the geotechnical behavior of the main lithologies occurring in the study area.



In our study area ten (10) parameters were selected as controlling factors for landslide occurrence and each factor was classified into several classes. These factors are (i) slope gradient, (ii) slope curvature, (iii) slope aspect, (iv) lithology, (v) land use, (vi) soil thickness, (vii) mean annual precipitations, (viii) proximity to major faults and thrusts, (ix) distance from streams and (x) distance from main roads. The selection of these factors was based on their affinity with landslide occurrence in the study area. The influence that each factor has on the landslide occurrence is described in details in a previous study of ours (Ladas et al. 2007).

The following step was the production of the thematic maps as illustrated in fig. 3. The data used for the preparation of these layers were obtained from the Hellenic Military Geographical Service topographical sheets (scale 1/50.00), IGME geological maps (Kyparissia, Kato Figaleia, Megalopolis, Filiatra, Meligalas & Kalamata sheets, scale 1/50.000), Filiatra neotectonic map (scale 1/100.000), CORINE 2000 program land use map, Ministry of Agriculture land resource maps (Kyparissia, Kato Figaleia, Megalopolis, Filiatra, Meligalas & Kalamata sheets, scale 1/50.000), rainfall data (10 rainfall stations), personal fieldwork and ortho-photography (scale 1/5.000). The thematic maps corresponding to (a) slope gradient, (b) curvature and (c) aspect, were obtained directly in raster format from the produced DEM while the others were produced by vector format digitization that was transformed in raster format.

The next step was to assign weights and rank values to the raster layers (representing factors) and to the classes of each layer respectively. This was realized with the use of the Analytic Hierarchy Process, developed by Saaty (1980). Finally the weighted raster thematic maps with the assigned ranking values for their classes were multiplied by the corresponding weights and added up to yield a simple map where each cell has a certain landslide susceptibility index (LSI) value. This map after reclassification represents the final susceptibility map of the study area.

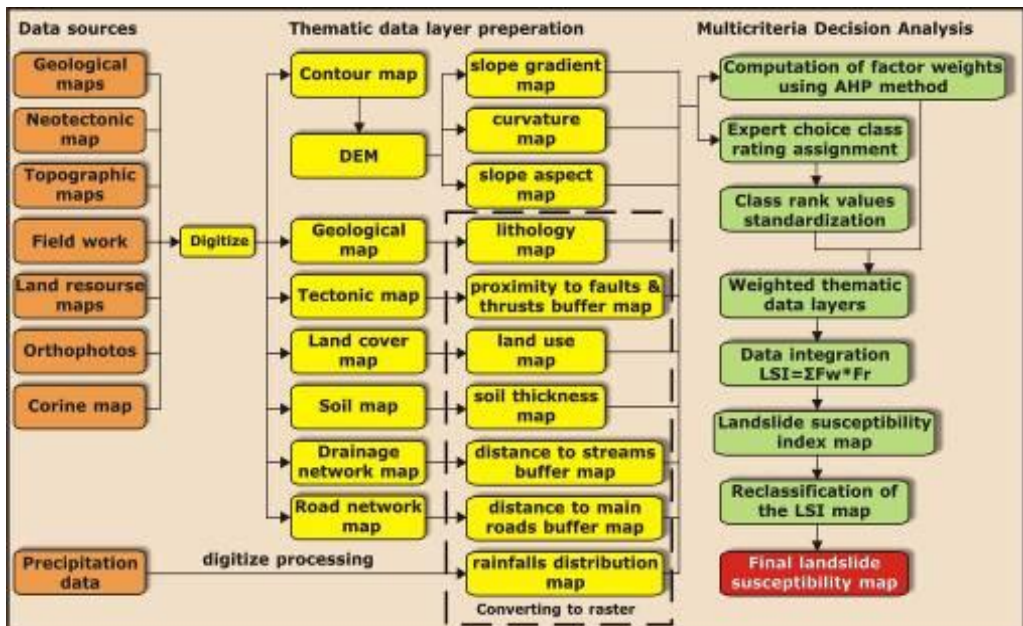


Figure 3. Flow chart showing methodology of the landslide susceptibility analysis.

#### 4. Factor Analysis

All the primary vector thematic map-layers, representing landslides controlling factors, were converted into raster format for future analysis through a vector to raster conversion procedure using a pixel size of 15x15m in order to match the spatial resolution of the DEM and to conform to the detail and resolution of the original maps (scale 1:50.000).

As slope failures represent the interplay results of various factors the influence of each factor on the occurrence of landslides is different and must be weighted. For this study, the Analytic Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (1980), was selected as the decision analysis tool for the evaluation of the relative weight of each factor in order to introduce objectivity in weight assignment (Barredo et al. 2000, Ayalew et al. 2005, Akgun et al. 2006). In AHP all factors are compared pairwise in terms of the intensity of their importance using a continuous 1 to 9 point scale shown in Table 1. The scale, used for the comparisons, enables the decision-maker to incorporate experience and knowledge intuitively and is insensitive to small changes minimizing the effect of uncertainty in evaluations.

Using Expert Choice 11 software (trial version) we build the pairwise comparison matrix needed to calculate factor weights in AHP as shown in table 1. After the pairwise score rating the consistency used to build the matrix is checked by the consistency ratio (CR). Saaty (1980) prescribes that the CR must be less than 0.1 to accept the computed weights otherwise the ratings should be re-evaluated. In Table 1 the CR is 0.07 indicating the adequate degree of consistency of the comparison matrix.

After the development of the weights, all factors were combined using the Weighted Linear Combination (WLC) method which is one of the best known and most commonly used multicriteria-GIS based methods (Malczewski 2000, Ayalew et al. 2004). In the procedure for multi-criteria analysis using WLC it is necessary not only for the weights of the factors to have a sum of 1 but also that the classes of the factors are standardized to a common numeric range. The ratings of the classes within each factor shown in Table 2 were based on the relative importance of each class obtained from field knowledge according to the obvious relationship between each conditioning factor and the distribution of the landslides in the broader area.

In our case in order to approve a uniform standardized susceptibility rating scale we use the formula in Equation 1 dividing each rank value by the maximum value for the specific given factor and afterwards multiply it by 100 in order to achieve integer numbers and get values between 0 and 100. In this way the ranked values of the classes were standardized according to the relative distance between the original and the maximum rank value and the maximum rank value for the classes of each factor is always equal to 100. The produced integer numbers ranking from 0 to 100 were assigned as relative values for each class of all the factors as shown in Table 2.

Equation 1 - Formula for rank values standardization

$$X'_{ij} = X_{ij}/X_j^{\max} * \text{standardized range.}$$

where  $X'_{ij}$  is the standardized rank value for the  $i$ th class for the  $j$ th factor,  $X_{ij}$  is the primary rank value,  $X_j^{\max}$  is the maximum rank value for the  $j$ th factor and standardized range=100.

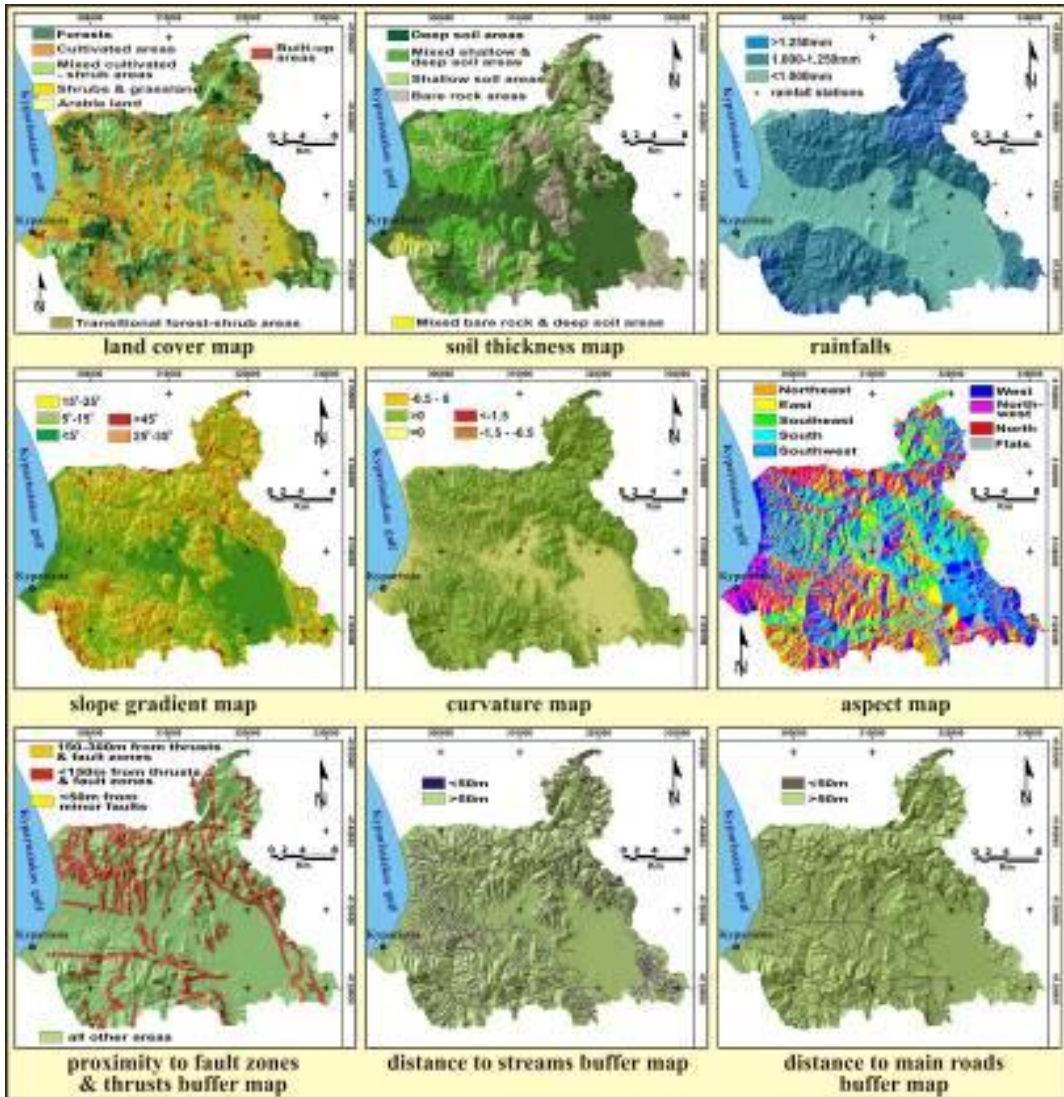


Figure 4. Thematic maps of the controlling factors used for the creation of the susceptibility map. By applying the WLC method, the weight value assigned for each factor was multiplied by the standardized rank values given to the classes and numerically added according to Equation 2 in order to produce a Landslide Susceptibility Index (LSI) map.

**Equation 2 – Evaluation of LSI**

$LSI = \sum Fw * Fr$  – (where Fw=weight of each factor and Fr=standardized rank value of each factor class).

**Table 1.** Nine-point continuous rating scale for pair-wise comparisons in AHP and matrix of factors weights evaluation.

Less important		Equally important			More important							
Extreme	Very Strong	Strongly	Moderate		Moderately	Strongly	Very. Strongly	Extreme				
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9				
1/8, 1/6, 1/4, 1/2, 2, 4, 6, 8, Intermediate values												
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	Weights
Lithology (a)		1	2	3	4	5	5	5	5	5	6	0.269
Slope gradient (b)		1/2	1	3	3	4	3	5	5	5	5	0.209
Proximity to thrusts (c)		1/3	1/3	1	3	3	3	3	3	3	5	0.137
Land use (d)		1/4	1/3	1/3	1	3	3	3	3	3	5	0.107
Soil thickness (e)		1/5	1/4	1/3	1/3	1	2	2	2	3	5	0.070
Curvature (f)		1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1	2	2	2	2	0.055
Distance from streams (g)		1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	3	5	0.050
Distance from roads (h)		1/5	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	3	5	0.050
Rainfalls (i)		1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1	3	0.033
Aspect (j)		1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/2	1/5	1/5	1/3	1	0.021

CR=0.07

**Table 2.** The weights and rank values given to the factors and their classes respectively.

Factors	weights	Classes	Rank values	Standardized ratings
Lithology	0.2690	Scree	6	100
		Flysch formations & radiolarites	5	83
		Fine-grained post-alpine formations	4	67
		Intermediate post-alpine facies	3	50
		Coarse-grained post-alpine formations.	2	33
		Thin-bedded carbonates	1	17
		Massive carbonates & alluvial	0	0
Land use	0.107	Shrubs & grassland	6	100
		Transitional forest-shrub areas	5	83
		Mixed cultivated-shrub areas	4	67
		Forests	3	50
		Cultivated areas	2	33
		Built-up areas	1	17
		Arable land	0	0
Slope gradient	0.209	Escarpments, >35°	5	100
		Steep slopes, 25°-35°	4	80
		Moderately steep slopes, 15°-25°	3	60
		Gentle slopes, 5°-15°	2	40
		Very gentle slopes, <5°	1	20
Curvature	0.055	<-1.5	4	100
		-1.5 - -0.5	3	75
		-0.5 - 0	2	50
		>0	1	25
		=0	0	0
Aspect	0.021	N & NW facing slopes	3	100
		W & SW facing slopes	2	67
		all other directions	1	33

Factors	weights	Classes	Rank values	Standardized ratings
Soil thickness	0.070	flats	0	0
		Deep soil areas	4	100
		Mixed shallow & deep soil areas	3	75
		Mixed bare rock & deep soil areas	2	50
		Shallow soil areas	1	25
Rainfalls	0.033	Bare rock	0	0
		>1.250mm	3	100
		1.000-1.250m	2	67
		<1.000mm	1	33
Proximity to thrusts/faults	0.137	<150m from thrusts & fault zones	3	100
		150-300m from thrusts & fault zones	2	67
		<50m from minor faults	1	33
		All other areas	0	0
Distance to roads	0.050	<50m	1	100
		>50m	0	0
Distance to streams	0.050	<50m	1	100
		>50m	0	0

## 5. The Susceptibility map

As a result of the adopted weighting-ranking system the landslide susceptibility index (LSI) values for each cell in the resulting susceptibility map are varying within the range of 0 and 100. Reclassification of the original susceptibility map was needed, as it contained many micro-facets, which make its interpretation difficult. The final map showing the spatial distribution of the LSI values was classified into five categories namely, "very low", "low", "moderate", "high" and "very high" as shown in Fig. 5. This classification, which divides the study area into five susceptibility zones, was based on natural breaks in the cumulative frequency histogram of LSI values. The higher the LSI is, the more susceptible the area is to landsliding. The "very low" category has LSI values below 25, the "low" from 25 to 38, the "moderate" from 38 to 49, the "high" from 49 to 61 and the "very high" above 61. Surfaces classified as being of "high" and "very high" susceptibility constitute 32,2% of the study area, surfaces of "very low" and "low" susceptibility account for 40,9% and surfaces of "moderate" susceptibility covers 26,9% of the total area.

The susceptibility map shows that the high susceptible zones were located mainly in areas where flysch formations and radiolarites outcrop on steep slopes near major fault zones and thrust surfaces. Those areas have a combination of factors that lead to a relative high landslide potential. In order to examine the potential landslide risk in respect to villages, the settlements of the study area were overlaid on the susceptibility map. This correlation suggests that 35 settlements are entirely or partly located within high and/or very high landslide potential zones.

In order to test the performance of the produced susceptibility map we compare it with the distribution of the major landslide events occurred in the study area and the predicted map showed satisfactory results. The occurrence of landslides in the moderate or low susceptibility zones is attributed to human activities or local effects i.e. the orientation of the **local discontinuities surfaces, which couldn't be incorporated in our analysis due to the extensive study area and the map scale used (1:50.000).**

As the produced susceptibility map represent an important basis for the assessment of landslide hazard over the study area it can be very useful to decision-makers for choosing suitable locations for future planning in large-scale regions. For example still undeveloped landslide prone areas can be restricted to compatible land uses. Additionally planners and developers could use the susceptibility map to identify roads and settlements subject to damage by future landslides and take drastic measures for preventing the landslide events. Moreover it can be used as planning guide of new roads constructions steering the decision makers away from areas prone to landslides or indicating that special design considerations have to be applied in road constructions through hazardous areas.

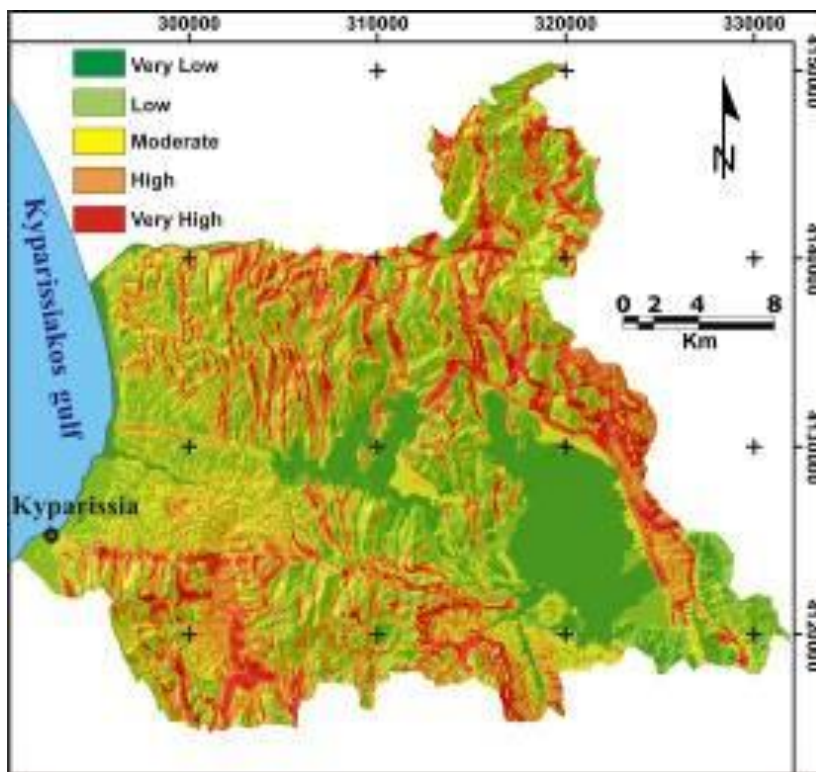


Figure 5. Reclassified landslide susceptibility map of the study area.

## References

- Akgun, A., Bulut, F., (2007). GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environ. Geol.*, 51 (8), 1377-1387.
- Aleotti, P., Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 58, 21-44.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugana, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, 73-81.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. & Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of

Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81, 432-445.

Barredo, JI, Benavides, A., Hervás, J., Van Westen, C.J., (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Trijana basin, Gran Canaria Island, Spain. *Int. J. Appl. Earth Obser. Geoinf.* 2, 9-23.

Carrarra, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., (1995). GIS-based techniques for mapping landslide hazard. In Carrara, A., Guzzetti, F., (eds) *Geographical information systems in assessing natural hazards*. Kluwer, Dordrecht, 135-176.

E.P.P.O., Neotectonic map of Greece, scale 1:100.000, Filiatra, sheet.

Fountoulis, I., (1994). Neotectonic evolution of Central-West Peloponnesus. Phd Theses, National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, *GAIA* 7, 386 p.p. (in Greek with English abstract).

Fountoulis, I., Ladas, I., Spyridonos, E. and Mariolakos, I., 2004. The role of the tectonics and hydrology for the Tsakona landslide (SW Peloponnese, Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 36 (4), 1872-1881, (in Greek with English abstract).

Guzzetti, F., Carrarra, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study. *Geomorphology*, 31, 181-216.

Hellenic Military Geographical Service publications. Topographic maps, scale 1:50.000, (Kyparissia, Nea Figaleia, Megalopolis, Filiatra, Meligalas and Kalamata sheets).

Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X., and Gonghui, W., 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography*, 29 (4), 548-567.

IGME publications, Geological map of Greece, scale 1:50.000, (Kyparissia, Kato Figaleia, Megalopolis, Filiatra, Meligalas and Kalamata sheets).

Ladas, I., Fountoulis, I., and Mariolakos, I., (2007). Using GIS and Multicriteria decision analysis in landslide susceptibility mapping – A case study in Messinia prefecture area (SW Peloponnesus, Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 40 (4), 1973-1985.

Malczewski, J., 2000. On the use of Weighted Linear Combination Method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1): 5-22.

Malczewski, J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20 (7), 703-726.

Mariolakos I., Lozios S. and Logos E. (1995). The neotectonic macrostructure of southern Peloponnesus. The earthquakes of September 13, 1986. Seminar on active faults, XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, 51-60, Athens.

Ministry of Agriculture, Forest Service publications. Soil map of Greece. Land resource maps, scale 1:50.000, (Kyparissia, Kato Figaleia, Megalopolis, Filiatra, Meligalas and Kalamata sheets).

Saaty, T.L., 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York, 350pp.

## ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΔΩΝ ΕΓΚΟΙΛΩΝ ΣΕ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Λουπασάκης Κ., Κωνσταντοπούλου Γ.

*I.G.M.E., Διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας, Λ. Μεσογείων 70, Τ.Κ. 11527 Αθήνα*

### Περίληψη

Στη νοτιοδυτική παράκτια ζώνη της νήσου Θάσου, εντός των σχηματισμών του Νεογενούς, εντοπίζονται αλληπάλλληλα έγκοιλα, προϊόντα της υποσκαφής που προκαλείται από τη μηχανική δράση των κυμάτων. Από τη μελέτη τους διαπιστώθηκε ότι οι δομές αυτές δημιουργούνται κυρίως σε θέσεις απότομων παράκτιων πρανών τα οποία δομούνται από μια υπερκείμενη αδρομερή φάση λατυποκροκαλοπαγών και μια υποκείμενη λεπτομερή φάση ψαμμιτών και ιλυολίθων. Η μεγάλη διαφορά στη διαβρωσιμότητα των δύο φάσεων, η τεκτονική και η στρωματογραφία είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των σπηλαίων. Η έντονη οικιστική δραστηριότητα και τουριστική ανάπτυξη της περιοχής καθώς και η ύπαρξη διατηρητέων κτιριακών εγκαταστάσεων στην παράκτια ζώνη, απομεινάρια της μεταλλουργικής βιομηχανίας που άνησε στην περιοχή στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, κατέστησαν επιτακτική τη διερεύνηση του μηχανισμού γένεσης αλλά και των συνθηκών ευστάθειας των συγκεκριμένων δομών.

### GENERATION MECHANISM OF CAVES IN NEOGENE FORMATIONS – EVALUATION OF STABILITY CONDITIONS

Loupasakis C., Konstantopoulou G.

*I.G.M.E., Engineering Geology Department, Messoghion Av. 70, GR. 115 27 Athens*

### Abstract

Along the southwestern coastline of Thasos Island, within the limits of the Neogene formations, several caves were located. These caves are the products of the erosional action of the waves and they were excavated along steep slopes composed of an overlying coarse-grain phase (massive conglomerates) and an underlying fine-grain phase (sandstones, silty sandstones and silty clays) of the Neogene. The main parameters affecting the form of the caves are the differences on the erosion degree of the phases, as well as the tectonic fracturing and the stratigraphy of the formations. The study of the generation mechanism and stability conditions of these caves was imposed by the intensive construction activity and the increasing tourism development of the area combined with the existence of several industrial monuments along the coastline.

**Λέξεις κλειδιά:** νεογενείς σχηματισμοί, σπηλαιώδη έγκοιλα, διαβρωτική δράση κυμάτων, ευστάθεια σπηλαίων.

**Key words:** neogene formations, caves, wave action, cave stability.

### 1. Εισαγωγή

Τα έγκοιλα που εντοπίζονται εντός των Νεογενών σχηματισμών της νοτιοδυτικής παράκτιας ζώνης της νήσου Θάσου, στην ευρύτερη περιοχή των Λιμεναρίων, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της ιδιαιτερότητας του μηχανισμού γένεσής τους αλλά και λόγω των γεωτεχνικών προβλημάτων που τα συνοδεύουν. Η μεγάλη έκταση που καταλαμβάνουν οι νεογενείς σχηματισμοί και η οποία ανέρχεται στο 24% της συνολικής έκτασης της Ελληνικής επικράτειας (Koukis et.al., 2005), καθιστά απαραίτητη τη μελέτη των δομών αυτών καθώς τα



χαρακτηριστικά τους μπορούν να εμφανίζονται σε πληθώρα ανάλογων περιοχών.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναφέρονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της παράκτιας ζώνης και τα γεωλογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, αναλύονται οι επιμέρους φάσεις της διαδικασίας γένεσης και εντοπίζονται τα γεωτεχνικά προβλήματα των δομών. Το σύνολο των δεδομένων αυτών παρέχει σαφή εικόνα για τις συνθήκες που χαρακτηρίζουν τα έγκοιλα της περιοχής μελέτης και παρέχουν τη δυνατότητα διατύπωσης σαφών προτάσεων για την αντιμετώπιση των γεωτεχνικών προβλημάτων.

## 2. Θέση – μορφολογία

Η νήσος Θάσος βρίσκεται στο βόρειο Αιγαίο και ανήκει διοικητικά στο νομό Καβάλας (Σχήμα 1). Το μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Θάσου είναι ο Λιμένας στο βόρειο άκρο της, όπου και η έδρα του Δήμου Θάσου, ενώ στο νότιο τμήμα του νησιού βρίσκεται ο δεύτερος μεγαλύτερος οικισμός της Θάσου, τα Λιμενάρια.

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται από το ανατολικό άκρο των Λιμεναριών έως τον παρακείμενο κόλπο των Μεταλλειών, κατά μήκος της παράκτιας ζώνης. Στη συγκεκριμένη περιοχή αναπτύσσονται αλληπάλληλες μικρές επίμηκες χερσόνησοι, με διεύθυνση ανάπτυξης περίπου Β-Ν, οι οποίες εναλλάσσονται με κολπίσκους μικρής έκτασης, οριοθετημένους από την ενδοχώρα με κατακόρυφα πρηνή.

Το σύνολο των προαναφερόμενων χερσονήσων και πρηνών δομούνται από δύο διακριτές λιθολογικές φάσεις των νεογενών, μία λεπτομερή και μία αδρομερή. Στις θέσεις όπου η λεπτομερής φάση υπόκειται της αδρομερούς εντοπίζονται σπηλαιώσεις ποικίλων διαστάσεων. Εντός της περιοχής μελέτης έχουν εντοπιστεί τέσσερα σπήλαια τα οποία βρίσκονται σε διάφορα στάδια της διαδικασίας γένεσής τους.



Σχήμα 1. Δορυφορική φωτογραφία της νήσου Θάσου στην οποία επισημαίνεται η θέση της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2. Πανοραμική αεροφωτογραφία της περιοχής Λιμεναριών στην οποία παρουσιάζεται το νοτιοανατολικό τμήμα της χερσονήσου, στην κορυφή της οποίας δεσπόζει το «Παλατάκι». Επισημαίνονται οι θέσεις σπηλαιών.

Από το σύνολο των σπηλαιώσεων – υποσκαφών μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτές που εντοπίζονται στη χερσόνησο που βρίσκεται στις ανατολικές παρυφές του οικισμού των Λιμεναριών. Η χερσόνησος αυτή, με μέγιστο υψόμετρο τα 32 μέτρα, φιλοξενεί στην επίπεδη κορυφή της το «Παλατάκι» (Σχήμα 2), ένα μεγάλο διώροφο κτίριο των αρχών του 20ου αιώνα, διοικητικό κέντρο του μεταλλείου καλαμίνας που λειτούργησε στη θέση «Βούβες» από το 1903 έως το 1930. Η ύπαρξη των συγκεκριμένων σπηλαιώσεων προκάλεσε ερωτήματα για τον κίνδυνο εκδήλωσης αστοχιών στα πρηνή της εισόδου αλλά και εδαφικών υποχωρήσεων λόγω καταρρεύσεων οροφής, οι οποίες θα έπλητταν το βιομηχανικό μνημείο.

Το μεγαλύτερο από τα έγκοιλα αυτά βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της χερσονήσου έχει μήκος 62,7 m και το μέγιστο πλάτος του φτάνει τα 19,4 m.

### 3. Γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας

Η Θάσος ανήκει γεωλογικά στη Μάζα Ροδόπης και δομείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα, που περιλαμβάνουν εναλλαγές μαρμάρων, σχιστολίθων, γνευσίων και δολομιτών, ενώ οι νεότεροι σχηματισμοί έχουν περιορισμένη ανάπτυξη (Μουντράκης, 1985). Αναλυτικότερα, στη στρωματογραφική δομή της Θάσου συμμετέχουν οι ακόλουθοι σχηματισμοί από τους νεότερους προς τους παλαιότερους:

- Τεταρτογενείς σχηματισμοί: περιλαμβάνουν πρόσφατες αποθέσεις χειμάρρων, προσχωσιγενή υλικά καθώς και πλευρικά κορηήματα. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν περιορισμένη ανάπτυξη και εντοπίζονται κυρίως κοντά στην παράκτια ζώνη.
- Νεογενείς σχηματισμοί: εμφανίζονται μόνο στο νοτιοδυτικό τμήμα της Θάσου, στην ευρύτερη περιοχή των Λιμεναρίων και περιλαμβάνουν κυρίως αδρομερή λατυποκροκαλοπαγή σε εναλλαγές με ψαμμίτες και λεπτές αργιλικές ενστρώσεις (Σχήμα 3).
- Μεταμορφωμένο Σύστημα: δομεί το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού και περιλαμβάνει ενότητες ασβεσπιτικών και δολομιτικών μαρμάρων συνολικού πάχους 1000m περίπου που εναλλάσσονται με γνεύσιους και λεπτινίτες.

Η περιοχή έρευνας δομείται κυρίως από νεογενείς σχηματισμούς, που τοπικά καλύπτονται από τεταρτογενείς αποθέσεις ή υλικά του μανδύα αποσάθρωσης (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδος, Φύλλο ΘΑΣΟΣ (Ζάχος Σ., 1982).  
[1. Σύγχρονες προσχώσεις, 2. Πρόσφατες αποθέσεις χειμάρρων, 3. Λατυποκροκαλοπαγή, 4. Γνεύσιοι Τούμπας, 5. Μάρμαρα Βουβίων, 6. Μάρμαρα Κάστρου, 7. Ενστρώσεις σχιστολίθων εντός μαρμάρων Κάστρου, 8. Σχιστόλιθος Αγ. Ελευθερίου]



Σχήμα 4. Διακρίνεται η καθ' ύψος διεύρυνση του σπηλαιού με την κατάπτωση του τμήματος της οροφής, μέχρι την επαφή των δύο φάσεων (2η φάση). Πρανές στα βορειοδυτικά της ράμπα φόρτωσης των μεταλλείων.

Στους Νεογενείς σχηματισμούς, ηλικίας Ανώτερου Μειοκαινίου, εντοπίζονται δύο διακριτές λιθολογικές φάσεις, μία αδρομερής και μία λεπτομερής. Από τις φάσεις αυτές, στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης, η αδρομερής υπέρκειται της λεπτομερούς. Τα χαρακτηριστικά των επιμέρους φάσεων είναι τα εξής:

- Αδρομερής φάση: Καστανότεφρου έως καστανέρυθρου χρώματος, άστρωτα λατυποκροκαλοπαγή, ελαφρά ή ελάχιστα αποστρωγγυλεμένα. Τα αδρομερή είναι πολύμικτα, από κροκαλολατύπες κύρια καλαμινούχας, ανθρακικής, γνευσιακής και αμφιβολιτικής σύστασης, ενώ το συνδεδειγμένο υλικό είναι ασβεστοψαμμιτικό έως ασβεστομαργαϊκό. Το μέγεθος των λατυποκροκαλών κυμαίνεται από λίγα έως μερικές δεκάδες εκατοστά, συνηθέστερα όμως μεταξύ 3cm και 10cm. Το πέτρωμα είναι γενικά συμπαγές και συνεκτικό, σε ελαφρά αποσαθρωμένη κατάσταση και η συνέχειά του διακόπτεται από ανοιχτές διακλάσεις και διαρρήξεις, που το καθιστούν δευτερογενώς υδροπερατό.
- Λεπτομερής φάση: Κυκλοθεματικές αποθέσεις αποτελούμενες από εναλλαγές καστανοκίτρινων ιλυούχων ψαμμιτών και ψηφιτοπαγών με λεπτότερους ορίζοντες ιλυολίθων και λίγες φακοειδείς ενστρώσεις κροκαλοπαγών πάχους 30cm έως 1m. Τα επιφανειακά στρώματα εμφανίζουν κατά κανόνα μέτρια έως ισχυρή αποσάθρωση που συνδέεται τόσο με τις συχνές εναλλαγές ετερογενών στρωμάτων όσο και με τη δράση του νερού. Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής παρουσιάζουν σαφή στρώση με κυματοειδή ανάπτυξη και μικρή γωνία κλίσης, συνήθως προς τα ανατολικά. Οι οριζόντες των ψαμμιτών και κροκαλοπαγών είναι γενικά σφιχτοί και ανθεκτικοί στη διάβρωση, ενώ οι λεπτομερείς αργιλο-ιλυολιθικές ενστρώσεις είναι μαλακές και ευκολοδιάβρωτες.

#### 4. Μηχανισμός γένεσης των σπηλαίων

Η γνώση του μηχανισμού γένεσης των σπηλαίων που εντοπίζονται στα Νεογενή της περιοχής μελέτης είναι απαραίτητη προκειμένου να διερευνηθούν οι συνθήκες ευστάθειας τόσο των υπαρχόντων σπηλαίων, όσο και των πρυνών που περιβάλλουν τις εισόδους τους.

Από τη μελέτη των εγκοίλων που εντοπίστηκαν στην παράκτια ζώνη της ευρύτερης περιοχής μελέτης διαπιστώθηκε ότι οι δομές αυτές δημιουργούνται κυρίως στις θέσεις όπου τα πρυνή δομούνται και από τις δύο φάσεις των νεογενών. Μάλιστα, η γένεση αυτών των δομών ευνοείται στις περιοχές όπου η λεπτομερής φάση υπόκειται της αδρομερούς.

Η μεγάλη διαφορά στη διαβρωσιμότητα των δύο φάσεων, η τεκτονική, η στρωματογραφία αλλά και η διεύθυνση δράσης των κυμάτων είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη μορφή των σπηλαίων. Πιο συγκεκριμένα, οι φάσεις γένεσης των σπηλαίων είναι οι εξής (Κωνσταντοπούλου & Λουπασάκης, 2005):

- Φάση 1η: Η διαβρωτική δράση των κυμάτων υποσκάπτει τις βάσεις των πρυνών δημιουργώντας μικρά έγκοιλα, εντός της υποκείμενης λεπτομερούς φάσης των Νεογενών.
- Φάση 2η: Η υποσκαφή της βάσης των πρυνών και το αντίστοιχο έλλειμμα στήριξης που δημιουργείται προκαλεί την αποκόλληση τμημάτων της οροφής του εγκοίλου. Τα τμήματα αυτά πέφτουν στο δάπεδο του εγκοίλου και διαβρώνονται σταδιακά από τη δράση των κυμάτων. Με τη διαδικασία αυτή το έγκοιλο διευρύνεται καθ' ύψος μέχρι την επαφή των δύο φάσεων. Από το σημείο αυτό και μετά η διεύρυνση καθ' ύψος επιβραδύνεται σημαντικά γιατί η αδρομερής φάση των νεογενών παρουσιάζει καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά και δεν εμφανίζει συχνές καταπτώσεις.
- Φάση 3η: Η διαδικασία της υποσκαφής συνεχίζεται στη βάση των τοιχωμάτων του σπηλαίου. Το σπήλαιο επεκτείνεται σε βάθος κατά τη διεύθυνση των κύριων τεκτονικών ασυνεχειών αλλά και παράλληλα στη διεύθυνση δράσης των κυμάτων. Ταυτόχρονα με τη σε βάθος επέκταση των εγκοίλων λαμβάνει χώρα και η καθ' ύψος διεύρυνσή τους με την κατακρήμνιση των τμημάτων της οροφής που δομούνται από τη λεπτομερή φάση των νεογενών. Ουσιαστικά στη φάση αυτή επαναλαμβάνονται οι διαδικασίες των δύο προηγούμενων φάσεων εντός του χώρου του εγκοίλου.

Χαρακτηριστικές εικόνες από τις φάσεις γένεσης των σπηλαίων παρουσιάζονται στα σχήματα 4, 5 και 6. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 4 απεικονίζεται η είσοδος εγκοίλου που βρίσκεται σε κολπίσκο βορειοδυτικά του κόλπου των Μεταλλείων, κάτω από την παλιά ράμπα

φόρτωσης του μεταλλεύματος. Το συγκεκριμένο έγκοιλο βρίσκεται στη 2η φάση της διαδικασίας γένεσης. Δηλαδή, η υποσκαφή στη βάση του πρανού έχει προκαλέσει την αποκόλληση της οροφής και την καθ' ύψος επέκταση του σπηλαιίου. Σε μεταγενέστερο στάδιο αναμένεται ο όγκος που έχει φράξει την είσοδο του σπηλαιίου να διαβρωθεί από τη δράση των κυμάτων προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι διεργασίες της τρίτης φάσης.

Στη φωτογραφία του σχήματος 5 διακρίνεται η είσοδος εγκοίλου στο οποίο έχει ολοκληρωθεί η 2η φάση της διαδικασίας γένεσης. Η κατασκευή του λιμενοβραχίονα ανέκοψε τη δράση των κυμάτων και απέτρεψε την σε βάθος επέκταση του σπηλαιίου. Το συγκεκριμένο σπήλαιο εντοπίζεται στα βορειοδυτικά πρανή της χερσονήσου που φιλοξενεί το "Παλατάκι" (Σχήμα 2) και αδιαμφισβήτητα η επέκτασή του θα προκαλούσε σοβαρά προβλήματα στην ευστάθεια της επιφάνειας θεμελίωσης του κτιρίου.

Τέλος, στη φωτογραφία του σχήματος 6 παρουσιάζεται η είσοδος του υπερμεγέθους εγκοίλου που βρίσκεται στα νοτιοανατολικά πρανή της προαναφερόμενης χερσονήσου, έγκοιλο για το οποίο είχαν τεθεί σοβαρά ερωτήματα για το βαθμό στον οποίο επηρεάζει την ευστάθεια του κτιρίου. Στο συγκεκριμένο σπήλαιο έχουν λάβει χώρα αλληπάλληλοι κύκλοι σε βάθος και καθ' ύψος διεύρυνσης με αποτέλεσμα το βάθος του να φτάνει τα 62,7 m ενώ το μέγιστο πλάτος του τα 19,4 m. Η θέση του σπηλαιίου αυτού εντοπίζεται στη φωτογραφία του σχήματος 2. Στα δυτικά της εισόδου του προαναφερόμενου σπηλαιίου εντοπίζεται δευτερεύουσας σημασίας έγκοιλο, η διεύρυνση του οποίου παρουσιάζει υστέρηση εξαιτίας του προσανατολισμού του σε διεύθυνση διαφορετική από την κύρια διεύθυνση δράσης των κυμάτων.



*Σχήμα 6. Είσοδος υπερμεγέθους σπηλαιίου βάθους 62 μέτρων το οποίο εντοπίζεται στα νοτιοανατολικά της χερσονήσου που φιλοξενεί το "Παλατάκι". Το σπήλαιο αυτό είναι το αποτέλεσμα αλληπάλληλων κύκλων σε βάθος και καθ' ύψος διεύρυνσης.*



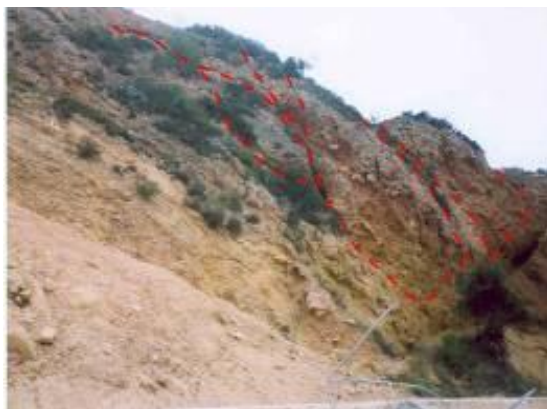
*Σχήμα 5. Διακρίνεται η είσοδος εγκοίλου που εντοπίζεται στο βορειοδυτικό πρανές της χερσονήσου που φιλοξενεί το "Παλατάκι". Το σπήλαιο αυτό βρίσκεται στο τέλος της 2ης φάσης της διαδικασίας γένεσης. Τα υλικά που αποκολλήθηκαν από την οροφή έχουν διαβρωθεί αλλά η κατασκευή του λιμενοβραχίονα απέτρεψε την περαιτέρω σε βάθος επέκταση του εγκοίλου.*

## 5. Διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των σπηλαίων

Κατά την ανάλυση των συνθηκών ευστάθειας των συγκεκριμένων εγκοίλων θα πρέπει να εξεταστεί ο κίνδυνος αποκόλλησης βραχοσφηνών από τμήματα της οροφής, ο κίνδυνος εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων στην επιφάνεια λόγω εκτεταμένων καταρρεύσεων της οροφής αλλά και ο κίνδυνος εκδήλωσης κατολισθήσεων στα πρανή της εισόδου.

Ο μηχανισμός γένεσης των σπηλαίων συνεπάγεται την έντονη μηχανική καταπόνηση της οροφής αλλά και των τοιχωμάτων του σπηλαίου. Όπως προαναφέρθηκε κατά την περιγραφή των φάσεων γένεσης των εγκοίλων, η αποκόλληση τμημάτων της οροφής κατά μήκος του ορίου των δύο φάσεων των Νεογενών αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθ' ύψος διεύρυνσής τους. Ο μηχανισμός αυτός συνεπάγεται τον κίνδυνο ύπαρξης επικρεμμένων τεμαχίων σε όλη την έκταση του εσωτερικού των σπηλαίων. Τα τεμάχια αυτά μπορεί να έχουν διαστάσεις μερικών τετραγωνικών μέτρων και πάχος το οποίο να εξαρτάται από την απόσταση της οροφής από το όριο των δύο φάσεων.

Σε δομές αυτού του είδους ο κίνδυνος εκδήλωσης εκτεταμένων καταρρεύσεων σε μεγάλα τμήματα της οροφής είναι υπαρκτός και εξαρτάται από το πάχος της υπερκείμενης αδρομερούς φάσης των Νεογενών καθώς και από την ύπαρξη μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών ή ρηγμάτων που να τη διατέμνουν. Ο κίνδυνος αυτός είναι εντονότερος κοντά στις εισόδους των εγκοίλων καθώς στις θέσεις αυτές το πάχος των υπερκείμενων μειώνεται ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και η μηχανική καταπόνηση της βραχομάζας. Ωστόσο, από την αυτοψία που πραγματοποιήθηκε στα τέσσερα έγκοιλα που εντοπίστηκαν εντός της περιοχής μελέτης δεν υπάρχει κίνδυνος εκτεταμένων εδαφικών υποχωρήσεων. Στα τρία από αυτά, η προβολή τους στην επιφάνεια του εδάφους είναι μικρών διαστάσεων, καθώς βρίσκονται στα πρώτα στάδια της διαδικασίας γένεσής τους. Ενώ στο υπερμέγεθες έγκοιλο που εντοπίζεται στα νοτιοανατολικά της χερσονήσου με το "Παλατάκι", το πάχος των υπερκείμενων είναι μεγάλο, ενώ ταυτόχρονα δε φαίνεται να διατέμνεται από εκτεταμένες τεκτονικές δομές. Επιπροσθέτως, από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον προσανατολισμό του άξονα του συγκεκριμένου σπηλαίου αποδεικνύεται πως δεν προσεγγίζει και δεν υποσκάπτει τη θεμελίωση του διατηρητέου κτιρίου. Επομένως αίρονται όλα τα σχετικά ζητήματα για τις επιπτώσεις του στην ασφάλεια του μνημείου. Ασχέτως του γεγονότος ότι το συγκεκριμένο σπήλαιο αυτοϋποστηρίζεται, παρά τις δυναμικές φορτίσεις που δέχεται από τη δράση των κυμάτων, στην περίπτωση που αποφασιστεί η ανάπτυξη δραστηριοτήτων στην περιοχή που υπέρκειται αυτού οι συνθήκες ευστάθειας του θα πρέπει να διερευνηθούν επισταμένως με την εκπόνηση ειδικής γεωτεχνικής μελέτης.

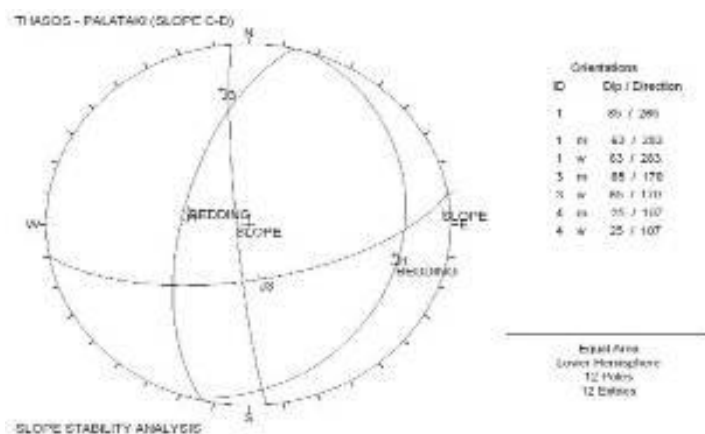


*Σχήμα 7. Επισημαίνονται οι επικρεμόμενες βραχοσφήνες στην είσοδο του εγκοίλου που εντοπίζεται στο βορειοδυτικό πρανάς της χερσονήσου που φιλοξενεί το "Παλατάκι".*

Οι έντονες υποσκαφές που διαμορφώνουν τις εισόδους των σπηλαίων αλλά και οι διευρύνσεις των ασυνεχειών από τη δράση των κυμάτων, δημιουργούν συνθήκες ευνοϊκές για την εκδήλωση κατολισθήσεων με τη μορφή ολίσθησης βραχοσφηνών στις εισόδους όλων των σπηλαίων. Τα προβλήματα αυτά είναι εντονότερα στα πρανά που διατέμνονται από πυκνά

συστήματα ασυνεχειών ή από εκτεταμένες τεκτονικές δομές.

Ως παράδειγμα, στη φωτογραφία του σχήματος 7 επισημαίνονται οι βραχοσφήνες που διαμορφώνονται στα πρανή που περιβάλλουν την εισόδο του σπηλαίου που εντοπίζεται στα βορειοδυτικά της χερσονήσου με το ``Παλατάκι``. Από την καταγραφή των ασυνεχειών προέκυψε ότι στο πρανές της εισόδου με στοιχεία προσανατολισμού 265/85, ανατέλλουν οι άξονες των βραχοσφηνών που ορίζονται από τις ασυνέχειες των συστημάτων J1: (283/63) και J3: (170/65) (Σχήμα 8). Επομένως δεδομένης και της υποσκαφής που παρατηρείται στη βάση του πρανούς υπάρχει κίνδυνος ολισθήσεων. Ο κίνδυνος αυτός μετριάζεται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της αδρομερούς φάσης των Νεογενών. Δηλαδή η έντονη αδρότητα των υλικών αυτών προσδίδει μεγάλες τιμές στη γωνία τριβής και κατά συνέπεια μεγάλες τιμές διατμητικής αντοχής. Παρόλα αυτά στο συγκεκριμένο πρανές υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης ολισθήσεων, κυρίως κατά την επιβολή σεισμικών φορτίσεων ή μετά από την παρατεταμένη δράση διαβρωτικών παραγόντων.



Σχήμα 8. Στερεογραφική προβολή των κύριων επιφανειών που επηρεάζουν την ευστάθεια του πρανούς της εισόδου του σπηλαίου, που εντοπίζεται στο βορειοδυτικό πρανές της χερσονήσου με το "Παλατάκι".

## 6. Συμπεράσματα - προτάσεις

Συνεκτιμώντας το μηχανισμό γένεσης των εγκοίλων καθώς και τις γεωτεχνικές τους παραμέτρους προκύπτει, ότι η έντονη μηχανική καταπόνηση των σχηματισμών, εξαιτίας της δυναμικής φόρτισης των κυμάτων, δημιουργεί έγκοιλα τα οποία μπορούν να αποκτήσουν αξιοσημείωτες διαστάσεις και τα οποία παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα αστάθειας. Τα προβλήματα αυτά επιτείνονται με τη διεύρυνση των εγκοίλων. Επομένως, καθώς τα σπήλαια αυτά δεν παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον από άποψη φυσικής ομορφιάς, το κύριο μέτρο για την αποτροπή της επιδείνωσης των γεωτεχνικών προβλημάτων θα πρέπει να είναι η διακοπή των γενεσιουργών διαδικασιών τους. Τα μέτρα που προτείνονται για τη μείωση των κινδύνων που συνεπάγεται η ύπαρξη αλλά και η διεύρυνση των δομών αυτών είναι τα εξής:

- Κατασκευή κυματοθραύστη μπροστά από τις εισόδους των εγκοίλων. Η ενέργεια αυτή θα ανακόψει τη διεύρυνσή τους και θα αποτρέψει την εκδήλωση αστοχιών που οφείλονται στη δυναμική καταπόνηση της βραχομάζας.
- Απαγόρευση της εισόδου στα σπήλαια. Η απαγόρευση της εισόδου θα πρέπει να εξασφαλιστεί

με την τοποθέτηση φράχτη. Ενώ στην περίμετρο της εισόδου θα πρέπει τα τοποθετηθούν πινακίδες για την επισήμανση του κινδύνου καταπτώσεων βράχων.

- Εκπόνηση γεωτεχνικών μελετών στην περίπτωση ανάπτυξης δραστηριοτήτων στις περιοχές που υπέρκειται των εγκοίλων αλλά και στις περιοχές εμπροσθεν των πρανών της εισόδου. Ο κίνδυνος εκδήλωσης εκτεταμένων εδαφικών υποχωρήσεων αλλά και ο κίνδυνος εκδήλωσης κατολισθήσεων μπορεί να απαλειφθεί με την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων αντιστήριξης, όπως μεταλλικά πλαίσια, τοιχία αντιστήριξης, αγκυρώσεις, κ.α.

Από τα προαναφερόμενα γίνεται σαφές ότι η γνώση της γεωλογικής δομής αλλά και του μηχανισμού γένεσης των δομών αυτών παίζει καθοριστικό ρόλο στον εντοπισμό των όποιων τεχνικογεωλογικών - γεωτεχνικών προβλημάτων καθώς και στην επιλογή των μέτρων αντιμετώπισής τους.

### **Βιβλιογραφία**

Ζάχος, Σ. (1982). Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο ΘΑΣΟΣ, Κλίμακας 1:50.000, εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Κωνσταντοπούλου Γ., Λουπασάκης Κ., (2005), Τεχνικογεωλογική μελέτη κατολίσθησης στη θέση "Παλατάκι" Λιμεναρίων Θάσου, Αδημοσίευτη Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., σελ. 66.

Koukis G, Sabatakakis N, Nikolaou N, Loupasakis C. 2005. Landslide hazard zonation in Greece. In: Sassa K, Fukuoka H, Wang F, Wang G (eds). Proceedings of open symposium on landslide risk analysis and sustainable disaster management in the First General Assembly of International Consortium on Landslides, Springer-Verlag, Berlin, pp 291-296.

Μουντράκης Δ., (1985), Γεωλογία της Ελλάδος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

## ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΤΗΣ ΠΥΛΙΑΣ (ΝΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ) ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 18.000 ΧΡΟΝΙΑ

Μαριολάκος Η., Λαδάς Ι.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Δυναμική – Τεκτονικής – Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,  
mariolakos@geol.uoa.gr, iladas@geol.uoa.gr*

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε την εξέλιξη των ακτογραμμών και της μορφολογίας της χερσονήσου της Πυλίας σε τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους: (i) 18.000 χρόνια π.α.σ., (ii) 12.000 χρόνια π.α.σ. και (iii) 8.000 χρόνια π.α.σ.. Πριν από 18.000 χρόνια, κατά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, η στάθμη της θάλασσας, εκτιμάται ότι πρέπει να βρισκόταν περί τα 125m χαμηλότερα από ότι σήμερα, ενώ πριν από 12.000 χρόνια περί τα 70m και πριν από 8.000 χρόνια περί τα 20m χαμηλότερα. Στην περιοχή μελέτης η συνεχής άνοδος της στάθμης της θάλασσας μετά το 18.000 π.α.σ. είχε σαν αποτέλεσμα την ολοκληρωτική κατάκλυση μεγάλων τμημάτων της ξηράς και τη βαθμιαία μετατροπή της σε μικρότερα και μεγαλύτερα νησιά. Οι μεγάλες αυτές αλλαγές του φυσικογεωγραφικού περιβάλλοντος, που εξελίσσονται αργά μεν αλλά σταθερά σε ολόκληρο τον Αιγαϊακό χώρο, έπαιξαν κυρίαρχο ρόλο στη διαμόρφωση από τον προϊστορικό κάτοικο του Ελλαδικού χώρου των διαδοχικών γενεών των Θεών της Ελληνικής Θεογονίας και των ηρώων της Ελληνικής Μυθολογίας.

### THE EVOLUTION OF THE COASTLINES AND THE MORPHOLOGY OF PYLIA PENINSULA (SW PELOPONNESUS, GREECE) DURING THE LAST 18.000 YEARS

Mariolakos I., Ladas I.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology,  
mariolakos@geol.uoa.gr, iladas@geol.uoa.gr*

### Abstract

Through this paper, the evolution of coastlines and morphology of Pylia peninsula (SW Peloponnesus) is presented in three different time periods: (i) 18.000 years BP, (ii) 12.000 years BP and (iii) 8.000 years BP. At 18.000 years ago, that is during the end of the last glacial period, the sea level is estimated to have been approximately 125 meters lower than present, while at 12.000 years BP was 70 meters lower and at 8000 year BP 20 meters lower than present. Taking into account all the above mentioned, after the construction of palaeo-geographic maps, we get a picture of the study area much different than the present one. The continuous transgression of the land by seawater, after the end of the last glacial period, must have caused a great social and psychological stress to the prehistoric inhabitants of the Aegean area that it became the reason for the creation of their gods and heroes. Furthermore the knowledge of the environmental changes of the past leads to environmental realization, resulting in a more rational usage of natural resources.

**Λέξεις κλειδιά:** Παλαιογεωγραφία Μεσσηνίας, μεταβολές ακτογραμμών, Πυλία.

**Key words:** Messinian Paleogeography, coastline changes, Pylia.



## 1. Introduction

The Pyliia peninsula consists the south-westernmost part of Peloponnesus. It is considered (tectonically and seismically) as one of the most active areas in Greece, due to its proximity to the Hellenic trench which represents a major subduction zone. It exhibits a composite morphotectonic structure due to the existence of numerous small morphological units of various directions (Fig. 1). The dominant mountainous bulges are Lykodimo (960m) at its north-eastern section, exhibiting a characteristic conical shape and Mavrovouni (518m) at the south-eastern part of the peninsula, which exhibits an elongated structure of NW-SE direction.

## 2. Geological and structural setting

The alpine nappe sequence of Pyliia peninsula is comprised of a relatively autochthonous unit, the Gavrovo-Pylos unit, and an allochthonous one, the Pindos unit. The Gavrovo-Pylos unit consists of neritic carbonates and flysch and outcrops at the western part of the peninsula. On the other hand the Pindos unit occupies the eastern part of the peninsula forming a classic nappe, which has overthrust Gavrovo - Pylos unit (Fig. 2). Pindos unit is represented with all its wellknown characteristic formations namely: the Triassic clastic formation at the bottom of the sequence, followed by pelagic limestones (Upper Triassic-Lower Jurassic), radiolarites and the so-called "first flysch" (Upper Jurassic-Lower Cretaceous), thin-bedded limestones (Upper Cretaceous) and Eocene flysch. The whole unit is intensively folded and faulted, forming successive thrusts with a general propagation direction from east to west.

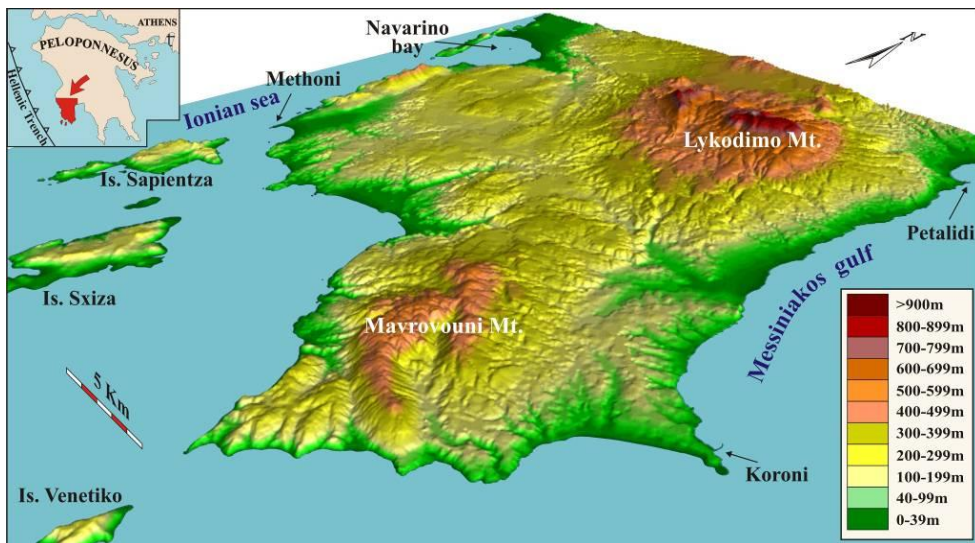


Figure 1. Location map and perspective view from the SE of the shaded relief image showing morphology of Pyliia peninsula, (azimuth of observation N130o with 45o inclination angle from the horizon).

The post alpine deposits can be distinguished into (i) marine, (ii) terrestrial and (iii) lacustrine formations. The marine deposits consist of marls, sandstones and polymictic conglomerates. They occur in all basins of Pyliia peninsula but their total thickness varies from place to place. In the Falanthi basin the thickness of these sediments has been estimated, based on drilling data, as 200m at a location near the city of Koroni. In this basin

the upper sequences of the marine deposits are of Early Pleistocene age or younger (Mariolakos et al. 2001). In the rest of Pylia peninsula basins (Pylos, Pydassos and Achladochori basins) according to previous studies marine sedimentation took place during Late Pliocene (Koutsouveli 1987). In our opinion, it also continued during the Early Pleistocene as indicated in the adjacent areas of Trifilia and Lower Messinia basin by palaeontological studies (Marcopoulou-Diacantoni et al. 1989, 1991).

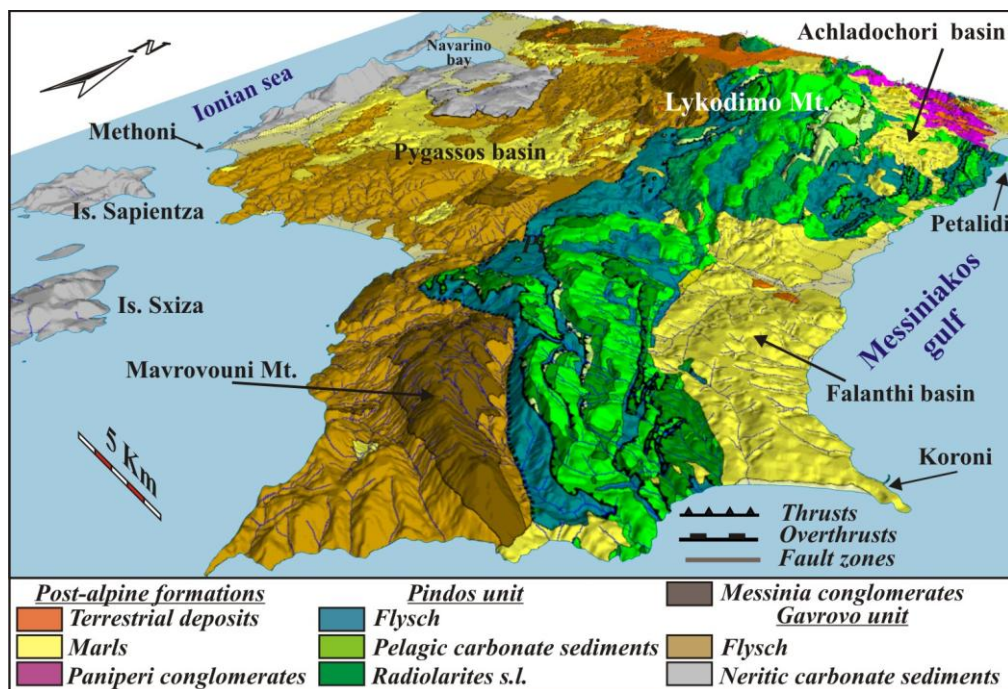


Figure 2. Perspective view of a simplified 3D geological map of Pylia peninsula. The view of observation is towards NW, (azimuth of observation N140o) with 35o inclination angle. Illumination is from the east.

The overlying continental deposits consist mainly of red-coloured siliceous sands and sandstones and of polymictic conglomerates which should be of Middle and Late Pleistocene age. It is important to mention that these conglomerates consist of pebbles originated not only from the alpine formations outcropping at Pylia peninsula but also from the metamorphic rocks of Taygetos Mt., that is from schists, quartzites and marbles, (Mariolakos et al. 2001). The Holocene is represented by alluvial deposits and talus scree. Lacustrine deposits outcrop only at the western margin of Falanthis basin consisting of marls with xylite bed intercalations. They are considered to be of Early Pliocene age (Koutsouveli 1987).

The neotectonic macrostructure of SW Peloponnesus is characterized by the presence of large grabens and horsts bounded by wide fault zones, striking N-S and E-W. The main 1st order macrostructures at the broader area are namely: (a) The Taygetos horst, (b) The Kalamata-Kyparissia megagraben, (c) The Kyparissia Mts. morphotectonic unit, (d) The Vlahopoulo graben and (e) The Pylia Mts horst, (fig 3a).

The kinematic evolution of these neotectonic units is complicated since block rotation

differentiates the uplift and subsidence rates throughout the margins of the neotectonic blocks (Mariolakos et al. 1994). At the margins or within these 1st order neotectonic macrostructures a great number of smaller structures has been recorded. These neotectonic structures of minor order strike either sub-parallel or perpendicular to the trends of the 1st order ones. They are dynamically related, as they have resulted from the same stress field but they have a different kinematic evolution. This differentiation has appeared either from the first stages of their creation, or later, during their evolution (Mariolakos et al. 1995).

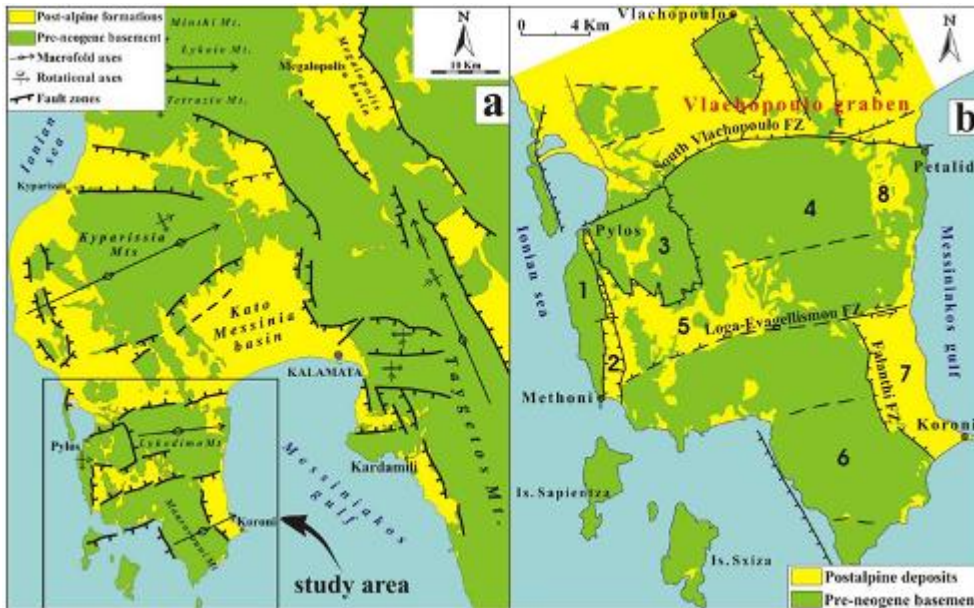


Figure. 3a The 1st order Neotectonic macrostructures of SW Peloponnesus.

Figure 3b The 2nd order neotectonic macrostructures of Pylos horst. 1: Agios Nikolaos horst, 2: Pylos-Methoni graben, 3: Kynigos horst, 4: Lykodimo morphotectonic structure, 5: Pygassos basin, 6: Mavrovouni horst, 7: Falanthei graben, 8: Achladochori basin.

The study area belongs to the 1st order complex neotectonic horst of Pylos Mts which strikes N-S and is bounded to the north by a nearly E-W striking fault zone (South Vlachopoulo fault zone, SVFZ). This marginal fault zone divides the uplifted area of Pylos to the south from the Vlachopoulo graben to the north, which represents an area that was submerged below the sea level during Early Pleistocene, forming an E-W trending sea channel, whereas at the same time the greater part of Pylos megahorst continued to be above the sea level forming a separate island (or islands?), (Mariolakos et al. 1994). The reactivations of this fault zone have formed large escarpments on the morphology of the area west of Pylos town where many fault surfaces on the carbonate rocks of Gavrovo unit are covered by successive generations of tectonic breccia and scree. It traverses the whole peninsula consisting of many faults in an en-echelon arrangement. Slickensides observed on these fault surfaces indicate that they have an oblique-slip (sinistral) normal character. The 2nd order neotectonic structures that were distinguished in the Pylos Mts horst are shown in Figure 3b.

### 3. Climate changes

As it is known, climate changes periodically and the main causes of this periodicity are astronomical (Milankowitch theory). During the past 2 million years (Quaternary period) successions of glacier and interglacial periods due to fluctuations of solar radiation that was received by earth, have been recorded. The solar radiation that is received by the planet is not stable. The quantity of solar radiation reaching the Earth depends on the Precession of the Earth axis, the Obliquity (the change in axial tilt) and the Eccentricity. These parameters are not constant but they change periodically, the result of which is reflected on the periodic climate changes and more specifically on the change of the mean air temperature.

In fig. 4 the changes of the mean atmospheric temperature of the earth during the past 150.000 years are presented, (from the approximate start of the one before last interglacial period up to present). Similarly, in fig 5, the temperature fluctuations during the past 18000 years are presented. Around 125,000 years B.P. the climate was similar to the actual one (inter-glacial period, fig. 4). Around 75,000 years B.P. the main phase of the last glacial period begins. This period ends at 18.000 years B.P. approximately, when a new climatic era began related to the abrupt rise of the mean earth temperature, (fig. 5). At 18.000 years B.P. the mean earth temperature was at its lowest values and the glaciers had the greater distribution while during the previous 60.000 years the climate was relatively constant, with non-favourable conditions of course related to present as throughout the largest part of the earth, a continuous winter predominated.

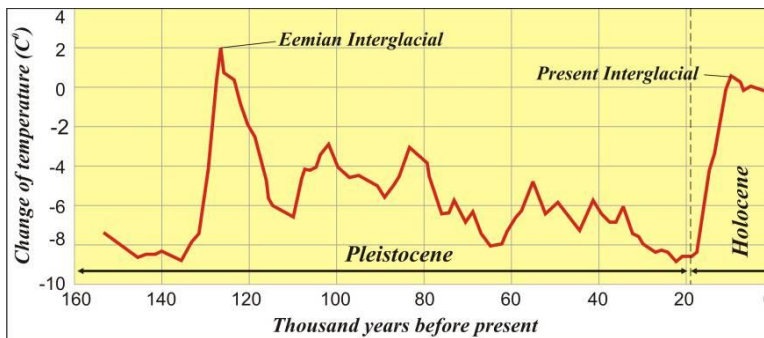


Figure 4. The changes of the mean earth temperature during the last 160.000 years.

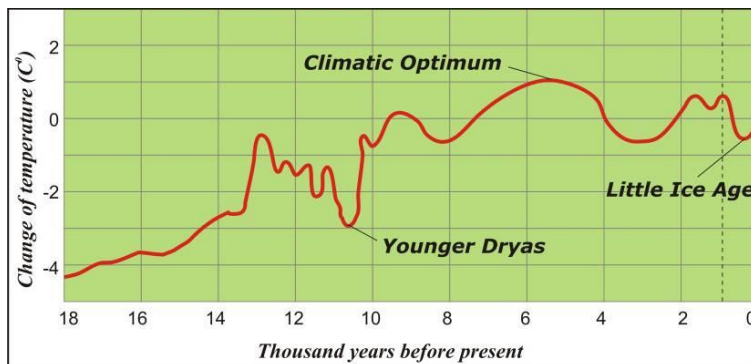
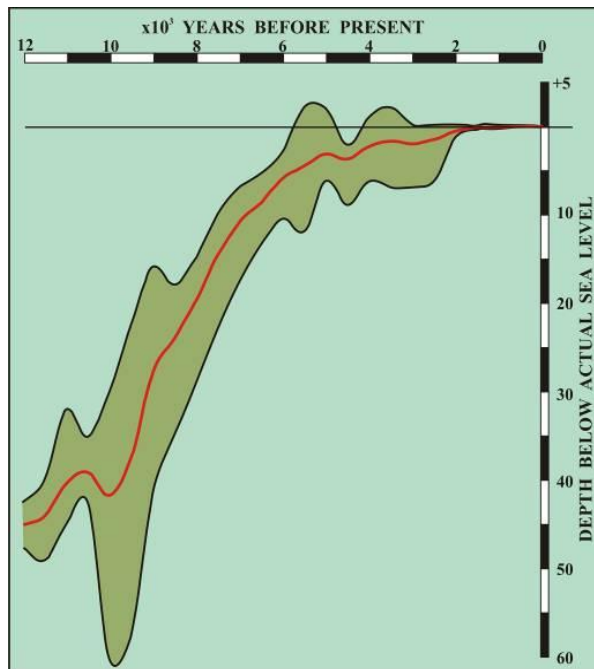


Figure 5. The fluctuations of the mean earth temperature during the last 18.000 years, (Duff 1993).

Due to the abrupt rise of the mean earth temperature, large masses of glaciers accumulated on continents, began to melt resulting in large quantities of water release. The melting of the glaciers led to the gradual rise of the sea level, which around 18.000 years B.P. is estimated to have been around 125 meters lower than present. This sort of sea level changes are known as climatic – eustatic movements.

The gradual rise of sea level had as a result the shifting of coastlines and the flooding of many coastal regions that today represent the bottom of the sea down to the depth of 125 m.

In figure 6 the sea level changes during the past 12000 years are presented. The graph shown in this figure is constructed from various curves from many regions of the planet and published by Kraft et al, 1985. From those curves we believe that the ones that represent in the most fitted way the conditions of the Hellenic region are those by Fairbridge (1961) and Morner (1971) that represent approximately the uppermost limit of the fluctuation ranges of values in figure 6. Due to the periodical climate change, the temperature variations are followed by rainfall variations. In the circum Aegean region the temperature rise is related to an increase of evaporation resulting in an increase of rainfalls.



*Figure 6. Sea-level changes during the last 12,000 years BP. The bold red line represents the mean curve, which has been produced from various curves published by Kraft et al., 1985. The green area represents the width between the minimum and the maximum values of these curves.*

#### 4. Coastlines evolution

Present coastlines of Pylia peninsula exhibit significant variety in morphology, alternating from rocky to sandy coasts, forming small bays and peninsulas. In the formation of these coastlines, besides the eustatic movements, an important controlling factor is the vertical

movements (uplift or subsidence) due to the active fault tectonics. As Pylia is one of the most seismically active areas of the Hellenic region it includes a number of active fault zones that have been reactivated during the past 500.000 years (Middle Pleistocene to Present). This fact suggests that changes of sea level are composite and the determination of its level, during various eras, is not easy to be estimated in relation to present conditions.

Between 18.000 BP and 6.000 BP, a continuous sea level rise has been recorded that had as a result the constant change of the coastline and the gradual flooding of the coastal regions. The sea level was stabilized and reached the present levels around 6.000 BP and 4.000 BP. At the initial stage of the transgression during 18.000 – 8.000 BP, the mean sea level rise was estimated as 8-37mm/year according to Bard et al. 1989. During this period, the eustatic movements dominated while the contribution of tectonics should be limited compared to the total rise of the sea level. For this reason the paleogeographical representation diagrams have taken into account only the eustatic changes.

On the contrary, during the last stages of the sea level rise, after 8.000 BP, the mean sea level rise has been estimated as  $\approx$  2mm/year. According to previous studies at the Messinia Prefecture area (Mariolakos et al. 1994), it is estimated that the mean uplift rates from Middle Pleistocene until present varies between 0,375-0,625 mm/year. We therefore consider that the contribution of tectonics after 8.000 BP is critical for the evolution of the coastlines and should be taken into account in any attempt of paleo-relief reconstruction.

The coastline changes after the relative stabilization of the sea level (from  $\approx$  6.000 BP to present) are attributed to three factors: (a) the landscape surface processes (suspended material of streams, landslides), (b) marine processes (eustasy, marine erosion) and (c) vertical tectonic movements.

Through this paper, the evolution of coastlines and morphology of Pylia peninsula is presented in three different time periods namely: (i) 18000 years BP (figures 7&8), (ii) 12000 years BP. (figures 9&10) and (iii) 8000 years BP. (figures 11&12).

The sea level 18.000 years ago, that is during the end of the last glacier period, is estimated to have been approximately 125 meters lower than present, while at 12000 years was 70 meters lower and at 8000 year BP was estimated to have been approximately at 20 meters lower than present.

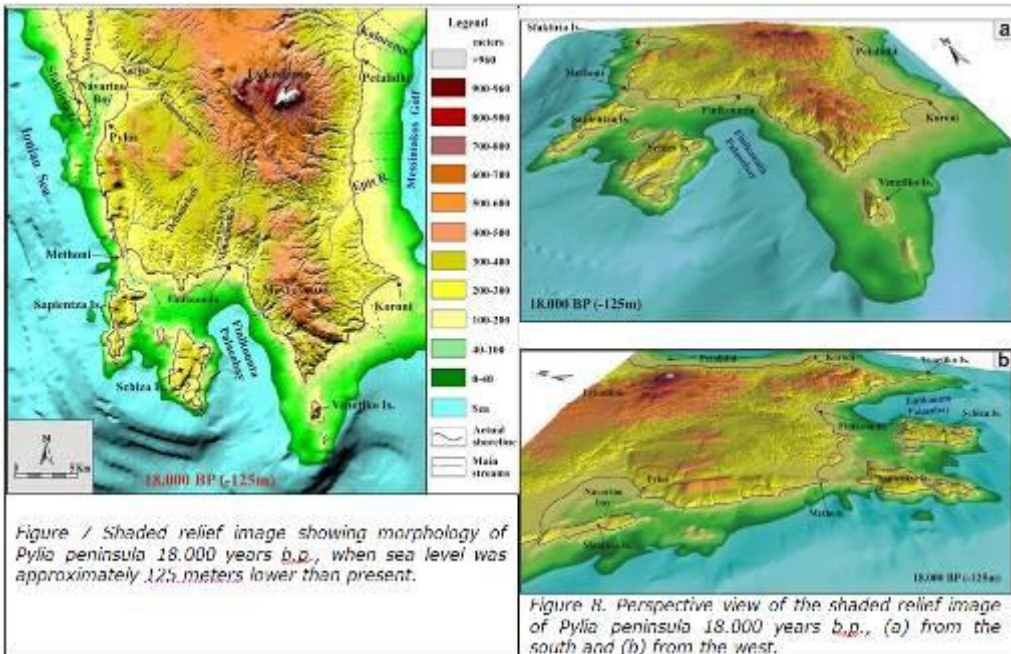
18000 years BP: As it is shown in figure 7 the coastlines at that time had a very different morphology compared to the present ones. During the Upper Pleistocene, before the melting of the glaciers, Pylia was united with all the surrounding islands that we see today, that is Sfaktiria, Sapientza, Schiza, Venetiko and the smaller islets. It comprised an area that was 65% greater than the present.

At the south section of the peninsula the cape Akritas was extending further south as Venetiko and its surrounding islets were linked with the land of the other side. At the SW end of the peninsula a second cape was formed with two ends that represented the southern end of Schiza and Sapientza islands that were also linked with each other as well as with the land at the opposite side. Between these two large capes, an elongated gulf was developed in a N-S direction, the Finikounda palaeo-bay. At the uppermost section of this bay Minagiotiko and Delimichali streams were discharging at the sea. During that time these streams had a greater size and a more evolved network.

At the western section of Pylia peninsula, the island of Sfaktiria was linked to the rest of the land and the Navarino bay was non-existent while in its location a plain existed. The western coasts had a general NNW-SSE direction and presented a series of complex gulfs that were separated by smaller peninsulas. Rivers Yiannouzagas and Xerias composed along with Xerolagado a unified fluvial system where the main branch was running through the

Navarino plain and was discharging at the Ionian Sea, further south of Sfaktiria.

To the east of the peninsula, the coastline of Messinian Bay was approximately 4 Km further to the east of the present one and was very close to the continental shelf. At the region of Koroni, a peninsula was formed that was extending in an E-W direction in the Messinian Bay. During that time, Lykodimo was comprising a mountainous mass with an approximate altitude of 1100 meters.



12000 years BP: During that period significant changes at the coastal morphology were observed related to the previous period. The land distribution was reduced considerably and the Finikounda paleo-bay presented a greater development (figures 9 & 10). Schiza continued to be linked to Sapienza by a small land strip. At the western side of this peninsula the early stages of the Navarino bay began to appear, as a small and elongated bay is formed south of Sfaktiria.

Rivers Yiannouzagas, Xerias and Xerolagado formed narrow valleys with intense in depth erosion that transferred significant quantities of sedimentary material that was deposited on the lowland coastal zone north of Pylos forming an extensive alluvial plain. To the east of the peninsula, the coastline of the Messinian gulf was now approximately 2,5 Km further to the east of the present coastline forming a similar shape as the present one.

8.000 years BP: At this period the shape of the shorelines at the whole peninsula is more or less similar shape to the present ones, (Fig. 11). The islands of Venetiko and Schiza have been separated from the mainland while Sapienza island was also separating from the opposite land as the small pass that bounded it to Methoni area started to flood. At the northwest, Navarino bay has been formed but it was opened only at the south as the northern passage was still closed. Rivers Yiannouzagas, Xerias and Xerolagado composed now separated drainage networks where the last branches were discharging at the Navarino bay.

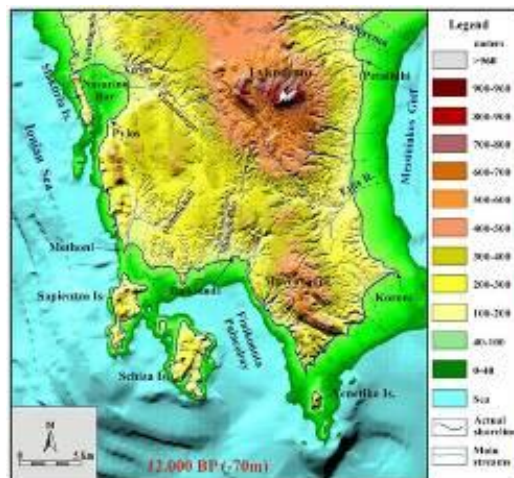


Figure 9 Shaded relief image showing morphology of Pylia peninsula 12,000 years b.p., when sea level was approximately 20 meters lower than present.

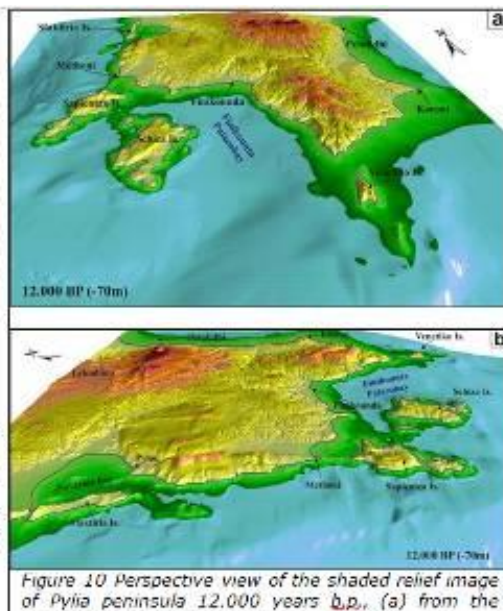


Figure 10 Perspective view of the shaded relief image of Pylia peninsula 12,000 years b.p., (a) from the

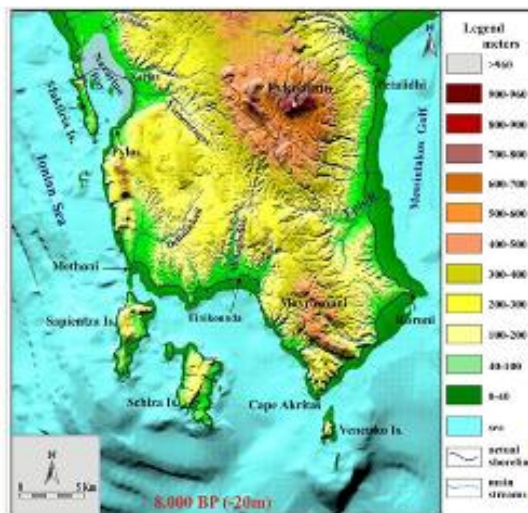


Figure 11 Shaded relief image showing morphology of Pylia peninsula 8,000 years B.P., when sea level was approximately 20 meters lower than present.

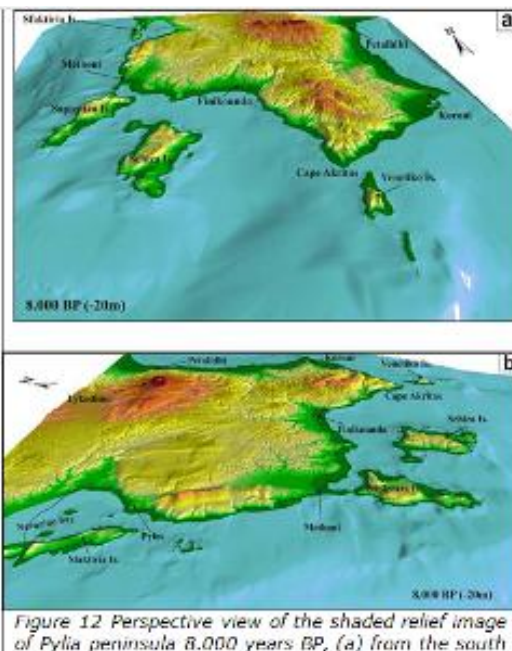


Figure 12 Perspective view of the shaded relief image of Pylia peninsula 8,000 years BP, (a) from the south



## 5. Conclusions

We believe that the study of the coastline evolutions and the climatic changes in general are important and can give answers in many questions related to archaeological investigations. In the study area the rise of the sea level after 18.000 BP had as a result the total flooding of large sections of land and the gradual formation of smaller and larger islands.

The habitants of the upper Paleolithic, Mesolithic and early Neolithic periods most likely did not occupied the same regions that they occupied after 6.000 BP. The prehistoric inhabitants of these societies were probably concentrating their activities in coastal karstic caves, near springs and biotopes and river deltas, areas that were flooded by the sea. Many Paleolithic, Mesolithic and Neolithic locations are presently below sea level up to a depth of 125m.

The gradual flooding of these areas by the sea had as a result the constant shifting of the prehistoric man to higher altitudes living constantly with the flood hazard. These large scale changes of the physical – geographical environment which evolved gradually for a long time period, contributed to the evolution of the prehistoric man of the Hellenic region to the successive generations of the Hellenic Theogony and the heroes of the Hellenic Mythology.

## References

Μαριολάκος, Η., 2001. Η γεωπεριβαλλοντική διάσταση της Ελληνικής Μυθολογίας. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 34/6, 2065-2086.

Bard E., Fairbanks R., Arnold M., Maurice P., Duprat J., Moyes J. and Dupless J.C., 1989. Sea-Level Estimates during the Last Deglaciation Based on  $\delta^{18}O$  and Accelerator Mass Spectrometry  $^{14}C$  Ages Measured in *Globigerina bulloides*. Quaternary Research, 31, 381-391.

Berger A., 1988. Milankovitch theory and climate. Review of Geophysics, 26(4), 624-657.

Duff D., 1993. *Holme's Principles of Physical Geology*, Chapman & Hall.

Emiliani C., 1971. The last interglacial: Paleotemperatures and Chronology. Science, 171, 571-3.

Fairbridge R.W., 1961. Eustatic changes in sea level. Physics and Chemistry of the Earth, 4, 99-185.

Flemming N.C., Czartoryska N.U.G. & Hunter P.M., 1973. Archaeological evidence for eustatic and tectonic components of relative sea level change in the South Aegean. Marine archaeology, 23rd Colston Symposium, ed. D. J. Blackman, London, 1-66.

Fytrolakis N. (1980). Geological Map of Greece, scale 1:50.000, KORONI-PYLOS-SKHIZA sheet, IGME publications, Athens.

Frydas D. (1990). Plankton stratigraphie des Pliozans und unteren Pleistozans der SW Peloponnes, Griechenland, Newsl. Stratigr., 23(2), 91-108, Berlin/Stuttgart.

Kraft J.C. & Aschenbrenner S.E., 1977. Paleogeographic reconstruction's in the Methoni embayment in Greece. J. Field Arch., 4, 19-44.

Kraft J.C., Rapp G.JR. & Aschenbrenner S.E., 1980. Late Holocene paleogeomorphic reconstruction's in the area of the Bay of Navarino: Sandy Pylos. J. Arch. Science, 7, 187-210.

Kraft J.C. et al., 1985. In: G. Rapp, J.A. Gifford (Eds.), Archaeological Geology. Yale

University Press, New Haven.1985, pp. 57-84.

Koutsouveli A., 1987. Etude stratigraphique des formations pliocenes et pleistocenes en Messenie occidentale, These Univ. d' Aix Marseille II, Luminy, 162pp.

Ladas I. (2000). Morphotectonic analysis and neotectonic evolution of Pylia. Master Thesis, University of Athens, 168p.

Lambeck K., 1996. Sea-level changes and shore-line evolution in Aegean Greece since Upper Paleolithic time. *Antiquity*, 70, 588-611.

Marcopoulou-Diacantoni A., Mirkou M.R. Mariolakos I. and Fountoulis I., 1991. Stratigraphic and paleogeographic observations at the post-alpine sediments of the Filiatra area (SW Peloponnese), and their neotectonic interpretation. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 24/2, 593-608, (in Greek with English abstract).

Mariolakos I., Fountoulis I., Marcopoulou-Diacantoni A. and Mirkou M.R., 1994. Some remarks on the kinematic evolution of Messinia province (SW Peloponnesus) during the Pleistocene based on Neotectonic stratigraphic and paleoecological observations, *Forsch. Geol. Palaont.*, 76, 371-380.

Mariolakos I., Lozios S. and Logos E., 1995. The neotectonic macrostructure of southern Peloponnesus. The earthquakes of September 13, 1986. Seminar on active faults, XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, 51-60, Athens.

Mariolakos I., Fountoulis I. and Ladas I., 2001. Paleogeographic evolution of SW Peloponnesus during Quaternary, *Bull. Geol. Soc. Greece*, 34/1, 37-45, (in Greek with English abstract).

Morner, N.A., 1971. Eustatic changes during the last 20.000 years and a method of seperating the isostatic & eustatic factors in an uplifted area. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 19, 63-65.

Pirazzoli, P.A., 1996. Sea-Level changes. The last 2.000 years. John Wiley & Sons, 211p.

## Η ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΚΟΜΝΗΝΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Μεταξάς Α.<sup>1</sup>, Καραγεωργίου Μ-Μ.<sup>2</sup>, Καρύμπαλης Ε.<sup>3</sup>, Καραγεωργίου Δ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Μεσογείων 70 11527 Αθήνα dek@igme.gr,*

<sup>2</sup> *Γεωγράφος, Αμισσού 62 Ν. Σμύρνη 17123, melaxroini\_ka@yahoo.gr*

<sup>3</sup> *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, karymbalis@hua.gr*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες καθώς και οι συνθήκες ιζηματογένεσης που επικρατούσαν στην ευρύτερη περιοχή των Κομνηνών κατά τη διάρκεια των περιόδων του Νεογενούς και Τεταρτογενούς. Λαμβάνοντας υπόψη λεπτομερείς γεωλογικές χαρτογραφήσεις, δεδομένα γεωτρήσεων και αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών επιχειρείται η παρουσίαση των παλαιογεωγραφικών και παλαιογεωμορφολογικών συνθηκών, οι οποίες συνέβαλαν στη δημιουργία του «ξυλιτικού τύπου», λιγνιτικού κοιτάσματος των Κομνηνών. Φαίνεται ο καθοριστικός ρόλος των τεκτονικών κινήσεων στην ιζηματογένεση και στην παλαιογεωγραφία.

### ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΚΟΜΝΗΝΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Metaxas A.<sup>1</sup>, Karageorgiou M-M.<sup>2</sup>, Karymbalis E.<sup>3</sup>, Karageorgiou D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology and Mineral Exploration,*

*Messogheion 70, Gr- 11527 Athens, Greece, dek@igme.gr*

<sup>2</sup>*Geographer, 62 Amissou str. 17123 N. Smyrni, Athens Greece, melaxroini\_ka@yahoo.gr*

<sup>3</sup>*Harokopio University, Department of Geography, karymbalis@hua.gr*

### Abstract

The present study deals with the geology, tectonics as well as the sedimentation of the broader area of the Komnina basin during the periods of Neogene and Quaternary. The reconstruction of the palaeogeographical and palaeogeomorphological conditions which resulted in the formation of the, "xylite type" lignite deposit of Komnina is attempted through detailed geological mapping and drilling data, utilizing Geographical Information Systems techniques. It is clear the determinant role of the tectonics movements during the sedimentation in the palaeogeography.

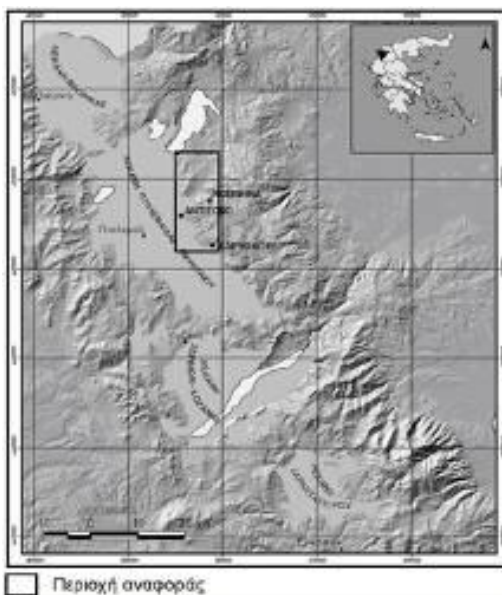
**Λέξεις κλειδιά:** Δυτική Μακεδονία, Κομνηνά, λιγνίτης, τεκτονική, στρωματογραφία.

**Key words:** West Macedonia, Komnina, lignite, tectonic, stratigraphy.

### 1. Εισαγωγή

Η ευρύτερη περιοχή Κομνηνών βρίσκεται ΝΑ του Αμυνταίου και ΒΑ της Πτολεμαΐδας και διοικητικά ανήκει στο Ν. Κοζάνης (Σχήμα 1). Η περιοχή αυτή δεν αποτελεί ανεξάρτητη γεωλογική ενότητα, αλλά εντάσσεται γεωλογικά στη λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, η οποία με τη σειρά της αποτελεί τμήμα της τεκτονικής τάφρου Φλώρινας, Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, Κοζάνης – Σερβίων και Σαρανταπόρου νοτιότερα (Σχήμα 1). Η τάφρος αυτή δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του κατώτερου Μειοκαινίου, μετά τη δράση ενός έντονου ρηγματογόνου τεκτονισμού με την ενεργοποίηση ρηγμάτων διεύθυνσης Β.-ΝΑ μεγάλου

μήκους και βάθους. Καθ' όλη τη διάρκεια της γεωλογικής εξέλιξης της τάφρου λάμβαναν χώρα διαφόρων διευθύνσεων τεκτονικές κινήσεις άλλοτε παράλληλα με τις αρχικές και άλλοτε κάθετα προς αυτές. Μετά τη διαμόρφωση των διαφόρων λεκανών και υπολεκανών παρατηρείται ότι οι λεκάνες αυτές άλλοτε λειτουργούσαν αυτόνομα, και άλλοτε επικοινωνούσαν μεταξύ τους και είχαν κοινή γεωλογική εξέλιξη.



Σχήμα 1. Χάρτης Τάφρου Φλώρινας, Πτολεμαΐδας Κοζάνης και λεκάνης Σαρανταπόρου

## 2. Μεθοδολογία

Για την αναπαράσταση της παλαιογεωγραφίας της ευρύτερης περιοχής των Κομνηνών στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας και τον προσδιορισμό των παλαιοπεριβαλλοντικών συνθηκών απόθεσης των ιζημάτων του Νεογενοϋς και Τεταρτογενοϋς πραγματοποιήθηκαν λεπτομερείς γεωλογικές χαρτογραφήσεις υπόβαθρο για την απεικόνιση της επιφανειακής εξάπλωσης των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Για την αναπαράσταση της στρωματογραφίας των ιζημάτων που πλήρωσαν τη λεκάνη πραγματοποιήθηκαν εκατοντάδες γεωτρήσεις που έφθασαν μέχρι βάθους 600 m και αξιολογήθηκαν οι τομές τους. Επιπλέον ελήφθησαν υπόψη προηγούμενες εργασίες και μελέτες που αφορούν κυρίως τα παλαιοντολογικά ευρήματα εντός των αποθέσεων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις λεπτομερείς γεωλογικές χαρτογραφήσεις και σε συνδυασμό με τα δεδομένα των γεωτρήσεων σχεδιάστηκαν τομές που αναπαριστούν τις εναλλαγές των ιζημάτων της λεκάνης. Όλα τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών και δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για την περιοχή αξιοποιώντας τις δυνατότητες του λογισμικού ArcGIS 9.2.

## 3. Γεωλογία – Στρωματογραφία - Τεκτονική

Για την κατανόηση της γεωλογίας και στρωματογραφίας της περιοχής, κρίνεται σκόπιμη η

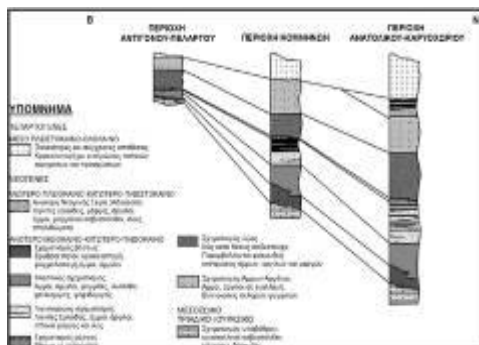
αναφορά στους σχηματισμούς που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή Κορινθίων χωρίς να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στους σχηματισμούς του υποβάθρου. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στους Νεογενείς σχηματισμούς, δεδομένου ότι εντός αυτών αναπτύσσεται το λιγνιτοφόρο κοίτασμα το οποίο ενδιαφέρει ιδιαίτερα την παρούσα εργασία.

### 3.1 Προτριτογενείς σχηματισμοί

Οι προτριτογενείς σχηματισμοί συνιστούν το Μεσοζωικό κάλυμμα της Πελαγονικής Μάζας και αποτελούν το υπόβαθρο και τα περιθώρια της ευρύτερης περιοχής Κορινθίων. Οι σχηματισμοί αυτοί συνίστανται από Τριαδικό - Ιουρασικούς ασβεστόλιθους έως μάρμαρα, με παρεμβολές σχιστολίθων, πολλές φορές χλωριτικών, πράσινου ή καστανού χρώματος. Νότια του χωριού Μεσόβουνο συνοδεύονται από μικρές εμφανίσεις σερπεντίνη, που κατά τον Βrunn (1982) ανήκουν στο ίδιο σύστημα. Επίσης απαντώνται και απολιθωματοφόροι ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιτών ηλικίας Μέσου - Άνω Κρητιδικού.

### 3.2 Γεωλογική εξέλιξη περιοχής κατά τη διάρκεια του Νεογενούς – Τεταρτογενούς

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειόκαινου κατώτερου Πλειόκαινου η λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, στην οποία ανήκει η ευρύτερη περιοχή Κορινθίων, αρχίζει να πληροείται κυρίως από χερσαίες, ποταμοχειμάριες, ποτάμιες, λιμνοποτάμιες, λιμναίες και ελώδεις αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούν την κατώτερη Νεογενή σειρά (Σχήμα 2) στην οποία φιλοξενούνται τα μεγάλα λιγνιτικά κοιτάσματα «ξυλώδους τύπου».



Σχήμα 2. Στρωματογραφική συσχέτιση περιοχών ευρύτερης περιοχής Κορινθίων.

Η κατώτερη Νεογενής σειρά εξαπλώνεται σε όλη τη λεκάνη και ο κύριος όγκος της αναπτύσσεται κυρίως, ως προς την λιγνιτοφορία, στα ανατολικά περιθώρια με το πάχος της να υπερβαίνει τα 800m.

Ο λιγνιτοφόρος σχηματισμός που φιλοξενείται στη σειρά αυτή, λόγω των ιδιαίτερων παλαιογεωγραφικών και παλαιοοικολογικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την περίοδο του σχηματισμού του, αποκτά και αυτός το μεγαλύτερο του πάχος που φθάνει τα 220m ανατολικά, στην περιοχή Ανατολικού - Καρυχωριού (Κώτης κ.α., 2002) ενώ προοδευτικά φθίνει προς τα δυτικά, για να φθάσει σε λεπτές ενστρώσεις στην περιοχή των Αναργύρων (Κούκουζας κ.α., 1979).

Την απόθεση της λιγνιτοφόρου σιβάδας και του μεγάλου σχετικά πάχους στείρων υπερκειμένων ιζημάτων, ακολούθησε έντονη τεκτονική δραστηριότητα που είχε σαν αποτέλεσμα την ανύψωση των ανατολικών περιθωρίων και ιδιαίτερα της ευρύτερης περιοχής Κορινθίων. Έτσι ενώ η βυθισμένη δυτικά περιοχή συμμετείχε στην ιζηματογένεση και λιγνιτογένεση που ακολούθησε κατά το Πλειόκαινο, η περιοχή των Κορινθίων έμεινε έξω, τροφοδοτώντας την με υλικό αποσάθρωσης και διάβρωσης. Στη συνέχεια και κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειόκαινου, η σειρά που περιγράφεται παραπάνω εξελίσσεται σε ένα λιμνοτελματικό σύστημα με αποτέλεσμα να έχουμε την απόθεση των σχηματισμών της Ανώτερης Νεογενούς Σειράς.

Εξατίας των τεκτονικών κινήσεων και των παλαιογεωγραφικών και παλαιογεωμορφολογικών συνθηκών, που επικρατούσαν κατά την περίοδο εκείνη, το σύστημα αυτό καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρη τη λεκάνη Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου, εκτός του Ανατολικού -

Βορειοανατολικού τμήματος της. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι λιμναίοι, λιμνοτελαματικοί και ελώδεις. Η ηλικία τους προσδιορίστηκε στο όριο Κατώτερου – Ανώτερου Πλειόκαινου, Κατώτερου Πλειστόκαινου. Στη σειρά αυτή φιλοξενούνται τα μεγάλα γνωστά κοιτάσματα λιγνίτη «γαιώδους τύπου» της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, όπως αυτά του νοτίου πεδίου, του Αμυνταίου κ.ά. Τα μεγαλύτερα πάχη της σειράς αυτής φθάνουν τα 500 m και παρατηρούνται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου (κοίτασμα Προαστείου). Επίσης στην ίδια περιοχή παρατηρούνται τα μεγαλύτερα πάχη της λιγνιτοφόρου στιβάδας (385m) και των λιγνιτικών στρωμάτων (60m). Αυτό είναι αποτέλεσμα της επικράτησης ιδανικών συνθηκών που αφορούν τη σχέση συνίζησης και απόθεσης.

Παρατηρείται κανονική μετάβαση από τους υποκείμενους σχηματισμούς της Κατώτερης Νεογενούς Σειράς (Ανω Μειόκαινο – Κάτω Πλειόκαινο) στους υπερκείμενους σχηματισμούς της Ανώτερης Νεογενούς Σειράς (Κάτω – Ανώτερο Πλειόκαινο – Κατώτερο Πλειστόκαινο). Η ίδια ιστορία συνεχίστηκε και μετά την απόθεση των Νεογενών ιζημάτων στο τέλος του Πλειόκαινου όπου επακολούθησε, κατά το Τεταρτογενές, έντονος τεκτονισμός ο οποίος συνεχίστηκε και κατά τους νεότερους γεωλογικούς χρόνους. Αποτέλεσμα των τεκτονικών αυτών κινήσεων, και της δράσης των εξωγενών διεργασιών και κυρίως της διάβρωσης, ήταν η διαμόρφωση του ανάγλυφου της ευρύτερης περιοχής και η εμφάνιση στην επιφάνεια των κατώτερων στρωματογραφικών οριζώντων του Νεογενούς.

Κατά τη διάρκεια από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα έχουμε την απόθεση ενός χερσαίου – ποταμοχερσαίου σχηματισμού (Σχήμα 2). Ο σχηματισμός αυτός εξαπλώνεται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής.

Επιφανειακά παρατηρούνται σύγχρονες αποθέσεις χερσαίων σχηματισμών μικρού πάχους, όπως ελουβιακοί μανδύες, αλλουβιακές προσχώσεις και κώνοι κορημάτων. Μετά από αυτή τη σύντομη αναφορά στις γεωλογικές συνθήκες, που επικράτησαν στην ευρύτερη περιοχή και επηρέασαν την ιζηματογένεση κατά την Νεογενή και Τεταρτογενή περίοδο, γίνεται η αναφορά και περιγραφή των ιζημάτων της περιοχής όπως αυτά διαχωρίστηκαν, ως προς την ηλικία και τη σύσταση, αλλά και τον τύπο λιγνιτοφορίας που φιλοξενούν.

Έτσι τα Νεογενή ιζήματα της ευρύτερης περιοχής διαχωρίστηκαν σε δύο διακριτούς οριζόντες. Την ανώτερη και την κατώτερη Νεογενή σειρά. Στην πρώτη συμμετέχουν τα ιζήματα που φιλοξενούν τον γαιώδη λιγνίτη «τύπου Πτολεμαΐδας» (Ανάργυροι, Νότιοπεδίο, Άγιος Χριστόφορος κ. ά.) Άνω-Πλειοκαινικής ηλικίας. Δεδομένου ότι τα ιζήματα αυτά δεν συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της στενής περιοχής μελέτης, δεν επιχειρείται η λεπτομερής λιθοστρωματογραφική τους περιγραφή. Αντίθετα στη συνέχεια γίνεται εκτενής αναφορά στη λιθοστρωματογραφική περιγραφή των ιζημάτων της Κατώτερης Νεογενούς σειράς, που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Στη σειρά αυτή φιλοξενούνται οι λιγνίτες «ξυλιτικού τύπου», όπως τα γνωστά κοιτάσματα Κομνηνών, Φλώρινας κ.ά., ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου.

### 3.3 Νεογενή ιζήματα

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου η λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, στην οποία ανήκει η ευρύτερη περιοχή Κομνηνών, αρχίζει να πληρούται με ιζήματα. Έτσι λαμβάνει χώρα η απόθεση της κατώτερης Νεογενούς σειράς (Σχήμα 2). Από την εξέταση των διατόμων (Gersonde and Velitzelos, 1978), της παλαιοχλωρίδας (Schneider and Velitzelos, 1973; 1976; Velitzelos and Schneider, 1977) και την παλυνολογική εξέταση (Ιωακείμ και Βασιλείου, 1982; Ιοακίμ, 1985), η σειρά αυτή προσδιορίζεται στα Ανώτερο Μειόκαινο(:) – Κατώτερο Πλειόκαινο και αποτελείται από κάτω προς τα πάνω από τους ακόλουθους σχηματισμούς:

Αρχικά αποτίθενται κορήματα, χερσαία και ποταμοχειμάρια ιζήματα, (σχηματισμός βάσεως – Σχήμα 2) τα οποία συνίστανται από λατυποπαγή, των οποίων τα στοιχεία είναι ανάλογα των πετρωμάτων του υποβάθρου και των περιθωρίων της λεκάνης, κροκαλοπαγή,

τροχματοπαγή, με στοιχεία ποικίλου μεγέθους, σε εναλλαγή με άμμους, αργίλους και ηηλούς. Το χρώμα που επικρατεί είναι το ερυθρό-ερυθοκάστανο. Ο σχηματισμός αυτός πληρώνει και εξομαλύνει την ανώμαλη επιφάνεια του υποβάθρου της αρχικής λεκάνης και εξαιτίας αυτού, το πάχος του ποικίλει από θέση σε θέση και μπορεί να φτάσει από ελάχιστο μέχρι και μερικές δεκάδες μέτρα. Ενδεικτικά αναφέρουμε, ότι στην περιοχή Κομνηνών φτάνει τα 80m. Ο σχηματισμός Βάσως εξαπλώνεται σε όλη την έκταση της λεκάνης.

Πάνω από τον προηγούμενο σχηματισμό, στρωματογραφικά επίκεινται ποτάμιες αποθέσεις, οι οποίες συνίστανται από άμμους λεπτόκοκκες έως αδρόκοκκες, πολλές φορές αργιλούχες και αργίλους κατά θέσεις αμμούχες. Παρεμβάλλονται χαλικομιγείς και ψηφιδομιγείς ενστρώσεις, σκληροί ψαμμιτικοί οριζόντες καθώς επίσης και στρώματα κροκαλοπαγών (κλαστικός σχηματισμός) (Σχήμα 2). Τα χρώματα που επικρατούν είναι πράσινα έως πρασινότεφρα. Η απόθεση των ιζημάτων αυτών είναι ανάλογη με τη θέση ως προς το ποτάμιο σύστημα τροφοδοσίας. Το μεγαλύτερο πάχος του σχηματισμού αυτού φθάνει τα 120 m και παρατηρείται στην περιοχή Ανατολικού – Καρυσχωρίου (Κώτης κ.α., 2002).

Οι ποταμιολιμναίες και ελώδεις αποθέσεις (λιγνιτοφόρος σχηματισμός) (Σχήμα 2), είναι μεγάλου πάχους (φθάνει τα 220 m), επίκεινται του προηγούμενου σχηματισμού και συνίστανται από άμμους, αργίλους με φυτικά λείψανα, ξυλιτικά τεμάχια και στρώματα λιγνίτη «ξυλώδους τύπου» σε εναλλαγή με ιλύ και σπανιότερα με μάργα. Το χρώμα που επικρατεί είναι το πράσινο – τεφροπράσινο. Στο σχηματισμό αυτό φιλοξενούνται τα μεγάλα λιγνιτικά κοιτάσματα «ξυλώδους τύπου», όπως αυτά των Κομνηνών (Κούκουζας κ.α., 1984), Ανατολικού – Καρυσχωρίου (Κώτης κ.α., 2002).

Το σύστημα αυτό εξελίσσεται σε ένα καθαρά λιμναίο περιβάλλον και καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρη τη λεκάνη. Έτσι, έχουμε την απόθεση ιλύων (σχηματισμός ιλύων) (Σχήμα 2), με ενστρώσεις κατά θέσεις άμμων και αργίλων. Συχνές είναι οι παρεμβολές ασβεστολιθικών ιλύων. Στα ιζήματα αυτά παρατηρούνται ξυλιτικά τεμάχια, φυτικά λείψανα, φύλλα και το ορυκτό βιβιανίτης. Τα χρώματα που επικρατούν είναι το τεφρό και το τεφροπράσινο. Το μεγαλύτερο πάχος τους, 250 m, παρατηρήθηκε στην περιοχή Ανατολικού – Καρυσχωρίου. Στην οροφή της λιγνιτοφόρας στιβάδας παρατηρείται μικρού πάχους (1,5m) ανοικτότεφρη μάργα με οστρακώδη και *oreculum* (σχηματισμός μάργας) (Σχήμα 2). Το λιμναίο αυτό σύστημα επικρατεί κυρίως στην ευρύτερη περιοχή Κομνηνών και γενικά στα ανατολικά περιθώρια της λεκάνης Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου. Στο Δυτικό τμήμα της λεκάνης αυτής επικρατεί ένα ποτάμιο-ποταμιολιμναίο περιβάλλον με την απόθεση αντίστοιχων ιζημάτων. Τη θέση των ιλύων καταλαμβάνουν κυρίως λεπτόκοκκοι έως αδρόκοκκοι άμμοι, με παρεμβολές αργίλων και σπανιότερα ιλύων.

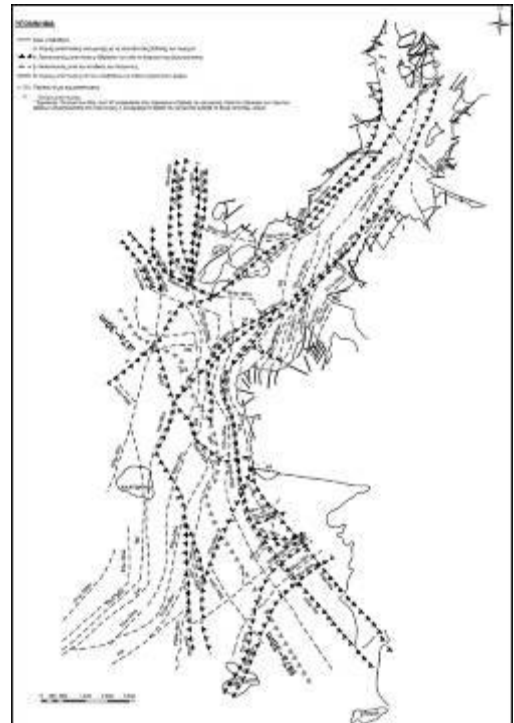
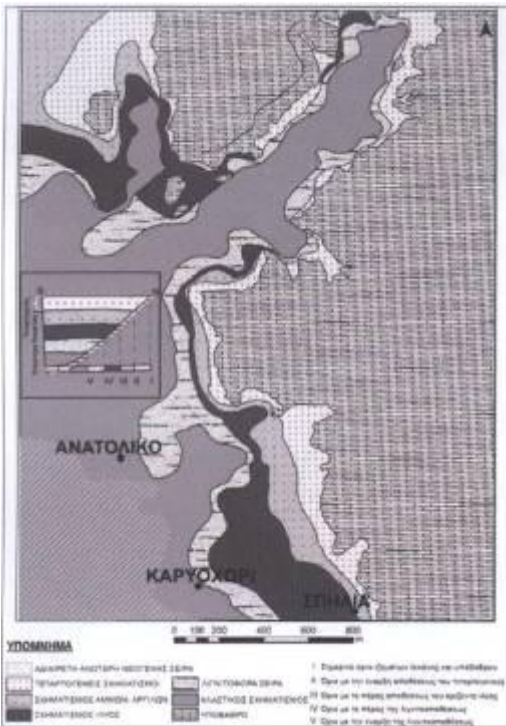
Των παραπάνω σχηματισμών υπέρκεινται ποτάμιες αποθέσεις που συνίστανται από εναλλαγές άμμων, αργίλων με ενστρώσεις ψαμμιτών και ιλυολίθων (σχηματισμός άμμων – αργίλων) (Σχήμα 2) με χρώμα πράσινο. Το πάχος του σχηματισμού αυτού εκτιμάται γύρω στα 190m.

Στη συνέχεια και κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειόκαινου, το λιμναίο σύστημα που περιγράφεται παραπάνω, εξελίσσεται σε ένα λιμνοτεματικό σύστημα, με αποτέλεσμα την απόθεση των σχηματισμών της ανώτερης Νεογενούς σειράς (Σχήμα 2).

Εξαιτίας των τεκτονικών κινήσεων, των παλαιογεωγραφικών και παλαιογεωμορφολογικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά την περίοδο αυτή το σύστημα – περιβάλλον αυτό καταλαμβάνει σχεδόν ολόκληρη τη λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, εκτός του ανατολικού – βορειοανατολικού τμήματός της, για να φθάσει με μικρές απολήξεις στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης της Φλώρινας.

Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή Κομνηνών η Ανώτερη Νεογενής Σειρά καταλαμβάνει ένα μικρό χώρο στο νοτιοδυτικό της τμήμα (Σχήμα 3), λόγω τεκτονικών διεργασιών που έδρασαν κατά την περίοδο της απόθεσης.

Τα ιζήματα που παρατηρούνται στο σχηματισμό της ανώτερης Νεογενούς σειράς (Σχήμα 2) είναι εναλλαγές και συνδυασμός μαργών, αργίλων, άμμων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων και γαιώδους λιγνίτη. Τα χρώματα που επικρατούν στις αποθέσεις αυτές είναι από ανοικτότεφρο έως τεφροπράσινο. Παρατηρούνται απολιθώματα όπως γαστερόποδα (Βετούλης, 1951 ; Gramman, 1960) Theodoxus Macedonicus (Neritina), Valvata piscinalis κ.ά., ελασματοβράχια (Gramman, 1960) όπως Unio sp.κ.ά., Οστρακώδη Candona neglecta, Iliocypris gibba κ.ά. ενώ έχει αναφερθεί και η παρουσία τρωκτικών (Van de Weerd, 1979). Επιπλέον έχει προσδιοριστεί παλαιοχλωρίδα ενώ έχει επίσης διεξαχθεί παλυνολογική εξέταση (Ioakim, 1985). Από τα παλαιοντολογικά ευρήματα και την παλυνολογική εξέταση η ηλικία των σχηματισμών αυτών προσδιορίστηκε στο όριο Κατώτερο - Ανώτερου Πλειόκαινου, Κατώτερου Πλειστοκαίνου. Στη σειρά αυτή φιλοξενούνται τα μεγάλα γνωστά κοιτάσματα λιγνίτη της λεκάνης Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, όπως αυτά του Νοτίου Πεδίου (Αναστόπουλος και Κούκουζας, 1972) και του Αμυνταίου (Κούκουζας κ.α, 1979).



Σχήμα 3. Γεωλογικό Σκαρίφημα περιοχής

Σχήμα 4. Τεκτονικός χάρτης περιοχής Κομνηνών

### 3.4 Τεταρογενή ιζήματα

Στο μεγαλύτερο τμήμα της ευρύτερης περιοχής Κομνηνών πάνω από τους σχηματισμούς της κατώτερης Νεογενούς σειράς αναπτύσσονται ασύμφωνα οι Τεταρογενείς σχηματισμοί που περιλαμβάνουν χερσαία, ποταμοχερσαία και ποταμοχειμάρρια ιζήματα η ηλικία των οποίων προσδιορίστηκε στο μέσο Πλειστόκαινο - Ολόκαινο. Τα παλαιότερα ιζήματα αποτελούνται από εναλλαγές πηλών και κροκαλοπαγών με σκληρές ενστρώσεις ενώ τα νεότερα από σύγχρονες προσχώσεις, αναβαθμίδες, κώνους κορημάτων και τον ελουβιακό μανδύα, που καλύπτει μεγάλο μέρος της περιοχής. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν μέγιστο πάχος μέχρι 230 m και καταλαμβάνουν τις παλαιές και σύγχρονες κοίτες των ρεμάτων και



επικαλύπτουν τμήμα των πλευρών των μικρών λόφων.

#### 4. Τεκτονική της περιοχής

Στη λεκάνη Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου επικρατούν δύο κύριες διευθύνσεις ρηγμάτων. Η μία είναι ΒΔ- ΝΑ, η οποία είναι και η παλαιότερη, με αποτέλεσμα τα ρήγματα αυτής της διεύθυνσης να θεωρούνται τα αρχικά κρασπεδικά ρήγματα που δημιούργησαν την τεκτονική τάφρο. Η άλλη διεύθυνση ρηγμάτων είναι ΒΑ-ΝΔ με νεότερα ρήγματα κάθετα στα προηγούμενα. Σε αυτά οφείλεται ο κατατεμαχισμός της λεκάνης σε επιμέρους υπολεκάνες και εξάρματα και η διαμόρφωση της σημερινής μορφολογίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι έδρασαν και ρήγματα άλλων διευθύνσεων καθώς και ότι τόσο τα παλαιότερα όσο και τα νεότερα ρήγματα δεν λειτούργησαν μια και μόνο φορά, αλλά δραστηροποιήθηκαν επανειλημμένα μέχρι και πρόσφατα.

Στην στενή περιοχή Κομνηνών, τα κρασπεδικά, γενεσιουργά της μικρής ομώνυμης τάφρου, ρήγματα (Σχήμα 4), έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-Ν. δηλ. σχεδόν κάθετη προς τη διεύθυνση των, της ίδιας ηλικίας, κρασπεδικών – γενεσιουργών ρηγμάτων της κύριας τάφρου Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου. Το μεγάλο κρασπεδικό ρήγμα με διεύθυνση Β.-ΝΑ (f47), ανήκει στο σύστημα των ταφρογόνων ρηγμάτων, που ορίζει το ανατολικό όριο της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου και διέρχεται δυτικά του χωριού Κομνηνά, αποτελεί κατά βάση και το δυτικό όριο του κοιτάσματος Κομνηνών. Οι κλιμακωτές σχεδόν παράλληλες ρηξιγενείς μεταπτώσεις, με ποικίλα άλματα, που δημιούργησαν τη μικρή - στενή και επιμήκη τάφρο Κομνηνών, κατά καιρούς επαναλειτούργησαν. Το ίδιο επαναλειτούργησε, σαν συνιζηματογενής μετάπτωση και η μεγάλη ανατολική κρασπεδική μετάπτωση (f 47) της λεκάνης Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου.

Κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης της κατώτερης Νεογενούς σειράς φαίνεται ότι υπήρχε μια συνεχής συνίζηση του υποβάθρου της μικρής τάφρου, που διευκολυνόταν από τη σχεδόν συνεχή διαφορική κίνηση κατά μήκος των επιφανειών των κρασπεδικών ρηγμάτων. Ο ίδιος μηχανισμός λειτουργούσε και κατά μήκος του επιπέδου της μεγάλης ανατολικής κρασπεδικής μετάπτωσης της λεκάνης Πτολεμαΐδας, μόνο που καθ' όλες τις ενδείξεις, η συνίζηση του υποβάθρου στην ανοικτή λεκάνη Πτολεμαΐδας ήταν ταχύτερη και συνεχίστηκε και αργότερα, κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και το Τεταρτογενές, περιόδους δηλαδή κατά τις οποίες πρακτικά, είχε σταματήσει η ιζηματογένεση στη στενή περιοχή Κομνηνών.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, στο βυθισμένο τμήμα δυτικά της περιοχής, η λιγνιτοφόρα σιβάδα είναι μεν μεγαλύτερη, αλλά αποτελείται από μικρού πάχους λιγνιτικά στρώματα, τα οποία διακόπτονται από μεγάλου πάχους ενδιάμεσα στείρα. Αντίθετα, στη στενή περιοχή των Κομνηνών, ανατολικά, η λιγνιτοφόρα σιβάδα είναι μικρότερη αλλά με στρώματα λιγνίτη μεγαλύτερου πάχους και πιο σημαντικά από άποψη εκμετάλλευσης.

Στην περιοχή Αντιγόνου – Πελαργού, λόγω της μεγαλύτερης τεκτονικής δραστηριότητας και της ανύψωσης, παρατηρείται μικρού πάχους λιγνιτογένεση με τις απολήξεις των ανώτερων λιγνιτικών στρωμάτων.

Νεότερες ρηξιγενείς μεταπτώσεις, που δημιουργήθηκαν μετά την απόθεση των ιζημάτων του Άνω Μειόκαινου – Κάτω Πλειόκαινου, και μερικές των οποίων επαναλειτούργησαν και κατά το Τεταρτογενές, τέμνουν τα στρώματα της ευρύτερης περιοχής Κομνηνών προς όλες σχεδόν τις διευθύνσεις. Οι επικρατούσες διευθύνσεις είναι ΒΒΑ - ΝΝ., έως ΒΑ - Ν. και Β - Ν έως Β. - ΝΑ (Σχήμα 4).

#### 5. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης Κομνηνών από το Νεογενές έως σήμερα

Κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Μειόκαινου, όπως φαίνεται και στον τεκτονικό χάρτη (Σχήμα 4) της ευρύτερης περιοχής Κομνηνών, έδρασαν τα ταφρογόνα ρήγματα της λεκάνης

Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, παράλληλα και σχεδόν ταυτόχρονα, στη στενή περιοχή του κοιτάσματος Κομνηνών, ρήγματα κάθετης διεύθυνσης (ΒΑ-Ν.) έδρασαν και δημιούργησαν το ομώνυμο ταφροειδές, στο οποίο απετέθη ο κύριος όγκος του λιγνιτικού κοιτάσματος (Σχήμα 5) «ξυλώδους τύπου».

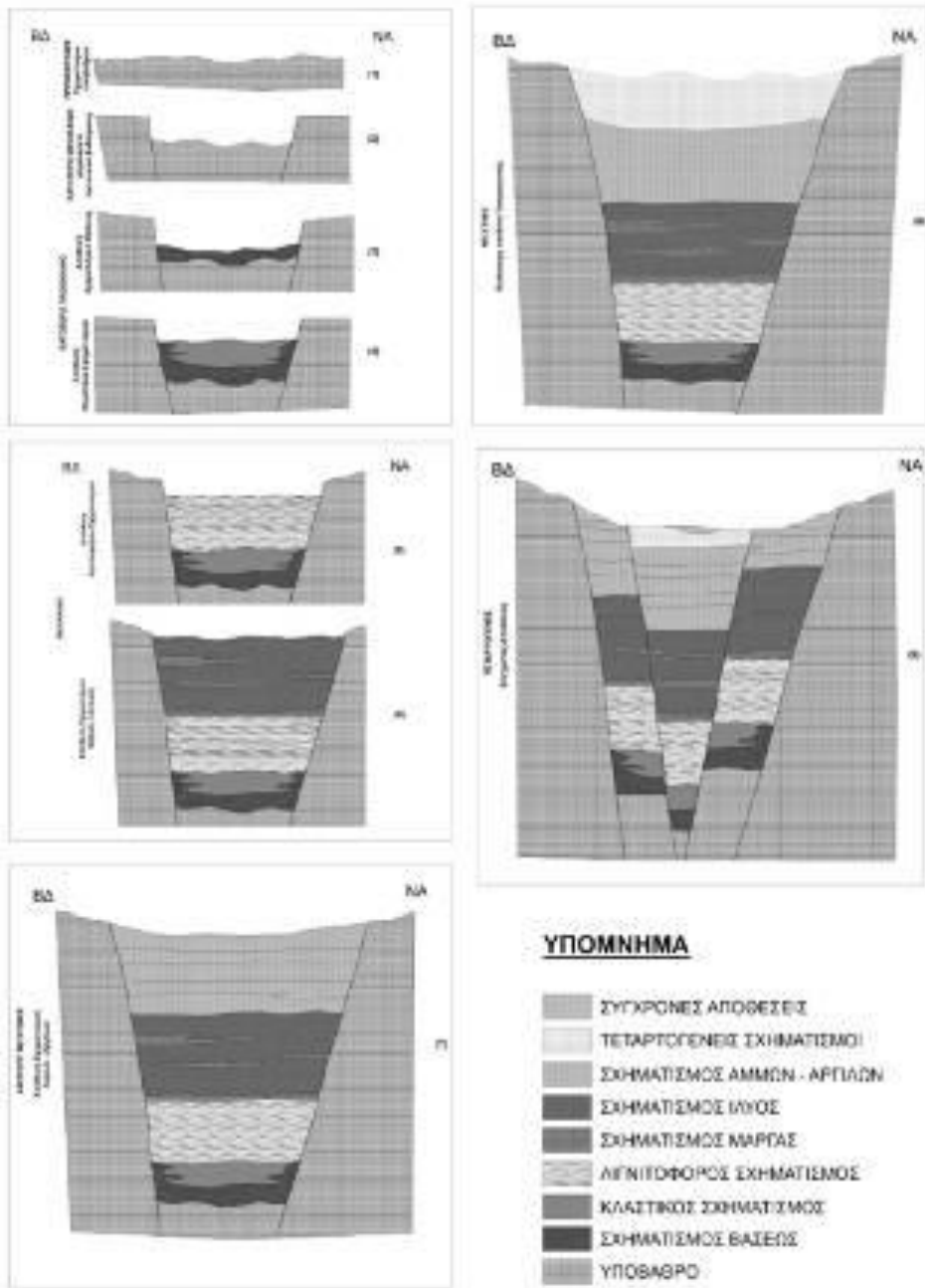
Στην περίοδο του Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου αποτίθενται όλοι οι σχηματισμοί της κατώτερης Νεογενούς σειράς. Στο σχήμα 3 φαίνονται τα όρια των σχηματισμών αυτών, η εξάπλωση τους, καθώς επίσης τα όρια και η εξάπλωση των Τεταρτογενών αποθέσεων.

Παρατηρώντας την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής Κομνηνών, σε συνδυασμό με τον τεκτονισμό, γίνεται φανερό ότι το κρασπεδικό συνιζηματογενές ρήγμα (f47), έπαιξε τον πιο καθοριστικό ρόλο στην όλη γεωλογική εξέλιξη – ιζηματογένεση της περιοχής. Επίσης παρατηρείται ότι, τα ταφρογόνα ρήγματα του Κατώτερου Μειόκαινου επαναδραστηροποιήθηκαν μετά το πέρας της δημιουργίας των σχηματισμών του Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου και περιόρισαν την απόθεση των σχηματισμών της ανώτερης Νεογενούς σειράς στα όρια που φαίνονται στο Σχήμα 3. Επίσης αξιοσημείωτη είναι η μικρή οριζόντια εξάπλωση καθώς και η απουσία, σε πολλά σημεία, των σχηματισμών του Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου (Σχήμα 3), σε κάθετη προβολή, οριζοντιογραφία, στην στενή περιοχή Κομνηνών, λόγω της μεγάλης καθετότητας των ρηγμάτων. Αντίθετα στην περιοχή Ανατολικού – Καρυοχωρίου (N-NA), παρατηρείται πλήρης ανάπτυξη όλων των φάσεων ιζηματογένεσης, γεγονός που αποδίδεται στην δράση, κατά περιόδους, πολλών παράλληλων ταφροειδών ρηγμάτων, με κατεύθυνση βύθισης εξ ανατολών προς δυσμάς.

Στη βόρεια περιοχή (Πελαργός – Αντίγονο) παρατηρείται ένας εγκλωβισμός των φάσεων του Ανώτερου Μειόκαινου – Κατώτερου Πλειόκαινου, εξ αιτίας της δράσης των ρηγμάτων της ίδιας ηλικίας στην ανοικτή δυτικότερη περιοχή.

Στην ευρύτερη περιοχή οι αποθέσεις του Τεταρτογενούς έχουν μικρή έκταση και περιορίζονται γύρω και κοντά στο υπόβαθρο σε αντίθεση με την περιοχή Αντίγονου – Πελαργού (βόρεια), που έχουν μεγαλύτερη εξάπλωση, λόγω της ανύψωσης της περιοχής και εκτεθειμένης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στην απόθεση των σχηματισμών αυτών (Σχήμα 3). Στην στενή περιοχή Κομνηνών, σε ότι αφορά τη λιγνιτογένεση (Σχήμα 2), ο κύριος όγκος λιγνίτη απετέθη με όριο το συνιζηματογενές ρήγμα f 47 (Σχήμα 4). Στη νότια – νοτιοδυτική περιοχή παρατηρείται ότι η λιγνιτογένεση έχει μεγάλο πάχος με μικρού πάχους στρώματα λιγνίτη και μεγάλου πάχους ενδιάμεσα στείρα. Αντίθετα βόρεια (Αντίγονο – Πελαργός) φαίνεται ότι η λιγνιτοφόρα στιβάδα, αν και μικρού πάχους είναι συμπυκνωμένη σε λίγα στρώματα.

Εν κατακλείδι, φαίνεται ότι το σημαντικότερο λόγο στη διαμόρφωση της όλης περιοχής και στην ιζηματογένεση έχουν τα ρήγματα ηλικίας Κάτω Μειόκαινου και η συνεχής δραστηριότητα κάποιων από αυτά μέχρι και σήμερα.



Σχήμα 5. Μοντέλο παλαιογεωγραφικής εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής Κομνηνών.

**Βιβλιογραφία**

Αναστόπουλος, Ι. και Κούκουζας, Κ., 1972: Γεωλογική και Κοιτασματολογική Μελέτη Νοτίου Τμήματος Λιγνιτοφόρου Λεκάνης Πτολεμαΐδας. Ι.Γ.Ε.Υ., Γεωλ. Γεωφ. Μελέται, Ι,Χvi, 1-189.

Barrabe, L. and R. Feys, 1965: Geologie du Carbon et des Basin Houillers, Mason et cie, Paris.

Βετούλης, Δ., 1951: Λιγνιτοφόρος Λεκάνη Αμυνταίου-Βεγόρας. Γεωλογ. Αναγν. Ι.Γ.Ε.Υ., 14,1-30.

Brunn, J.H., 1982: Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος Κλ.1:50.000 Φύλλο Πύργοι. Έκθ. Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήναι.

Gramman, F., 1960. Die Fossilien des Braunkohlenbeckens in Ptolemais – Komanos, Unpublished report. Archive 22625, Bundesanstalt für Gewissen schafften und Rohstoffe, 1-11, Hannover.

Gersonde, R. and E. Velitzelos, 1978: Diätomen – palaokologie im Neogenen – Becuen von Vegora N-W Mazedonien (vorläufige Mitteilung). Ann. Geol. Pays Hell., 29, 373-382.

Ιωακείμ, Χρ. και Δ. Βασιλείου, 1982: Συσχέτιση των πυρήνων γεωτρήσεων ΑΠ14, ΑΠ4, Ρ6, Ρ7, ΔΠ21 και ΔΠ25 της λεκάνης Πτολεμαΐδας. Στρωματογραφία των Ελληνικών λιγνιτών, 7,1-48.

Ioakim, Ch., 1985: Analyse palynologique des depots lacustres du Pliocene de Ptolemais, Grèce septentrionale: un élément nouveau dans la reconstitution de l' Histoire paleoclimatique des régions méditerranées orientales. Paleobibliologie Continentale, XIV(2), 315-332.

Κούκουζας Κ., Θ. Κώτης, Μ. Πλουμίδης και Α. Μεταξάς, 1979: Γεωλογική - Κοιτασματολογική Μελέτη Λιγνιτικού Κοιτάσματος Αναργύρων-Αμυνταίου. Ι.Γ.Μ.Ε., Κοιτ. Έρευνα, 9, 1-69.

Κούκουζας Κ., Θ. Κώτης, Μ. Πλουμίδης, Α. Μεταξάς και Δ. Δημητρίου, 1984: Το Λιγνιτικό Κοίτασμα Κομνηνών Πτολεμαΐδας. Ι.Γ.Μ.Ε., Έρευνα Ενεργ. Πρώτ. Υλών, 2, 1-103.

Κούκουζας Κ., Θ. Κώτης, Μ. Πλουμίδης, Α. Μεταξάς και Δ. Δημητρίου, 1985: Λιγνιτικά Κοιτάσματα Τάφρου Πτολεμαΐδας. Πρακτικά 1εθνούς Συνάντησης για την Αξιοποίηση Φτωχών ΣτερεώνΚαυσίμων, ΔΕΗ, Πτολεμαΐδα Σεπτ. 1985, 1-10.

Κώτης Θ., Μ. Πλουμίδης και Δ. Δημητρίου, 2002: Γεωλογική – Κοιτασματολογική Μελέτη Λιγνιτικού Κοιτάσματος Ανατολικού – Καρυσχωρίου Πτολεμαΐδας. Ι.Γ.Μ.Ε., Έρευνα Ενεργ. Πρώτων Υλών, 1-62.

Schneider H. and E. Velitzelos, 1973: Jungtertiare Pflanzenfunde aus dem Becken von Vegora in WestMazedonien (Griechenland). Ann. Mus. Goulandris, 1, 245 – 249.

Schneider, H. and E. Velitzelos, 1976. Eine Neogenflora im Becken von Vegora (NW-Mazedonien). Bulletin de la Société Geologique de France période 1971-1980 204-205

Van de Weerd, A. 1979: Palynology of some Upper Miocene and Lower Pliocene Sections in Greece. Preliminary results, biostratigraphic implications. Ann. Geol. Pays Hell. Hors series, fasc. 3, 1253-1262.

Velitzelos, E., and H.E. Schneider, 1977: Jungtertiare Pflanzenfunde aus dem Becken von Vegora in WestMazedonien (Griechenland) In Naturama, 8. Italy.

## ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

Μπαθρέλλος Γ.<sup>1</sup>, Σκυλοδήμου Χ.<sup>1</sup>, Καλύβας Δ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

<sup>2</sup>Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών,

Τμήμα Διαχείρισης Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Αγροτικής Γεωργικής Μηχανικής

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια να εντοπιστούν και να συνδυασθούν οι παράγοντες, που ελέγχουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, στο ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων. Με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα συσχέτισης των παραμέτρων και συνολικής εκτίμησης της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις. Τα δύο μοντέλα βασίστηκαν σε κανόνες λογικής και είναι το μοντέλο του μέγιστου παράγοντα (μοντέλο MaF) και το μοντέλο του πολλαπλού παράγοντα (μοντέλο MuF). Τα αποτελέσματά της εφαρμογής τους ήταν η παραγωγή δύο διαφορετικών χαρτών εκτίμησης της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον χωροταξικό σχεδιασμό και στον καθορισμό των χρήσεων γης. Το πρώτο μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί σε χαρτογράφηση μικρής κλίμακας και στον αρχικό εντοπισμό ευάλωτων περιοχών σε κατολισθήσεις ενώ το μοντέλο MuF μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μέση και μεγάλης κλίμακας χαρτογράφηση περιοχών με κίνδυνο κατολισθήσεων.

### LANDSLIDES HAZARD MAPPING USING GIS-MODELS BASED ON LOGICAL RULES

Bathrellos G.<sup>1</sup>, Skilodimou H.<sup>1</sup>, Kalivas D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National and Kapodistrian University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment

<sup>2</sup>Agricultural University of Athens,

Depart. of Natural Resources Management and Agricultural Engineering

### Abstract

In this study, an effort to identify and combine the factors which affect landslide occurrences was accomplished, in the mountainous part of Trikala Prefecture. The application of the GIS techniques supported the design and operation of two different models for correlating factors and the assessment of the overall estimation landslides hazard. The models are: the Maximum Factor Model (MaF) and the Multiple Factor Model (MuF); their compilation was made by simple logical operations. The results of the application of the two models were the generation of two different landslide hazard maps that may be used for the natural and urban planning and determination of land use zone. The MaF model locates the areas of maximum hazard and the priority areas for intensive studies; thus, it should operate in a small-scale landslide hazard mapping, whilst, the MuF models should be used in medium and large-scales mapping.

**Λέξεις κλειδιά:** χάρτες επικινδυνότητας για κατολισθήσεις,, ΓΣΠ, παράγοντες κατολισθησιμότητας.

**Key words:** Landslide Hazard Maps; GIS; instability factors

## 1. Εισαγωγή

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα τμήμα του γεωμορφολογικού κύκλου κατά τη διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου και γίνονται επικίνδυνες όταν επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες ή όταν οι ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν τα φαινόμενα αυτά (Γκουρνέλλος et al., 2006). Στις ανεπτυγμένες χώρες πάνω από το 95% όλων των καταστροφών, οι οποίες προήλθαν από φυσικά φαινόμενα οφείλονται σε κατολισθήσεις (Hansen, 1984). Στην Ελλάδα, ο σημαντικότερος αριθμός κατολισθητικών φαινομένων εκδηλώνεται στο Δυτικό και Κεντρικό τμήμα της χώρας προκαλώντας σημαντικές ζημιές σε τμήματα των οικιστικών περιοχών και του οδικού δικτύου (Κούκης και Ρόζος, 1982).

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων είναι πολύ σημαντική στην πρόληψη, διαχείριση και αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών. Επιπλέον, αποτελεί ένα αναγκαίο παράγοντα για τον χωροταξικό σχεδιασμό των κρατών παγκοσμίως. (Λέκκας, 2000; Carrara et al., 2003). Η εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θεματικών χαρτών με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου (Temesgen et al., 2001; Dai et al., 2002).

Στην παρούσα εργασία αρχικά γίνεται μία προσπάθεια για τον εντοπισμό των παραμέτρων, οι οποίες ελέγχουν τα κατολισθητικά φαινόμενα. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά μοντέλα συσχέτισης των παραμέτρων, βασισμένα σε κανόνες λογικής και σε συνδυασμό με Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, δημιουργήθηκαν δύο χάρτες επικινδυνότητας κατολισθητικών φαινομένων Τέλος συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των παραπάνω μοντέλων.

## 2. Γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή μελέτης και βρίσκεται στην Δυτική Θεσσαλία, στην Κεντρική Ελλάδα και είναι το ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων (Σχήμα 1). Η έκτασή της είναι 1.631.21 τ.χλμ και το υψόμετρο της ορεινής περιοχής κυμαίνεται από 200 έως 2.204 μέτρα. Το ανάγλυφο απαρτίζεται από τους ορεινούς όγκους της οροσειράς της Νότιας Πίνδου, του Κόζιακα, των Χασίων και των Αντιχασίων. Η περιοχή διαρρέετο από τον άνω ρου του Πηνειού ποταμού και εμφανίζεται ένα καλά αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο με σημαντική επιφανειακή απορροή.



Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης

Οι αλπικοί σχηματισμοί, που δομούν την περιοχή ανήκουν σε τέσσερις λιθοστρωματογραφικές ενότητες: διακρίνονται στην ενότητα της Πίνδου, στην ενότητα του Κόζιακα, στην Υποπελαγονική ενότητα και στην Πελαγονική ενότητα. Επίσης απαντώνται

μολασσικοί σχηματισμοί της Μεσοελληνικής αύλακας, Νεογενείς σχηματισμοί και Τεταρτογενείς σχηματισμοί – αποθέσεις,. Τα μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης κυμαίνονται από 671,7 mm έως 1633,6 mm.

### 3. Δεδομένα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, ο γεωλογικός χάρτης καθώς και ο χάρτης των τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής μελέτης κλίμακας 1:100.000 (Μπαθρέλλος, 2005), μετεωρολογικά δεδομένα από δέκα μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ, του ΥΠΕΧΩΔΕ και του Υπουργείου Γεωργίας, τα οποία περιλάμβαναν τις μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 1973 – 2003. Επίσης πραγματοποιήθηκε εργασία υπαίθρου.

### 4. Μεθοδολογία

Μία βάση δεδομένων δημιουργήθηκε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ARC/GIS 9.0. Όλες οι γεω-πληροφορίες ψηφιοποιήθηκαν, αναλύθηκαν και εισήχθησαν στη βάση δεδομένων ως διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών. Όλα τα επίπεδα ήταν σε μορφή διανυσματική (vector) και μετατράπηκαν σε ψηφιδωτά (raster) αρχεία με μέγεθος κυψελίδας (pixel cell size) 20x20 μέτρα.

#### 4.1 Χάρτης κατολισθήσεων

Αρχικά εντοπίστηκαν οι περιοχές – θέσεις, οι οποίες εμφανίζουν κατολισθητικά φαινόμενα και κατόπιν, ακολούθησε εργασία υπαίθρου, κατά την οποία πιστοποιήθηκαν οι κατολισθητικές κινήσεις και χαρτογραφήθηκαν σε τοπογραφικό χάρτη. Ο συνολικός αριθμός των κατολισθητικών φαινομένων διαχωρίστηκε σε δύο ομάδες με τον ίδιο αριθμό κατολισθήσεων Η πρώτη ομάδα (ομάδα διερεύνησης) χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των κατολισθητικών φαινομένων και των παραγόντων που επιδρούν σε αυτά και η δεύτερη ομάδα (ομάδα ελέγχου) χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

#### 4.2 Παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Κατόπιν προσδιορίστηκαν οι παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Ο προσδιορισμός των παραγόντων έγινε με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα (Anbalagan, 1992; Temesgen et al., 2001; Donati and Turrini, 2002; Lan et al., 2004:;) καθώς επίσης από παρατηρήσεις και προσωπικές εκτιμήσεις κατά την εργασία υπαίθρου. Οι παράγοντες αυτοί είναι: η λιθολογία, τα τεκτονικά στοιχεία, οι μορφολογικές κλίσεις, το οδικό δίκτυο, το υδρογραφικό δίκτυο, η χρήση γης και οι βροχοπτώσεις.

**Λιθολογία:** Οι λιθολογικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν ανάλογα με τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά (Κούκης και Ρόζος, 1982) σε κατηγορίες, οι οποίες περιλαμβάνουν αντίστοιχες λιθολογικές ενότητες και είναι:

τεταρτογενείς σχηματισμοί (αλλουβιακές αποθέσεις, κώνοι κορημάτων και πλευρική κορήματα), -νεογενείς σχηματισμοί (χερσαίες αποθέσεις), - μολασσικοί σχηματισμοί (σχηματισμοί Τρικάλων -μάργες και ασβεστόλιθοι-, ανώτερη σειρά Μετεώρων -κυρίως κροκαλοπαγή-, κατώτερη σειρά Μετεώρων -κυρίως κροκαλοπαγή-, κλαστικοί σχηματισμοί και ασβεστόλιθοι Κρητιδικού της Πίνδου, στρώματα μετάβασης του φλύσχη της Πίνδου, πρώτος φλύσχος της Πίνδου, φλύσχος της Υποελαγονικής), - ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι Κρητιδικού της Πίνδου, ασβεστόλιθοι Κρητιδικού του Κόζιακα, ασβεστόλιθοι Κρητιδικού της Υποελαγονικής, ασβεστόλιθοι Ιουρασικού της Πίνδου, ασβεστόλιθοι Ιουρασικού του Κόζιακα, ασβεστόλιθοι Τριαδικού της Πίνδου), - σχιστοκερατολιθική διάπλωση (κερατόλιθοι της Πίνδου, αργιλοπηριτιτικοί σχηματισμοί του Κόζιακα, ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι του Κόζιακα), - μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή

Πετρώματα (ημικρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής, σχιστόλιθοι της Πελαγονικής, γνεύσιοι της Πελαγονικής), και οφιολιθικοί σχηματισμοί.

Τεκτονικά στοιχεία: Τα τεκτονικά στοιχεία της περιοχής μελέτης που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι φωτογραμμώσεις, τα ρήγματα, οι επωθήσεις και οι επιπέδσεις (Μπαθρέλλος, 2005). Με σκοπό τη διερεύνηση των κατολισθήσεων σε σχέση με την απόσταση από τα τεκτονικά στοιχεία δημιουργήθηκαν συνολικά 45 κατηγορίες αποστάσεων, με ισοδιάστημα 100 μέτρων.

Μορφολογικές κλίσεις: Η ταξινόμηση των μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή μελέτης, προήλθε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους δημιουργήθηκε από τοπογραφικούς χάρτες με ισο-διάσταση 20m. Οι μορφολογικές κλίσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε: 0° - 10°, 10° - 20°, 20° - 30°, >30°.

Οδικό δίκτυο: Τα δεδομένα για το οδικό δίκτυο προήλθαν από τους τοπογραφικούς χάρτες. Όπως και στην περίπτωση των τεκτονικών στοιχείων έτσι και στο οδικό δίκτυο κατασκευάστηκαν 24 ζώνες αποστάσεων γύρω από τους δρόμους που το μήκος του ποικίλλει από 100 έως 2.400 μέτρα.

Υδρογραφικό δίκτυο: Το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες και έγινε ταξινόμηση και αρίθμηση όλων των κλάδων του με τη μέθοδο Strahler (1957). Χρησιμοποιήθηκαν οι κλάδοι 3ης και μεγαλύτερης τάξης του υδρογραφικού δικτύου διότι εκτιμήθηκε ότι οι κλάδοι μεγάλων τάξεων προκαλούν μεγαλύτερα και σημαντικότερα προβλήματα διάβρωσης και υποσκαφών. Όπως και στις άλλες δύο περιπτώσεις γραμμικών στοιχείων, κατασκευάστηκαν ζώνες αποστάσεων με ισο-διάστημα 100 μέτρων και απόσταση από 100 έως 1.900 μέτρα.

Χρήση γης: Η χρήση γης για την περιοχή μελέτης προήλθε από τα δεδομένα του προγράμματος CORINE 2000 (Bossard et al 2000). Οι χρήσεις γης κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής: δασώδεις εκτάσεις, εναλλαγές δένδρων με θάμνους, θαμνώδεις εκτάσεις, χορτώδεις εκτάσεις με διάσπαρτα δένδρα και θάμνους, χορτώδεις εκτάσεις, καλλιεργήσιμες εκτάσεις και γυμνές εκτάσεις.

Βροχοπτώσεις: Οι βροχοπτώσεις μελετήθηκαν με τη χρήση των πολυγώνων της μεθόδου Thiessen. Η περιοχή διαιρέθηκε σε δέκα πολύγωνα σε σχέση με το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης από τους υπάρχοντες δέκα τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς.

#### 4.3 Βαθμονόμηση των κατηγοριών των παραγόντων που επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Η κάθε κατηγορία του κάθε παράγοντα κατολισθησιμότητας έχει διαφορετική σημασία στην εκδήλωση κατολισθήσεων. Έτσι η βαθμονόμηση κάθε κλάσης θεωρήθηκε απαραίτητη βασισμένη στην επιδεκτικότητα για εκδήλωση κατολισθήσεων. Αρχικά μελετήθηκε η σχέση των κατολισθήσεων με τις κατηγορίες των παραγόντων κατολισθησιμότητας και συγκεκριμένα ο αριθμός των περιστατικών των κατολισθήσεων που εμπίπτει σε κάθε κατηγορία και σε κάθε παράγοντα χωριστά, προκειμένου να διερευνηθεί η συχνότητα των κατολισθήσεων σε κάθε μία. Η βαθμονόμηση βασίστηκε στην κατανομή της συχνότητας των περιστατικών σε κάθε κατηγορία. Στη συνέχεια διαπιστώθηκε ότι οι κατηγορίες των παραγόντων κατολισθησιμότητας παρουσιάζουν ανομοιογένεια μεταξύ τους, όσο αφορά τη συχνότητα των περιστατικών. Έτσι έγινε μία ενιαία βαθμονόμηση σε κάθε κατηγορία χωριστά και αντικαταστάθηκε το αριθμητικό στοιχείο της συχνότητας με το βαθμό επικινδυνότητας για κατολίπηση. Τέσσερα επίπεδα επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκαν: χαμηλή, μέση υψηλή και πολύ υψηλή.

#### 4.4 Μοντέλα για την συνολική εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η εκδήλωση των κατολισθήσεων εξαρτάται από την αλληλεπίδραση διαφόρων παραγόντων. Δεδομένου ότι είναι δύσκολο να καθοριστεί ο βαθμός αυτής της αλληλεπίδρασης, στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια να συνδυαστούν οι παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων με δύο διαφορετικές μεθόδους. Οι ίδιοι παράγοντες



κατολισθησιμότητας και το ίδιο σύστημα βαθμονόμησης εφαρμόζονται στις δύο μεθόδους που βασίζονται σε κανόνες λογικής. Οι κατηγορίες επικινδυνότητας σε μία περιοχή είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιπέδων των μεμονωμένων παραγόντων που χρησιμοποιούν τις ακόλουθες διαδικασίες:

i) Μοντέλο του μέγιστου παράγοντα (MaF model)

Εκτιμήθηκε κατά την εργασία υπαίθρου ότι ο παράγοντας με τη μεγαλύτερη τιμή σε επίπεδο επικινδυνότητας σε ορισμένες περιπτώσεις κατολισθήσεων πιθανά ήταν ο κύριος παράγοντας για κατολίπηση. Όμως ο παράγοντας αυτός δεν ήταν κοινός σε όλες τις περιπτώσεις. Για τους λόγους αυτούς υιοθετήθηκε ένα μοντέλο που εκφράζει αυτό τον πιθανό σημαντικό παράγοντα. Το συνολικό επίπεδο επικινδυνότητας αποδίδεται σύμφωνα με το μέγιστο παράγοντα επιπέδων κινδύνου. Έτσι, για παράδειγμα μία κυψελίδα με χαμηλή επικινδυνότητα στη χρήση γης, μέση στη βροχόπτωση, υψηλή στη μορφολογική κλίση και πολύ υψηλή στη λιθολογία εκτιμήθηκε συνολικά ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

ii) Μοντέλο του πολλαπλού παράγοντα (MuF model)

Σε άλλες περιπτώσεις κατά την εργασία υπαίθρου παρατηρήθηκε ότι ένας αριθμός κατολισθήσεων εκδηλωνόταν με την ταυτόχρονη δράση δύο ή περισσότερων παραγόντων που είχαν πολύ υψηλό ή υψηλό επίπεδο επικινδυνότητας. Έτσι εφαρμόστηκε ένα δεύτερο μοντέλο που ελήφθησαν υπόψη οι παραπάνω παράμετροι. Το Μοντέλο του πολλαπλού παράγοντα (μοντέλο MuF) είναι ένα μοντέλο που βασίστηκε στον αριθμό των παραγόντων, που έχουν χαρακτηριστεί ως υψηλού και πολύ υψηλού επιπέδου επικινδυνότητας. Η δημιουργία του μοντέλου στηρίχθηκε στην καταμέτρηση του αριθμού των παραγόντων κατολισθησιμότητας, που είχαν τιμή επικινδυνότητας ίση με πολύ υψηλή, υψηλή, μέση ή χαμηλή σε κάθε κυψελίδα. Για παράδειγμα μετά τον συνδυασμό των παραγόντων κατολισθησιμότητας μία κυψελίδα είχε τέσσερις τιμές πολύ υψηλής, μία υψηλής, μία μέσης, και μία χαμηλής. Αυτή η κυψελίδα θεωρήθηκε ως πολύ επιρρεπής για κατολίπηση και χαρακτηρίστηκε ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας.

Στηριζόμενοι στους πιθανούς συνδυασμούς των επιπέδων επικινδυνότητας των επτά παραγόντων κατολισθησιμότητας το συνολικό επίπεδο επικινδυνότητας ορίστηκε με τη χρήση των ακόλουθων κανόνων:

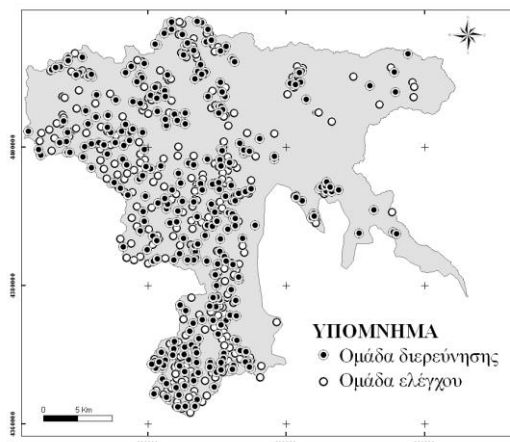
1. Πολύ υψηλή επικινδυνότητα: κυψελίδες με περισσότερους από δύο με πολύ υψηλή ή τέσσερις υψηλής επικινδυνότητας παράγοντες ( $ΠΥ > 2$  ή  $Υ > 4$ ).
2. Υψηλή επικινδυνότητα: κυψελίδες με δύο πολύ υψηλής επικινδυνότητας παράγοντες ή λιγότερους από δύο και τέσσερα υψηλής επικινδυνότητας παράγοντες ( $ΠΥ = 2$  ή ( $ΠΥ < 2$  και  $Υ = 4$ )).
3. Μέση επικινδυνότητα: κυψελίδες με ένα πολύ υψηλής και περισσότερους από τέσσερα υψηλής επικινδυνότητας παράγοντες ( $ΠΥ = 1$  και  $Υ < 4$ ).
4. Χαμηλή επικινδυνότητα: κυψελίδες με κανένα πολύ υψηλής και λιγότερους από τέσσερα υψηλής επικινδυνότητας παράγοντες ( $ΠΥ = 0$  και  $Υ < 4$ ).

## 5. Αποτελέσματα

### 5.1 Η σχέση των κατολισθήσεων με κάθε κατηγορία των παραγόντων που επιδρούν στην εκδήλωσή τους και η βαθμονόμησή τους.

Ο αριθμός των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή έρευνας υπολογίστηκε ότι είναι ίσος με 608. Στο σχήμα 2 απεικονίζεται ο χάρτης των κατολισθητικών φαινομένων με τις δύο ομάδες κατολισθήσεων (διερεύνησης και ελέγχου). Η ομάδα διερεύνησης περιέχει 304

κατολισθήσεις και χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί η σχέση των κατολισθήσεων με τις κατηγορίες των παραγόντων κατολισθησιμότητας και για να γίνει η βαθμονόμησή τους.



Σχήμα 2. Οι κατολισθήσεις της περιοχής μελέτης

Η κατανομή της συχνότητας των περιστατικών των κατολισθήσεων σε κάθε μία κατηγορία παράγοντα κατολισθησιμότητας και η αντίστοιχη βαθμονόμησή τους ανάλογα με την επίπεδο επικινδυνότητας τους δίνεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Η συχνότητα των κατολισθήσεων και η βαθμονόμηση κάθε κατηγορίας παραγόντων

Παράγοντες	Συχνότητα (%)	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας	Παράγοντες	Συχνότητα (%)	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας
Λιθολογία			Μορφολογικές κλίσεις		
Αλλουβιακές αποθέσεις	1.6	Χαμηλή	>30°	39.6	Πολύ υψηλή
Κώνιοι κορημάτων, πλευρικά κορημάτα	6.9	Υψηλή	Οδικό δίκτυο		
Νεογενείς χερσαίες αποθέσεις	0.7	Χαμηλή	0-100	14.2	Πολύ υψηλή
Σχηματισμοί Τρικάλων	0.3	Χαμηλή	100-200	12.8	Πολύ υψηλή
Ανώτερη σειρά Μετεώρων	3.6	Μέση	200-300	9.9	Υψηλή
Κατώτερη σειρά Μετεώρων	6.6	Υψηλή	300-400	10.5	Υψηλή
Σχηματισμοί Επταχωρίου-Κηπουριού	4.6	Μέση	400-500	6.9	Μέση
Σχηματισμοί Κρανιάς	1.0	Χαμηλή	500-600	5.9	Μέση
Σχηματισμοί Ριζώματος	2.3	Μέση	>600	39.8	Χαμηλή
Φλύσχος της Πίνδου	16.8	Πολύ υψηλή	Υδρογραφικό δίκτυο		
Στρώματα μετάβασης	0.7	Χαμηλή	0-100	15.1	Πολύ υψηλή
Πρώτος φλύσχος	5.3	Υψηλή	100-200	14.8	Πολύ υψηλή

Παράγοντες	Συχνότητα (%)	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας	Παράγοντες	Συχνότητα (%)	Βαθμονόμηση επικινδυνότητας
Φλύσχη της Υποπελαγονικής	0.3	Χαμηλή	200-300	11.2	Υψηλή
Ασβεστόλ. Κρητ. Πίνδου	11.9	Πολύ υψηλή	300-400	11.5	Υψηλή
Ασβεστ. Κρητ Κόζιακα	1.0	Χαμηλή	400-500	9.2	Μέση
Ασβ. Κρ. Υποπελαγονικ.	0.3	Χαμηλή	500-600	7.2	Μέση
Ασβεστόλ. Ιουρ. Πίνδου	1.3	Χαμηλή	600-700	7.6	Μέση
Ασβεστόλ. Ιουρ Κόζιακα	9.5	Υψηλή	>700	23.4	Χαμηλή
Ασβεστόλ. Τριαδ. Πίνδου	0.3	Χαμηλή	Χρήση γης		
Κερατόλιθοι Πίνδου	9.8	Υψηλή	Δασώδεις εκτάσεις	9.2	Χαμηλή
Αργιλοπυριτικοί σχηματισμοί Κόζιακα	3.1	Μέση	Εναλλαγές δένδρων θάμνων	9.6	Χαμηλή
Ασβεστόλιθοι & κερατόλιθοι Κόζιακα	3.3	Μέση	Θαμνώδεις εκτάσεις	11.2	Μέση
Ημικρυστ. ασβεστόλιθοι Πελαγονικής	0.3	Χαμηλή	Χόρτα δένδρα θάμνοι	11.9	Μέση
Σχιστόλιθοι & κρυστ. ασβεστόλ. Πελαγονικής	0.3	Χαμηλή	Χορτώδεις εκτάσεις	17.5	Υψηλή
Σχιστόλιθοι της Πελαγονικής	0.3	Χαμηλή	Καλλιέργειες	10.6	Μέση
Γνεύσιοι Πελαγονικής	1.3	Χαμηλή	Οικισμοί	10.2	Μέση
Οφιολιθικοί σχηματισμοί	6.6	Υψηλή	Γυμνές εκτάσεις	19.8	Πολύ υψηλή
Τεκτονικές γραμμές			Βροχόπτωση		
0-100	15.5	Πολύ υψηλή	671.7	2.3	Χαμηλή
100-200	14.8	Πολύ υψηλή	722.4	2.0	Χαμηλή
200-300	11.5	Υψηλή	729.3	3.6	Χαμηλή
300-400	11.2	Υψηλή	788.7	9.6	Μέση
400-500	10.5	Υψηλή	879.2	9.6	Μέση
500-600	7.2	Μέση	894.3	13.2	Υψηλή
>600	29.3	Χαμηλή	1,061.7	12.2	Υψηλή
Μορφολογικές κλίσεις			1,188.4	16.5	Πολύ υψηλή
0-10°	9.6	Χαμηλή	1,568.6	15.2	Πολύ υψηλή
10-20°	21.1	Μέση	1,633.6	15.8	Πολύ υψηλή
20-30°	29.7	Υψηλή			

### 5.2 Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας με την εφαρμογή του μοντέλου MaF

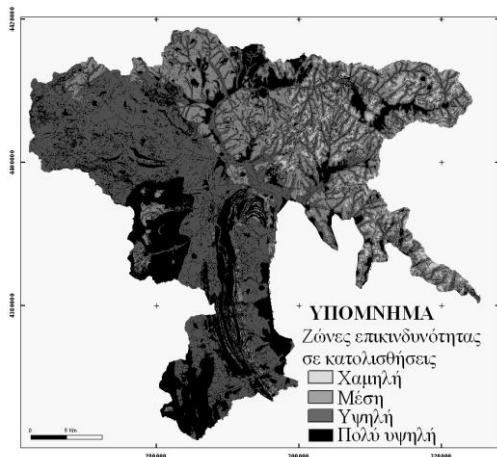
Με την εφαρμογή των δύο μοντέλων κατασκευάστηκαν οι δύο διαφορετικοί χάρτες κατολισθητικής επικινδυνότητας. Η περιοχή του κάθε χάρτη ανάλογα με τον εκτιμηθέντα βαθμό επικινδυνότητάς για κατολίσηση κατηγοριοποιήθηκε σε τέσσερις ζώνες: χαμηλής επικινδυνότητας (ΧΕ), μέσης επικινδυνότητας (ΜΕ), υψηλής επικινδυνότητας (ΥΕ) και πολύ υψηλής επικινδυνότητας (ΠΥΕ).

Πίνακας 2. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου MaF

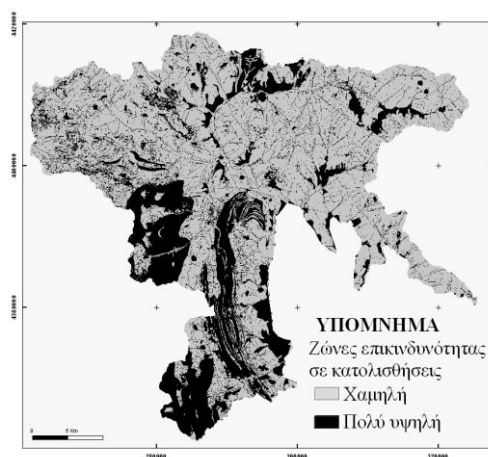
Ζώνη	Έκταση ζώνης (τ.χλμ)	Έκταση (%)	Ποσοστό κατολισθήσεων (%)
ΠΥΕ	504,53	30,93	70,68
ΥΕ	833,22	51,08	24,33
ΜΕ	262,95	16,12	4,95
ΧΕ	30,5	1,87	0,04
Σύνολο	1.631,21	100,00	100,00

Η ομάδα ελέγχου των κατολισθήσεων χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των παραγόμενων δύο χαρτών εκτίμησης της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις. Σε κάθε ζώνη επικινδυνότητας υπολογίστηκε το ποσοστό των κατολισθήσεων της ομάδας ελέγχου που βρίσκονται σε αυτές, για κάθε έναν από τους δύο χάρτες. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ο χάρτης επικινδυνότητας για κατολισθήσεις ο οποίος δημιουργήθηκε με την εφαρμογή του μοντέλου MaF και στον πίνακα 2 δίνεται η έκταση που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη επικινδυνότητας, το ποσοστό της έκτασης των ζωνών σε σχέση με τη συνολική και το ποσοστό του αριθμού των κατολισθήσεων που εμπίπτουν σε κάθε ζώνη.

Το μοντέλο αυτό δίνει πολύ υψηλό ποσοστό έκτασης των ΠΥΕ και ΥΕ ζωνών το οποίο αθροιστικά φτάνει το 82% της συνολικής έκτασης. Εξαιτίας της μεγάλης αθροιστικής έκτασης των ΠΥΕ και ΥΕ ζωνών είναι αναμενόμενο και το πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό των κατολισθήσεων που εμπίπτουν σε αυτές, το οποίο ξεπερνά το 95%. Στις άλλες δύο ζώνες τα ποσοστά της έκτασης τους αλλά και της έκτασης των κατολισθήσεων είναι πάρα πολύ χαμηλά. Το μοντέλο MaF όπως προκύπτει από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του, είναι μία γρήγορη, εύκολη και οικονομική επεξεργασία που μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη και χρησιμοποιώντας μόνο την ΠΥΕ ζώνη. Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την εφαρμοσμένη χρήση του κατασκευάστηκε ένας νέος χάρτης (Σχήμα 4) με δύο ζώνες την Υψηλής και Χαμηλής επικινδυνότητας. Στον χάρτη έγινε νέα κατηγοριοποίηση όπου η ΥΕ αντιστοιχεί στην παλαιά ΠΥΕ και η ΧΕ με όλες τις υπόλοιπες ζώνες μαζί.



Σχήμα 3. Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας με το μοντέλο MaF.



Σχήμα 4. Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικής με νέα κατηγοριοποίηση

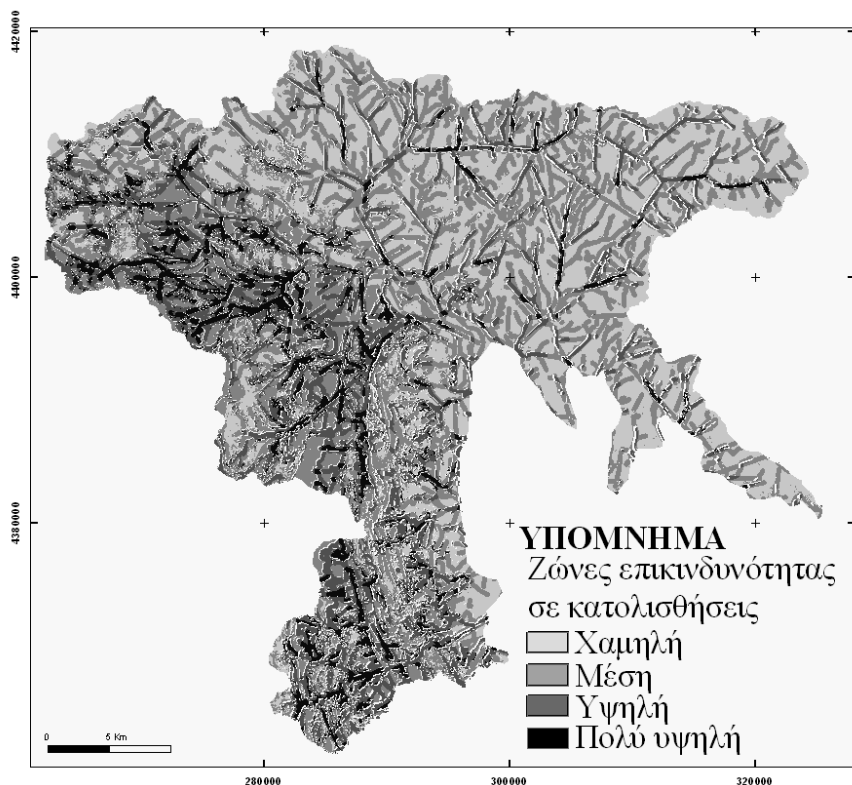
## 5.3 Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας με την εφαρμογή του μοντέλου MuF

Με την εφαρμογή του μοντέλου MuF δημιουργήθηκε ο χάρτης του σχήματος 5, ενώ τα αποτελέσματα του ελέγχου του μοντέλου παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

*Πίνακας 3. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου MuF*

Ζώνη	Έκταση ζώνης (τ.χλμ)	Έκταση (%)	Ποσοστό κατολισθήσεων (%)
ΠΥΕ	158,96	9,75	31,44
ΥΕ	466,16	28,58	31,09
ΜΕ	578,91	35,48	22,35
ΧΕ	421,18	26,19	15,12
Σύνολο	1.631,21	100,00	100,00

Στο μοντέλο MuF την μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει πρωταρχικά η ΜΕ και δευτερευόντως η ΥΕ ζώνη. Αντίθετα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου μοντέλου, το σημαντικό αποτέλεσμα είναι το μικρό ποσοστό έκτασης που καταλαμβάνει η ΠΥΕ ζώνη.



Σχήμα 5. Χάρτης εκτίμησης κατολισθητικής επικινδυνότητας με το μοντέλο MuF

Η έκταση αυτή είναι κατά 3,17 φορές μικρότερη από εκείνη στο μοντέλο MaF.. Αθροιστικά η έκταση που καταλαμβάνουν οι ΠΥΕ και ΥΕ ζώνες είναι το 38.32% της συνολικής έκτασης και σε αυτές βρίσκεται το 62.53% της έκτασης των κατολισθήσεων. Το μοντέλο MuF αποτελεί μία πολύ καλή μέθοδο, η οποία δίνει αξιόπιστα και γρήγορα γεωλογικά αποτελέσματα.

## 6. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Οι χάρτες επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις χρησιμεύουν στον χωροταξικό σχεδιασμό, για τον καθορισμό των χρήσεων γης και στον σχεδιασμό των μελλοντικών κατασκευών και τεχνικών έργων. Στις ΜΕ και ΧΕ ζώνες μπορεί να γίνει σχεδιασμός οποιασδήποτε κατασκευής ή δραστηριότητας. Σε αντίθεση χρειάζεται ειδικός και προσεκτικός σχεδιασμός στις ΥΕ and ΠΥΕ ζώνες.

Σημαντικοί παράγοντες στην αξιολόγηση ενός μοντέλου είναι η ταχύτητα και η ευκολία εφαρμογής καθώς και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του. Επίσης, στον χωροταξικό σχεδιασμό και στο σχεδιασμό των κατασκευών σημαντικό ρόλο παίζει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη η έκταση των ΠΥΕ και ΥΕ ζωνών και όσο το δυνατόν μεγαλύτερο το ποσοστό των κατολισθήσεων που συμπίπτουν με τις ζώνες αυτές. Από τεχνικής άποψης το μοντέλο ΜαF είναι γρήγορο και αρκετά εύκολο να εφαρμοστεί δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μόνο κανόνες λογικής και δεν είναι απαραίτητη η εκτίμηση της συνέργειας της αλληλοεπίδρασης των διαφορετικών παραγόντων. Απεναντίας το μοντέλο ΜuF είναι περισσότερο αξιόπιστο από το μοντέλο ΜαF. Αυτό συμβαίνει διότι μόνο ένας παράγοντας, ο παράγοντας υψηλότερης επικινδυνότητας αποφασίζει το συνολικό επίπεδο επικινδυνότητας από το μοντέλο ΜαF, ενώ κατά την εφαρμογή του μοντέλου ΜuF εξετάζονται όλοι οι παράγοντες. Η χωρική κατανομή κάθε ΠΥΕ ζώνης στους παραχθέντες χάρτες επικινδυνότητας για κατολισθήσεις συμπίπτει. Συγκεκριμένα οι ζώνες βρίσκονται στο δυτικό, νοτιοδυτικό και κεντρικό τμήμα του κάθε χάρτη. Επισημαίνεται ότι ανεξάρτητα από την παρατηρούμενη χωρική σύμπτωση των ζωνών, το εύρος έκτασης κάθε μίας από αυτές είναι διαφορετικό. Το μοντέλο ΜuF παρουσιάζει πολύ μικρή χωρική εξάπλωση της ΠΥΕ ζώνης και το ποσοστό των κατολισθήσεων που εμπίπτουν στην ζώνη είναι αρκετά υψηλό. Πρέπει να σημειωθεί ότι η χωρική εξάπλωση αθροιστικά των ΠΥΕ και ΥΕ ζωνών για το μοντέλο ΜuF είναι πολύ μικρή και το ποσοστό των κατολισθήσεων που εμπίπτουν σε αυτές είναι πολύ μεγάλο. Έτσι, κατά τον χωροταξικό σχεδιασμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενιαία οι ΠΥΕ και ΥΕ ζώνες. Αντίθετα το μοντέλο ΜαF εμφανίζει πολύ μεγαλύτερη χωρική εξάπλωση της ΠΥΕ ζώνης αλλά και το υψηλότερο ποσοστό κατολισθήσεων. Έτσι η ενοποιημένη ΠΥΕ και ΥΕ ζώνη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον χωροταξικό σχεδιασμό εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η ΠΥΕ ζώνη. Επειδή, το μοντέλο ΜαF έχει γρήγορη εφαρμογή, εντοπίζει περιοχές μέγιστου κινδύνου και καθορίζει περιοχές προτεραιότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μικρή κλίμακα χαρτογράφηση περιοχών με κίνδυνο κατολισθήσεων. Δηλαδή μπορεί να εφαρμοστεί σε επίπεδο χώρας ή περιφέρειας, για να εντοπιστούν οι ευάλωτες περιοχές που πρέπει να μελετηθούν εκτενέστερα. Απεναντίας το μοντέλο ΜuF μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μέση και μεγάλης κλίμακας χαρτογράφηση περιοχών με κίνδυνο κατολισθήσεων.

## 7. Συμπεράσματα

Επειδή ο βαθμός αλληλοεπίδρασης των παραγόντων στην εκδήλωση των κατολισθήσεων είναι δύσκολο να προσδιορισθεί, για αυτό έγινε προσπάθεια στην εργασία αυτή να συνδυασθούν οι παράγοντες αυτοί με διαφορετικές μεθόδους και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά τους. Με τη χρήση των τεχνικών των ΓΣΠ, σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα εκτίμησης της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις και τελικό αποτέλεσμα ήταν η παραγωγή δύο διαφορετικών χαρτών. Τα δύο μοντέλα που εφαρμόστηκαν βασίζονται σε κανόνες λογικής και είναι το μοντέλο του μέγιστου παράγοντα (μοντέλο ΜαF) και το μοντέλο του πολλαπλού παράγοντα (μοντέλο ΜuF). Το μοντέλο ΜαF στηρίχθηκε στο ότι το συνολικό επίπεδο της εκτιμώμενης επικινδυνότητας; ταξινομήθηκε σύμφωνα με το μέγιστο επίπεδο επικινδυνότητας ενός παράγοντα. Το μοντέλο ΜuF είναι ένα μοντέλο που βασίζεται στον συνδυασμό των παραγόντων που έχουν χαρακτηριστεί ως υψηλής ή πολύ υψηλής επικινδυνότητας για κατολισθήσεις.

Τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον χωροταξικό σχεδιασμό, στον καθορισμό των χρήσεων γης και στον σχεδιασμό των μελλοντικών

κατασκευών και στα τεχνικά έργα. Το μοντέλο MaF είναι το πιο εύκολο και γρήγορο στην δημιουργία και στην εφαρμογή του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μικρής κλίμακας χαρτογράφηση, δηλαδή σε επίπεδο χώρας ή περιφέρειας, με σκοπό να εντοπιστούν οι ευάλωτες περιοχές που πρέπει να μελετηθούν εκτενέστερα. Απεναντίας το μοντέλο MuF μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μέση και μεγάλης κλίμακας χαρτογράφηση περιοχών με κίνδυνο κατολισθήσεων.

## Βιβλιογραφία

Γκουρνέλλος Θ., Χαλκιάς Χ. και Τσαγκάς Δ. 2006. Επιδεκτικότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων για τον Ελληνικό Χώρο. Ανάλυση με την χρήση Κανόνων Ασαφούς Λογικής και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Γεωγραφίες, 12, 114-126.

Κούκης, Γ. και Ρόζος, Δ. 1982. Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελλαδικό Χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. Ορυκτός Πλούτος, 16, 53 – 69.

Λέκκας, Ε. 2000. Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές. Access Pre-Press, Αθήνα.

Μπαθρέλλος Γ. 2005. Γεωλογική, γεωμορφολογική και γεωγραφική μελέτη των αστικών περιοχών του Νομού Τρικάλων – Δυτικής Θεσσαλίας. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, 567 σ.

Anbalagan R. 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology, 32, 269-27

Bossard M, Feranec J and Otahel J 2000 CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. European Environment Agency, Copenhagen.

Carrara, A., Giovanni, C., and Frattini P., 2003. Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms, 28, 1125 – 1142.

Dai FC, Lee CF, and Ngai YY., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology, 64, 65 – 87.

Donati L, Turrini MC. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). Engineering Geology, 63, 277 – 289.

Hansen A., 1984. Landslide hazard. In: Brunnsden D. and Prior D.B. (eds) Slope Instability, J. Wiley & Son, 523 – 602, New York.

Lan HX, Zhou CH, Wang LJ, Zhang HY and Li RH., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. Engineering Geology, 76, 109 – 128.

Strahler, A. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Amer. Geophysys. Union Trans., 38 (6), 913-920.

Temesgen B., Mohammed MU, and Korme T., 2001. Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to the Landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. Phys. Chem. Earth (C), 26(9), 665 – 675.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ

Παγώνας Μ., Κοντόπουλος Ν.

*Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Ιζηματολογίας*

### Περίληψη

Σκοπός στις εργασίες είναι ο υπολογισμός στις εδαφικής απώλειας εξαιτίας στις δράσης του νερού, χρησιμοποιώντας την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ)  $SE=RxKxLSxCxP$ . Ο τύπος στις υπολογίζει τη μέση ετήσια εδαφική διάβρωση σε καλλιεργούμενες και μη εκτάσεις αλλά δε λαμβάνει υπόψη τη μεταφορά ιζήματος. Η διαβρωτικότητα στις βροχόπτωσης ΣΤΙΣ υπολογίζεται βάσει του ετήσιου ύψους βροχής. Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (Κ) προσδιορίστηκε βάσει των γεωλογικών σχηματισμών. Ο τοπογραφικός συντελεστής (LS) προσδιορίστηκε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) στις περιοχής έρευνας. Τέλος, οι συντελεστές φυτοκάλυψης ΣΤΙΣ και διαχείρισης των εδαφών (Ρ) προέκυψαν από χάρτες φυτοκάλυψης και χρήσεων γης του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης. Για τη διαχείριση των παραπάνω δεδομένων και των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι περιοχές υψηλού κινδύνου παρατηρούνται στα κεντρικά και υψηλότερα τμήματα στις λεκάνης απορροής του Βολιναίου (Αργυρά, Σελλά, Πιτίτσα), ενώ στις λεκάνες του Σέλεμνου και του Ξυλοκέρα περιορίζονται στα ενδιάμεσα και κατώτερα τμήματα.

### SOIL EROSION ESTIMATION WITH THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION: A CASE STUDY OF THREE HELLENIC BASINS, NW PELOPONNESE, GREECE

Pagonas M., Kontopoulos N.

*University of Patras, Department of Geology, Laboratory of Sedimentology*

### Abstract

The aim of this paper was to estimate the soil loss due to water by using the simple empirical model of the Universal Soil Loss Equation (USLE)  $SE=RxKxLSxCxP$ . The model calculates the mean annual soil erosion from cultivated (or non-) lands and does not take into account sediment yield. A Geographical Information System (GIS) was used as a tool to handle and manage data for application of the model. The R-factor (rainfall erosivity) was estimated from the mean annual rainfall-erosivity relationship. The K-factor (soil erodibility) was determined according the soil structure and permeability. The LS-factor (topographic) was determined from a Digital Elevation Model (DEM) of the study area. The C-factor (cropping management) was determined from maps of vegetation cover data, obtained from the Ministry of Agriculture, while the P-factor (support practice) was estimated according the human activities against soil erosion. From the results obtained regions of high risk of soil erosion are mainly located at the middle and the upper parts of Volinaios basin (Argyra, Sella, Pititsa) while in Selemnos and Xylokeras basins are limited at the middle to lower parts.

**Λέξεις κλειδιά:** Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας, εδαφική διάβρωση, Ρίο.



**Key words:** Universal Soil Loss Equation, soil erosion, Rio.

## 1. Εισαγωγή

Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται στη ΒΔ Πελοπόννησο. Αποτελείται από τις υδρολογικές λεκάνες των χειμάρρων Σέλεμνου, Ξυλοκέρα και Βολιναίου και καλύπτει 68.626 χλμ<sup>2</sup>. Είναι ημιορεινή έως ορεινή, με το μέσο υψόμετρο να κυμαίνεται στα 480.74 m. Η μέση κλίση της περιοχής ανέρχεται στα 42.04%. Το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση και ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου.

Σκοπός της εργασίας είναι να εντοπιστούν περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης, με σκοπό τη μελλοντική διαχείριση των εδαφών για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

## 2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Επιστήμονες στις ΗΠΑ ανέπτυξαν την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) (Wischmeier and Smith, 1965; 1978) ως μια τεχνική εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης και αποτίμησης των διάφορων πρακτικών διατήρησης του εδαφικού στρώματος. Η ΠΕΕΑ επιτρέπει τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης για συγκεκριμένες φυσικές και ανθρωπογενείς συνθήκες. Ο υπολογισμός της εδαφικής διάβρωσης γίνεται με τον τύπο:

$$SE = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

όπου, SE η εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας (t/ha ή kg/m<sup>2</sup>), R ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), K ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (t h MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), LS ο τοπογραφικός συντελεστής που αποτελείται από το γινόμενο του συντελεστή μήκους κλιτύος (L) και του συντελεστή κλίσης κλιτύος (S) (-), C ο συντελεστής φυτοκάλυψης (-) και P ο συντελεστής διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης (-).

Η ΠΕΕΑ αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους υπολογισμού της ετήσιας εδαφικής απώλειας κυρίως λόγω της απλότητάς της στην εφαρμογή καθώς και στη συλλογή των δεδομένων.

### 2.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (R)

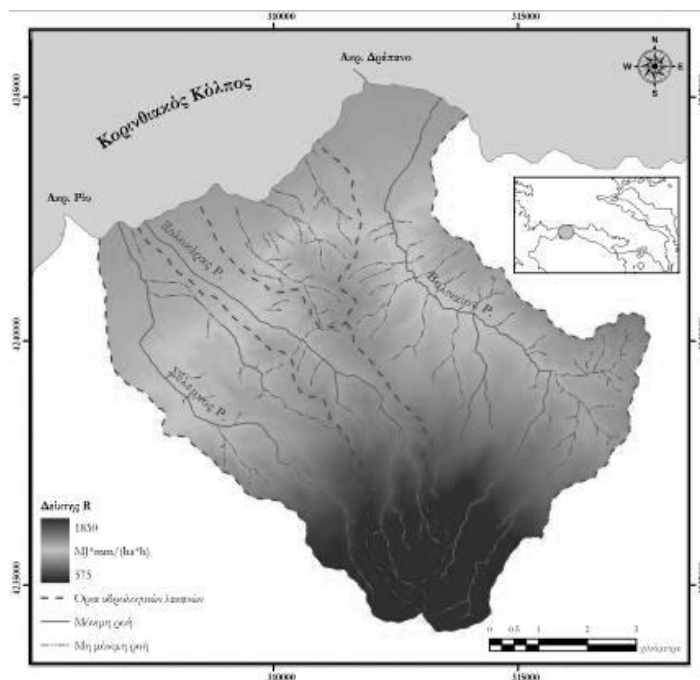
Η τιμή του συντελεστή R είναι το άθροισμα όλων των EI30 για όλες τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, όπου E είναι η κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης και I30 είναι η μέγιστη 30-λεπτη ένταση βροχόπτωσης σε κάθε καταιγίδα. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως, η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη. Έτσι, γίνεται χρήση απλών σχέσεων γραμμικής παλινδρόμησης που δίνουν το συντελεστή R σε συνάρτηση με τη μέση ετήσια βροχόπτωση N. Μια σχέση που αναπτύχθηκε στη Γερμανία (Schwertmann et al., 1990) και έχει χρησιμοποιηθεί και για τις ελληνικές συνθήκες (Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995; Ζαρρής κ.ά., 2001) είναι:

$$R = 0.83N - 17.7 \quad (2)$$

όπου, R ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, και N η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm).

Για τον υπολογισμό του συντελεστή R χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών 'Αίγιο' και 'Πάτραί', που ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), και των σταθμών 'Λεόντιο' και 'Μελίσσια', που ανήκουν στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

(ΔΕΗ), για τα έτη 1975-2004. Από την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων και με τη χρήση της παραπάνω εξίσωσης, προέκυψε ο κάρναβος κατανομής της διαβρωτικότητας της βροχοπτώσης για την περιοχή έρευνας (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Χάρτης κατανομής της διαβρωτικότητας της βροχοπτώσης

## 2.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (K)

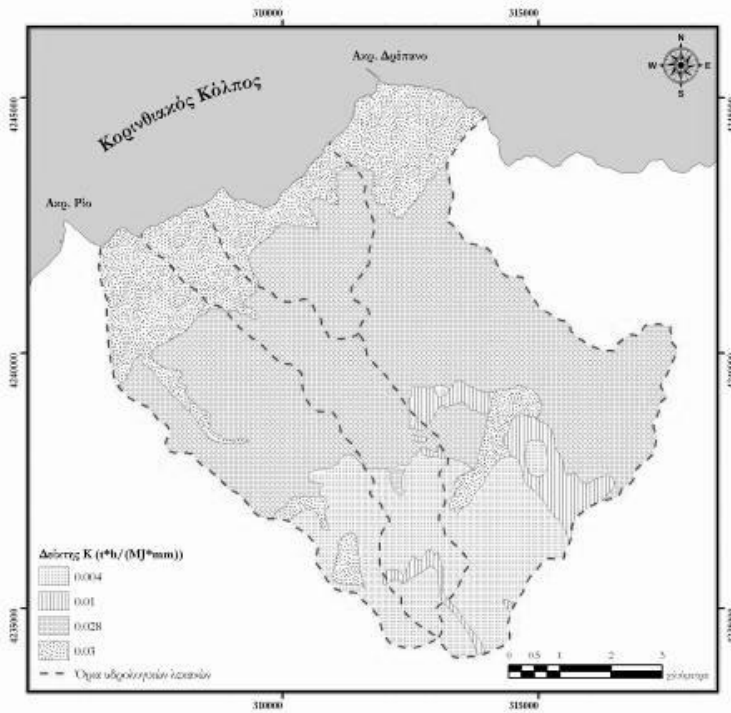
Η τιμή του συντελεστή K ορίζεται βάσει των ιδιοτήτων του εδάφους, ανάλογα δηλαδή με την υφή, την περιεκτικότητα σε άμμο - πηλό - άργιλο - οργανικό υλικό καθώς και τη δομή και την διαπερατότητά του, όπως ορίζεται από τη διεθνή βιβλιογραφία (Mitchell and Bubbenzer, 1980; Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995).

Στην παρούσα εργασία, οι τιμές του συντελεστή K προσαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση και τροποποιήθηκαν συνεκτιμώντας χαρτογραφικά δεδομένα (γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ, 1:50,000) και υπαιθριες παρατηρήσεις. Έτσι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί ομαδοποιήθηκαν με βάση τη διαβρωσιμότητά τους σε ασβεστόλιθους Πίνδου (ασβεστόλιθοι με ενδιαστρώσεις κερατολίθων και αργιλικών σχιστολίθων), σε φλύσχη Πίνδου, σε πλειοκαινικές αποθέσεις (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες) και σε τεταρτογενείς αποθέσεις (Εικόνα 2). Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή K για τους υπάρχοντες γεωλογικούς σχηματισμούς.

Πίνακας 1. Συντελεστής K με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής K
Ασβεστόλιθοι Πίνδου	0.004
Φλύσχης Πίνδου	0.01

Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής K
Πλειοκαινικές αποθέσεις	0.028
Τεταρτογενείς αποθέσεις	0.03



Εικόνα 2. Χάρτης κατανομής της εδαφικής διαβρωσιμότητας βάσει των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας

2.3 Τοπογραφικός συντελεστής (LS)

Ο τοπογραφικός συντελεστής LS είναι ο συνδυασμός δύο παραγόντων, του συντελεστή μήκους κλιτύος (L) και του συντελεστή της κλίσης κλιτύος (S). Ο συντελεστής L δίνεται από τον τύπο:

$$L = \left( \frac{x}{22.13} \right)^m \quad (3)$$

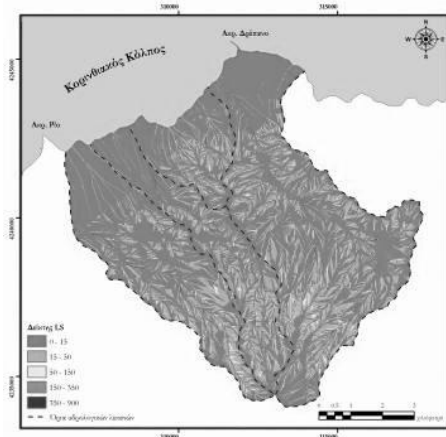
όπου x είναι το μήκος της κλιτύος σε οριζόντιο επίπεδο και m εκθέτης ο οποίος είναι ίσος με 0.5 αν η κλίση είναι  $\geq 5\%$ , 0.4 αν η κλίση είναι μεταξύ 3 και 5%, 0.3 αν η κλίση είναι μεταξύ 1 και 3% και 0.2 αν η κλίση είναι  $\leq 1\%$ .

Ο συντελεστής S δίνεται από τον τύπο:

$$S = \frac{0.43 + 0.3s + 0.043s^2}{6.413} \quad (4)$$

όπου S είναι η κλίση (%).

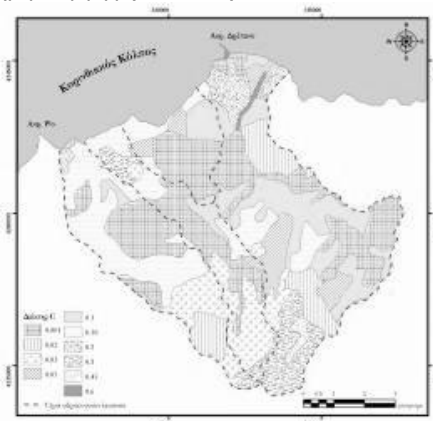
Για τον προσδιορισμό του τοπογραφικού συντελεστή, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της περιοχής (ΓΥΣ, 1:50,000). Έγινε ψηφιοποίηση των ισοψών καμπύλων και κατασκευάστηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ). Με τη χρήση προγράμματος ΓΣΠ προέκυψε ο κánaβος κατανομής του συντελεστή LS (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Χάρτης κατανομής του τοπογραφικού συντελεστή

#### 2.4 Συντελεστής φυτοκάλυψης (C)

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C προκύπτει από τα διαγράμματα των χρήσεων γης. Για την περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα κάλυψης CORINE, σε κλίμακα 1:100,000, του Οργανισμού Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ) του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Για κάθε χρήση γης που απαντάται στην περιοχή, αντιστοιχίζεται μία τιμή του συντελεστή C, η οποία προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία (Wischmeier and Smith, 1978; Schwertmann et al., 1990; Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995) και είναι προσαρμοσμένη στην περιγραφή των συγκεκριμένων χρήσεων γης. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή C, με τους αντίστοιχους κωδικούς CORINE, για τις υπάρχουσες χρήσεις γης (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Χάρτης κατανομής του συντελεστή φυτοκάλυψης με βάση τις χρήσεις γης

Πίνακας 2. Συντελεστής C με βάση τις χρήσεις γης κατά CORINE

Κωδικός	Χρήση γης	Συντελεστής C
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.3
221	Αμπελώνες	0.2
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.2
223	Ελαιώνες	0.1
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.18
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.1
244	Αγροτικές δασικές περιοχές	0.05
313	Μικτό δάσος	0.001
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.3
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.03
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	0.02
331	Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές	0.6
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.45

### 2.5 Συντελεστής διαχείρισης των εδαφών (P)

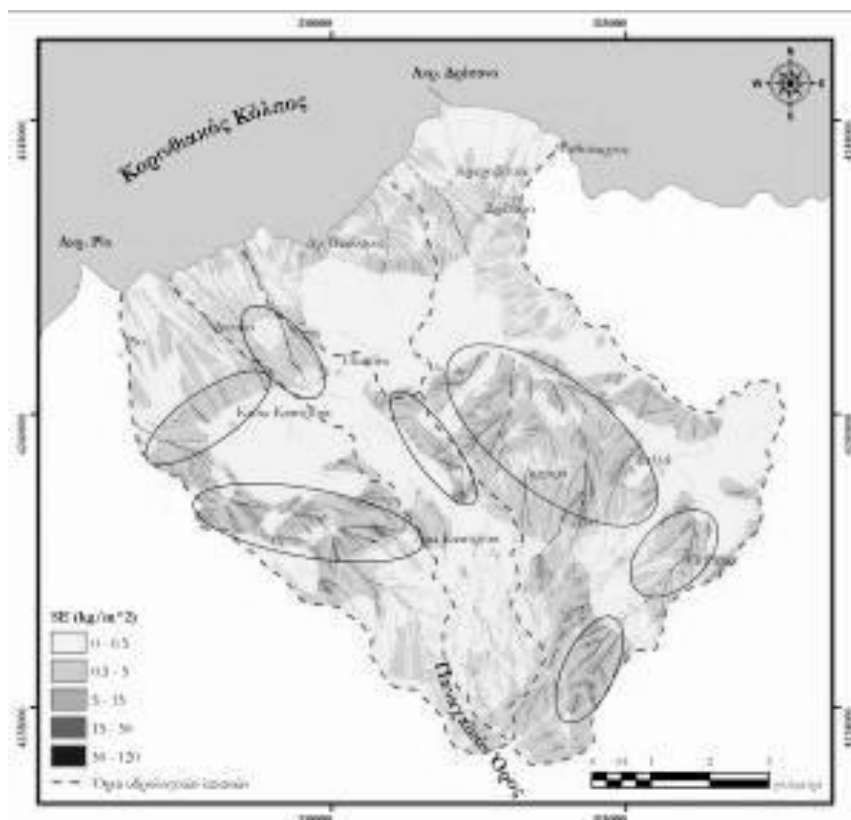
Η τιμή του συντελεστή P κυμαίνεται από 0-1, ανάλογα με τα έργα που έχουν γίνει για την αντιμετώπιση της διάβρωσης (πχ δημιουργία αναβαθμών, καλλιέργεια κατά μήκος ισοϋψών καμπύλων, κá). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξαιτίας της έλλειψης μέτρων αντιμετώπισης της διάβρωσης, ο συντελεστής P έχει τιμή 1 σε όλη την περιοχή μελέτης.

### 3. Αποτελέσματα - Εδαφική διάβρωση (SE)

Στο χάρτη της εικόνας 5 διακρίνονται οι περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής απώλειας. Τέτοιες περιοχές είναι γύρω από τους οικισμούς Αργυρά και Σελλά, που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Βολιναίου, καθώς και Πιτίσα (νότιο τμήμα). Για την υψηλή εδαφική απώλεια στις περιοχές αυτές ευθύνονται κυρίως οι ενδιάμεσες τιμές των συντελεστών K (Πλειοκαινικές-Τεταρτογενείς αποθέσεις) και C (αγροτικές δασικές περιοχές-γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία-ελαιώνες-σύνθετα συστήματα καλλιέργειας), σε συνδυασμό με τις ενδιάμεσες κλίσεις που επικρατούν στις περιοχές αυτές ( $15 < LS < 610$ ). Το ίδιο συμβαίνει και στα κεντρικά τμήματα των λεκανών απορροής των χειμάρρων Σέλεμου και Ξυλοκέρα όπου οι τιμές των συντελεστών K (Πλειοκαινικές αποθέσεις), LS και C (ελαιώνες-σύνθετες καλλιέργειες) είναι εξίσου υψηλές.

Επίσης, στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Βολιναίου, παρά το γεγονός ότι οι τιμές του συντελεστή K (ασβεστόλιθοι-φλύσχης Πίνδου) είναι αρκετά χαμηλές, οι συντελεστές C (φυσικοί βοσκότοποι-εκτάσεις με αραιή βλάστηση) και LS ( $15 < LS < 420$ ) παίρνουν υψηλές τιμές και σε συνδυασμό με το μεγάλο ύψος βροχής ( $R > 1400$ ), παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές εδαφικής απώλειας.

Αντίθετα, στο νότιο τμήμα των λεκανών απορροής των χειμάρρων Σέλεμου και Ξυλοκέρα, ενώ επικρατούν απότομες κλίσεις και το ύψος βροχής ( $R > 1300$ ) παίρνει πολύ υψηλές τιμές, οι πολύ μικρές τιμές των συντελεστών C (δασώδεις/θαμνώδεις εκτάσεις-σκληροφυλλική βλάστηση) και K (ασβεστόλιθοι-φλύσχης Πίνδου) αντιστέκονται στην εδαφική απώλεια.



Εικόνα 5. Χάρτης της εδαφικής απώλειας της περιοχής μελέτης

#### 4. Συμπεράσματα

Οι χρήσεις γης και η διαχείριση των εδαφών, σε συνδυασμό με την τοπογραφία της περιοχής, είναι οι κυριότεροι παράγοντες που συνδέονται με την εδαφική απώλεια. Αυτό φαίνεται και στις τρεις υπό μελέτη λεκάνες όπου οι παράγοντες K, LS και κυρίως ο C, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αντίσταση στη διάβρωση. Τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας έδειξαν πως περιοχές με αυξημένο κίνδυνο εδαφικής διάβρωσης παρατηρούνται στις περιοχές Αργυρά, Ξελλά και Πιτίτσα καθώς και στα κεντρικά τμήματα των λεκανών Ξελεμνου και Ξυλοκέρα.

Η έρευνα πρέπει να εστιαστεί στις χρήσεις γης, αφού η τοπογραφία, η γεωλογία και η βροχόπτωση αποτελούν αστάθμητους παράγοντες. Γι' αυτό, περιοχές με μεγάλα ύψη βροχής και απότομες κλίσεις, καθώς και σχηματισμούς που εύκολα διαβρώνονται, θα πρέπει να καλλιεργούνται με ανάλογα είδη βλάστησης που θα επιτυγχάνουν πολύ χαμηλές τιμές του συντελεστή C και επομένως της εδαφικής απώλειας.

Παράλληλα, επιτακτική είναι η ανάγκη σωστής διαχείρισης των εδαφών με τη λήψη μέτρων προστασίας κατά της διάβρωσης. Τέτοια μέτρα είναι το όργωμα κατά τις ισοϋψείς καμπύλες, η δημιουργία στην επιφάνεια των κλιτύων μικρών αναχωμάτων, κατεργασία του εδάφους σε ζώνες, όργωμα χωρίς αναστροφή, κ.ά.

Τέλος, ο εντοπισμός των περιοχών υψηλού κινδύνου εδαφικής απώλειας, οδηγεί στον

εντοπισμό περιοχών υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσης. Τέτοιες περιοχές είναι συνήθως οι περιοχές χαμηλών κλίσεων που βρίσκονται κάτω από τις περιοχές υψηλής εδαφικής διάβρωσης.

### Βιβλιογραφία

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.: Βροχομετρικά δεδομένα σταθμών 'Λεόντιο' και 'Μελίσσια', για τα έτη 1975-2004.

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: Βροχομετρικά δεδομένα σταθμών 'Αίγιο' και 'Πάτραι', για τα έτη 1975-2004.

Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1987: φύλλα χάρτη 'Ναύπακτος' και 'Χαλανδρίτσα', Κλίμακα 1:50000.

Ζαρρής, Δ., Λυκούδη, Ε. & Κουτσογιάννης, Δ., 2001: Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Ερευνητικό πρόγραμμα, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 95-108, Αθήνα.

Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, 1971: φύλλο χάρτη: 'Ναύπακτος', Κλίμακα 1:50,000.

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1984: φύλλο χάρτη: 'Χαλανδρίτσα', Κλίμακα 1:50,000.

Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος, 1993: φύλλο χάρτη: 'Πάτραι', κλίμακα 1:100,000, CORINE Land Cover.

Χρυσάνθου, Β. & Πυλιώτης, Α., 1995: Εκτίμηση της εισροής φερτών υλών σε έναν ταμιευτήρα υπό κατασκευή. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ, σ. 355-362, Θεσσαλονίκη.

Mitchell, J.K. & Bubbenzer, G.D., 1980: Soil Loss Estimation, in Kirkby, M.J. and R.P.C. Morgan, Soil Erosion, John Wiley and Sons Ltd., p. 17-62.

Schwertmann, U., Vogl, W. & Kainz, M., 1990: Bodenerosion durch Wasser, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D., 1965: Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agric. Handbook 282, U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D., 1978: Predicting rainfall erosion losses: A guide to Conservation planning. Agric. Handbook 537, USDA Sci. and Edyc. Admin., Washington D.C.

## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΡΟΚΑΛΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΝΕΔΑ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ

Παναγιωτακοπούλου Ο., Κοντόπουλος Ν.

*Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Ιζηματολογίας*

### Περίληψη

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Δυτικής Πελοποννήσου, στις ακτές του Κυπαρισσιακού Κόλπου. Η εργασία αυτή μελετά τη λιθολογία, τον αριθμητικό μέσο, τη στρογγυλότητα, τη σφαιρικότητα και το σχήμα των κροκαλών κατά μήκος της κοίτης του κατώτερου τμήματος του ποταμού Νέδα, σε τρεις σταθμούς δειγματοληψίας. Η λιθολογία των κροκαλών που συλλέχθηκαν είναι ασβεστολιθική, κερατολιθική και ψαμμιτική, με τις ασβεστολιθικές κροκάλες να κυριαρχούν έναντι των άλλων δύο λιθολογικών τύπων. Ο αριθμητικός μέσος που προκύπτει από τους επιμέρους αριθμητικούς μέσους των κροκαλών όλων των λιθολογιών γενικά μειώνεται με την απόσταση μεταφοράς. Συνολικά, και οι επιμέρους αριθμητικοί μέσοι για κάθε λιθολογία φαίνεται να ακολουθούν τη μείωση αυτή. Ο βαθμός στρογγυλότητας των κροκαλών προέκυψε από σύγκριση με τον οπτικό χάρτη του Krumbein (1941) και φαίνεται πως δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την απόσταση μεταφοράς, πιθανόν διότι οι κροκάλες αυτές έχουν σχεδόν ήδη αποκτήσει τις μέγιστες τιμές του βαθμού στρογγυλότητάς τους. Οι τιμές της σφαιρικότητας όλων των κροκαλών υπολογίστηκαν με βάση τον τύπο των Sneed & Folk (1958) όπου  $\psi = (c^2/ab)^{1/3}$ . Η σφαιρικότητα των κροκαλών δε μεταβάλλεται σημαντικά με την απόσταση μεταφοράς αφού οι κροκάλες φαίνεται να έχουν ήδη αποκτήσει τις μέγιστες τιμές σφαιρικότητάς τους. Μεγαλύτερες τιμές σφαιρικότητας παρουσιάζουν οι κερατολιθικές κροκάλες. Το σχήμα των κροκαλών που συλλέχθηκαν μελετήθηκε μέσω του διαγράμματος κατά Zingg (1935). Παρατηρήθηκε πως κυριαρχούν οι δυσκοειδείς κροκάλες, στη συνέχεια εμφανίζονται οι σφαιροειδείς και τέλος οι κυλινδρικές και οι πεπλατυσμένες. Για να εκτιμηθούν οι στατιστικές διαφορές των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το  $x^2$  test για τη λιθολογία, τη στρογγύλωση και το σχήμα των κόκκων, ενώ για την εκτίμηση των διαφορών του αριθμητικού μέσου και της σφαιρικότητας χρησιμοποιήθηκε το Mann-Whitney U test.

### GRAIN SIZE AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF NEDA'S RIVER GRAVELS IN WESTERN PELOPONNESUS

Panagiotakopoulou O., Kontopoulos N.

*University of Patras, Department of Geology, Laboratory of Sedimentology*

### Abstract

The study area is located in the central part of Western Peloponnesus, at the shores of Kyparissiakos Gulf. This work studies the lithology, the mean size, the roundness, the sphericity and the particle shape of gravels of Neda river bed, in three sampling stations in downstream area. The lithology of the collected gravels is limestone, chert and sandstone, with the limestone predominate over the other two lithological types. The mean size of the gravels of all lithologies is generally decreased with the distance of transport, except of chert's mean size that indicate an increment from the first sampling station to the second and a decrement from the second to the third. The roundness of all gravels results after comparison with the optical map of Krumbein (1941) and it doesn't present an important change with the transport's distance, probably because the gravels have already obtain their maximum roundness. The sphericity was calculated by the mathematical type of Sneed &



Folk (1958)  $\psi = (c2/ab)1/3$  and hasn't present an important change with the distance of transport. The gravels probably had form in advanced their maximum sphericity. The sphericity of chert is increased in comparison with the other two lithologies. The shape of the collected gravels was studied by Zingg's diagram (1935). Furthermore, it was observed that the disc-shaped gravels are dominant, follow the spherical gravels and finally the bladed and rod-like gravels. In order to estimate the samples statistical differences, we used the chi square test for lithology, roundness and particle shape and the Mann-Whitney U test for mean size and sphericity.

**Λέξεις κλειδιά:** Ποταμός Νέδα, κοκκομετρικό μέγεθος, σφαιρικότητα, στρογγύλωση.

**Key words:** Neda river, grain size, sphericity, roundness.

## 1. Εισαγωγή

Το κοκκομετρικό μέγεθος και τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των υλικών που μεταφέρονται από τα ποτάμια συστήματα είναι σπουδαίοι παράγοντες για τη μορφολογία και την υδραυλική τους. Ειδικότερα, το κοκκομετρικό μέγεθος παρέχει πληροφορίες για τον τρόπο και την απόσταση μεταφοράς καθώς και για τις διαδικασίες απόθεσης. Επιπλέον χρησιμοποιείται ως βασικός παράγοντας σε υπολογιστικές διαδικασίες μελετών ποτάμιων συστημάτων και ποταμίας μηχανικής. Τα αποτελέσματα αυτών των διαδικασιών είναι πολύ ευαίσθητα με βάση την επιλεγόμενη τιμή του κοκκομετρικού μεγέθους. Εξάλλου, η μεταβολή του κοκκομετρικού μεγέθους κατά μήκος της κοίτης του ποταμού αποτελεί αντικείμενο μελέτης στην κατεύθυνση του προσδιορισμού των διαδικασιών μηχανικής τριβής και «βαθμιαίας ταξίθεσης» (progressive sorting) καθώς και του ελέγχου της πλευρικής εισροής νέων υλικών. Επειδή το κοκκομετρικό μέγεθος συμμετέχει στη διαμόρφωση του οικολογικού χαρακτήρα του ποταμίου περιβάλλοντος, η απόληψη αδρανών υλικών διαταράσσει σημαντικά την οικολογία του ποταμίου συστήματος. Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την υδραυλική της μεταφοράς και τους μηχανισμούς τριβής (Pettijohn, 1975). Στον Ελλαδικό χώρο, η έρευνα στην ποτάμια ιζηματολογία είναι περιορισμένη και ειδικότερα όσον αφορά τους χαλικώδεις ποταμούς με διακλαδιζόμενους τύπους κοίτης (gravelly braided rivers). Η εργασία αυτή αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στη μελέτη και ερμηνεία των ιστολογικών χαρακτήρων της κατώτερης ενεργής κοίτης του ποταμού Νέδα και έρχεται να συμβάλλει στην δημιουργία μιας βάσης ιζηματολογικών δεδομένων.

## 2. Περιοχή Έρευνας



Σχήμα 1. Η περιοχή έρευνας

Ο ποταμός Νέδα αποτελεί το φυσικό όριο των νομών Ηλείας και Μεσσηνίας στη νοτιοδυτική Πελοπόννησο και το συνολικό του μήκος είναι περίπου 32 km. Η υδρογεωλογική λεκάνη της Νέδας οριοθετείται βόρεια από το όρος Μίνθη, βόρειοανατολικά από το Λύκαιον όρος και νότια από το όρος Τετράζιον. Ο ποταμός πηγάζει από το Λύκαιον όρος και εκβάλλει στον Κυπαρισιακό Κόλπο. Η ενεργή κοίτη του ποταμού Νέδα έχει γενικώς διεύθυνση Α-Δ. Η περιοχή έρευνας της συγκεκριμένης μελέτης περιορίζεται στο κατώτερο τμήμα του ποταμού που έχει χαρακτηριστικά διακλαδιζόμενου τύπου κοίτης (braided channel).

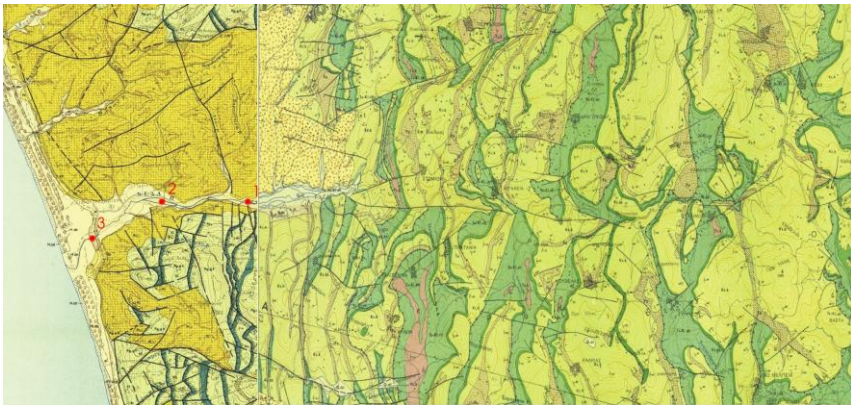
Οριοθετείται από τα χωριά Καρυές και Γιαννιτοχώρι. Στη περιοχή μελέτης παρατηρήθηκε εκτεταμένη απόληψη αδρανών υλικών και έτσι οι

σταθμοί δειγματοληψίας περιορίστηκαν σε υγιείς θέσεις (Σχήμα. 2).

### 3. Γεωλογική επισκόπηση περιοχής

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, ανήκουν από γεωτεκτονικής πλευράς σε δύο ζώνες, τη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως και τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου (Εξωτερική Πίνδος).

Ο ποταμός Νέδα πηγάζει από τους ασβεστολίθους του Ανώτερου Κρητιδικού, τους οποίους και διαρρέει στη συνέχεια. Στο ανώτερο τμήμα του ο ποταμός διαρρέει τη σχιστοκερατολιθική σειρά του Ιουρασικού και Κατώτερου Κρητιδικού, μικρές εμφανίσεις του «Πρώτου Φλύσχη», τους ασβεστολίθους του Άνω Κρητιδικού και τέλος φλύσχη Ηωκαινικής ηλικίας (Μουντράκης, 1985). Η κερατολιθική σειρά συνίσταται από κερατολίθους που εναλλάσσονται με ψαμμίτες, μάργες και ωλιθικούς ασβεστόλιθους ενώ, προς τα πάνω επικρατούν ερυθρές συμπαγείς και σκληρές μάργες. Ο «Πρώτος Φλύσχη της Πίνδου» αποτελείται στο κατώτερο μέρος του από λατυποπαγή, ερυθρούς και τεφρούς ασβεστόλιθους που εναλλάσσονται, με ερυθρές μάργες και πράσινους ψαμμίτες. Προς τα πάνω επικρατούν πράσινοι ψαμμίτες που εναλλάσσονται με μάργες και λευκότεφρους ασβεστολίθους. Οι ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού είναι λευκοί, ερυθροί και τεφροί.



Σχήμα 2. Γεωλογικός χάρτης περιοχής όπου σημειώνονται οι σταθμοί δειγματοληψίας (Ι.Γ.Μ.Ε.): (Λαλεχός, 1969-1971), (Μητρόπουλος, Περισσράτης, Αγγελοπουλος, 1977-1979).

Στο κατώτερο τμήμα του ο ποταμός διαρρέει κυρίως Νεογενείς Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις και Ολοκαινικούς αλλουβιακούς σχηματισμούς. Οι Νεογενείς σχηματισμοί επικάθονται στους σχηματισμούς της ζώνης Ωλονού-Πίνδου και αποτελούνται από συμπαγή κροκαλοπαγή που συντίθενται από ασβεστολιθικές και κερατολιθικές κροκάλες χειμαρρώδους προέλευσης ενώ, εναλλάσσονται κυρίως στο βόρειο τμήμα, με λεπτόκοκκους και χονδρόκοκκους ψαμμίτες και τεφροκίτρινες μάργες. Οι αλλουβιακοί σχηματισμοί αποτελούνται από άμμους, χαλίκια, ποτάμιας αποθέσεις και αναβαθμίδες, κροκάλες και πηλούς και έχουν πάχος λίγα μέτρα.

### 4. Δεδομένα και μεθοδολογία

#### 4.1 Εργασία υπαίθρου

Για τη μελέτη του κοκκομετρικού μεγέθους και των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των κροκαλών της κοίτης του ποταμού Νέδα, συλλέχθηκαν κόκκοι από την επιφάνεια της ενεργής κοίτης του κυρίου ρεύματος σύμφωνα με τη μέθοδο που ανέπτυξαν οι Bunte & Abt, (2001) σε τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Σχήμα 2). Ως σταθμός δειγματοληψίας θεωρήθηκε ένα

τμήμα του ρεύματος του οποίου το μήκος είναι 5-7 φορές, μεγαλύτερο από το εύρος της κοίτης του ή το μήκος ενός μαϊνάνδρου.

Πίνακας 1. Οι θέσεις των σταθμών δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού

Συμβολισμός Σταθμού Δειγματοληψίας	Περιοχή	Αποστάσεις μεταξύ των Σταθμών (m)	Αποστάσεις των Σταθμών από τις Εκβολές (m)
Σ1	Καρυές	0.000	6.000
Σ2	Πρασιδάκι	2.100	3.900
Σ3	Γιαννιτσοχώρι (Γέφυρα ΟΣΕ)	4.600	1.400

Συνολικά συλλέχθηκαν 2.082 κροκάλες. Σε κάθε κροκάλα μετρήθηκαν οι τρεις άξονες a, b, c, σύμφωνα με τη μέθοδο Griffiths (1967) με τη χρήση μετροταινίας, παχυμέτρου και τρισδιάστατου κροκαλομέτρου, αναλόγου αυτού που ανέπτυξαν οι Ibbeken & Denzer (1988). Ο βαθμός στρογγυλότητας των κροκαλών προέκυψε από σύγκρισή τους με τον οπτικό χάρτη του Krumbain (1941).

#### 4.2 Εργαστηριακές μέθοδοι

Για τον προσδιορισμό του σχήματος των κροκαλών χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα κατά Zingg (1935). Για τον προσδιορισμό της σφαιρικότητας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος  $\psi=(c^2/ab)^{1/3}$  κατά Sneed & Folk (1958). Η εκτίμηση των στατιστικών διαφορών των δειγμάτων έγινε ως εξής: το  $\chi^2$  test χρησιμοποιήθηκε για τη λιθολογία, τη στρογγύλωση και το σχήμα των κόκκων, ενώ για την εκτίμηση των διαφορών του αριθμητικού μέσου και της σφαιρικότητας χρησιμοποιήθηκε το Mann-Whitney U test (Φερεντίνος et al., 1996).

## 5. Αποτελέσματα

### 5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης της λιθολογίας

Η μελέτη των κροκαλών κατά μήκος της ενεργής κοίτης του ποταμού Νέδα έδειξε την ύπαρξη τριών λιθολογικών τύπων: ασβεστολιθικού, κερατολιθικού και ψαμμιτικού. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα εκατοστιαία μεγέθη που υπολογίστηκαν για κάθε λιθολογικό τύπο.

Πίνακας 2. Λιθολογική επί τοις % σύσταση των χαλίκων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού

Σταθμός Δειγματοληψίας	Ασβεστολιθικοί Κόκκοι (%)	Κερατολιθικοί Κόκκοι (%)	Ψαμμιτικοί Κόκκοι (%)
Σ1/Κοίτη	82,5	5,1	12,4
Σ2/Κοίτη	88,8	5,9	5,3
Σ3/Κοίτη	89,3	2,8	7,9
Σ1/Φραγμοί	84,2	6,4	9,4
Σ2/Φραγμοί	82,2	8,7	9,1
Σ3/Φραγμοί	89,3	5,8	4,9

Σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας κυριαρχούν με μεγάλο ποσοστό (82,2-89,3%) οι ασβεστολιθικές κροκάλες. Οι κροκάλες ψαμμιτικής σύστασης (4,9-12,4%) φαίνεται να έχουν γενικώς αυξημένη παρουσία σε σχέση προς τις κροκάλες κερατολιθικής σύστασης (2,8-8,7%). Εξαιρέση αποτελούν οι θέσεις Σ2 και Σ3, όπου στη κοίτη στην πρώτη περίπτωση και στον φραγμό στη δεύτερη περίπτωση, οι κερατολιθικές κροκάλες είναι ελαφρώς αυξημένες σε σχέση προς τη ψαμμιτικές κροκάλες. Η μεταβολή του λιθολογικού τύπου των κροκαλών της ενεργής κοίτης του ποταμού Νέδα σύμφωνα με το  $\chi^2$  test κρίνεται στατιστικά σημαντική από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας στο δεύτερο και στατιστικά ασήμαντη από το δεύτερο σταθμό στον τρίτο. Για τους ποτάμιους φραγμούς η στατιστική αξιοπιστία μεταβάλλεται αντίστροφα από τις κοίτες, δηλαδή μεταβολή του λιθολογικού τύπου είναι στατιστικά ασήμαντη από τον πρώτο σταθμό στο δεύτερο και στατιστικά σημαντική από το δεύτερο σταθμό στον τρίτο. Οι παρατηρούμενες στατιστικά σημαντικές μεταβολές στο επίπεδο της λιθολογίας στην κοίτη, οφείλονται στην αύξηση των ασβεστολιθικών κροκαλών στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας (Σ2/Κοίτη), ενώ στους φραγμούς, πιθανόν να οφείλεται στη μείωση των ψαμμιτικών κροκαλών λόγω τριβής και θραύσης τους όπως αναφέρεται αμέσως παρακάτω.

Ο κερατόλιθος λόγω της μεγάλης του σκληρότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα σταθερό μέτρο για τη σύγκριση των υπαρχόντων λιθολογικών τύπων ως προς τη σχετική αντίσταση των ασβεστολίθων και των ψαμμιτών στην τριβή και τη θραύση. Ο υπολογισμός της «αναλογίας του κερατολίθου» έγινε με βάση τον τύπο  $100K/(K+X)$  (Plumley, 1948), όπου με K παριστάνεται ο αριθμός των κερατολιθικών κροκαλών και με X ο αριθμός των άλλων δύο λιθολογικών τύπων. Τα αποτελέσματα της αναλογίας αυτής δίνονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Η αναλογία κερατολίθου (κατά Plumley, 1948)

Σταθμός Δειγματοληψίας	100K/(K+A)	100K/(K+Ψ)
Σ1/Κοίτη	5,83	29,16
Σ2/Κοίτη	6,23	52,63
Σ3/Κοίτη	3,03	26,09
Σ1/Φραγμοί	7,05	40,35
Σ2/Φραγμοί	9,61	49,18
Σ3/Φραγμοί	6,10	54,05

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό, φαίνεται πως δεν εμφανίζεται ταυτόχρονα μια συνεχής αύξηση της «αναλογίας του κερατολίθου» στην ενεργή κοίτη και τους φραγμούς αναφορικά με τη λιθολογία του ασβεστολίθου. Συνεπώς, ο ρόλος της τριβής και της θραύσης στην μεταβολή της ποσοτικής συμμετοχής του ασβεστολίθου με την απόσταση μεταφοράς φαίνεται να είναι ασήμαντος τόσο στην ενεργή κοίτη όσο και στους φραγμούς, λόγω της χαμηλής κλίσης της ποτάμιας κοίτης που συνεπάγεται χαμηλό ρευματικό καθεστώς σε ό,τι αφορά τους ασβεστολίθους. Αναφορικά με τις ψαμμιτικές κροκάλες παρατηρείται ανώμαλη αύξηση της «αναλογίας του κερατολίθου» στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας της ενεργής κοίτης και μια συνεχής αύξηση του λόγου αυτού στις θέσεις δειγματοληψίας των φραγμών. Στην πρώτη περίπτωση η ανώμαλη αύξηση του λόγου οφείλεται στη σχετική αύξηση των κερατολιθικών κροκαλών (Πιν.2), ενώ στη δεύτερη περίπτωση η βαθμιαία αύξηση του λόγου ίσως να οφείλεται στην τριβή και τη θραύση των ψαμμιτικών κροκαλών.

## 5.2 Αποτελέσματα ανάλυσης του αριθμητικού μέσου των κόκκων

Σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας υπολογίστηκε ο αριθμητικός μέσος των κροκαλών όλων των λιθολογικών τύπων τόσο της ενεργής κοίτης όσο και των φραγμών του ποταμού (Πιν.4). Γενικότερα όπως φαίνεται, υπάρχει μια σαφής μείωση της τιμής που εκφράζει τη μέση τιμή του αριθμητικού μέσου των κροκαλών όλων των λιθολογιών με την απόσταση μεταφοράς.

Ειδικότερα η ελάττωση αυτή παρατηρείται και για τις τιμές του αριθμητικού μέσου των ασβεστολίθων που προέρχονται από τους φραγμούς, αλλά και των ψαμμιτών. Στις κροκάλες κερατολιθικής σύστασης εμφανίζεται μια διαφοροποίηση στις τιμές του αριθμητικού μέσου αυτών που προέρχονται από τους φραγμούς, αφού ο μέσος παρουσιάζει αύξηση από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας στο δεύτερο. Στις κροκάλες ασβεστολιθικής σύστασης που προέρχονται από την κοίτη επίσης παρατηρούμε μια μικρή αύξηση από τον πρώτο στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας, ενώ στη συνέχεια ο μέσος μειώνεται αισθητά. Για τις τιμές των κερατολιθικών κροκαλών από την κοίτη παρατηρείται και πάλι ελάττωση σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 4. Οι τιμές του αριθμητικού μέσου σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας κατά μήκος του ποταμού

Σταθμός Δειγματοληψίας	Ασβεστόλιθοι	Κερατόλιθοι	Ψαμμίτες	Σύνολο
Σ1/Κοίτη	72,82	84,14	94,76	76,12
Σ2/Κοίτη	75,15	74,40	71,83	74,93
Σ3/Κοίτη	63,59	63,33	57,89	63,13
Σ1/Φραγμοί	64,57	52,00	83,62	65,57
Σ2/Φραγμοί	56,36	60,15	62,97	57,30
Σ3/Φραγμοί	38,93	43,40	36,76	39,09

Με βάση το Mann-Whitney U test, οι μεταβολές των συνολικών τιμών του αριθμητικού μέσου από σταθμό σε σταθμό χαρακτηρίζονται στατιστικά σημαντικές, με ασήμαντη στατιστικά τη μεταβολή των τιμών των κροκαλών της κοίτης από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας στο δεύτερο.

Η μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους θα πρέπει να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην εκλεκτική ταξινόμηση εξαιτίας της μείωσης της κλίσης του ποταμού (Κοντόπουλος & Πανάγος, 1979).

### 5.3 Αποτελέσματα ανάλυσης της στρογγυλότητας των κροκαλών

Για τον προσδιορισμό του βαθμού στρογγυλότητας κάθε κροκάλας που συλλέχθηκε, χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο σύγκρισης ο οπτικός χάρτης του Krumbein (1941). Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τιμές του βαθμού στρογγυλότητας που προέκυψαν για κάθε λιθολογικό τύπο, αλλά και για το σύνολο των κροκαλών της ενεργής κοίτης και των φραγμών κάθε σταθμού δειγματοληψίας.

Πίνακας 5. Οι τιμές του βαθμού στρογγυλότητας όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος του ποταμού ρεύματος (κατά Krumbein, 1941)

Σταθμός Δειγματοληψίας	Ασβεστολιθικές Κροκάλες	Κερατολιθικές Κροκάλες	Ψαμμιτικές Κροκάλες
Σ1/Κοίτη	0,59	0,41	0,84
Σ2/Κοίτη	0,53	0,37	0,68
Σ3/Κοίτη	0,54	0,35	0,80
Σ1/Φραγμοί	0,56	0,45	0,73
Σ2/Φραγμοί	0,52	0,36	0,73
Σ3/Φραγμοί	0,55	0,35	0,73

Η μεταβολή των τιμών του βαθμού στρογγυλότητας από τον ένα σταθμό δειγματοληψίας στον επόμενο για κάθε λιθολογικό τύπο της ενεργής κοίτης και των φραγμών κρίνεται στατιστικά ασήμαντη, σύμφωνα με το  $\chi^2$  test. Η έλλειψη συσχέτισης του βαθμού στρογγυλότητας με την απόσταση μεταφοράς πιθανόν να οφείλεται στο ότι οι κροκάλες αυτές έχουν σχεδόν αποκτήσει τις μέγιστες τιμές του βαθμού στρογγυλότητάς τους, οπότε και η τιμή του δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα με την απόσταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις η στρογγυλότητα μια κροκάλας αντικατοπτρίζει άμεσα τη διαδικασία τριβής που υφίσταται κατά τη μεταφορά της από το ποτάμιο ρεύμα.

#### 5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης της σφαιρικότητας των κροκαλών

Οι τιμές της σφαιρικότητας υπολογίστηκαν με βάση τον τύπο  $\psi = (c^2/ab)^{1/3}$  των Sneed & Folk (1958), όπου με  $\psi$  συμβολίζεται η σφαιρικότητα και όπου  $a$ ,  $b$  &  $c$ , ο μεγάλος, ο μεσαίος και μικρός άξονας κάθε κροκάλας αντιστοίχως.

Στον πίνακα 6 παρατίθενται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της σφαιρικότητας για κάθε λιθολογικό τύπο καθώς και για το σύνολο των κροκαλών.

Πίνακας 6. Η σφαιρικότητα όλων των κροκαλών σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας (κατά Sneed & Folk ,1958)

Σταθμός Δειγματοληψίας	Ασβεστολιθικές Κροκάλες	Κερατολιθικές Κροκάλες	Ψαμμιτικές Κροκάλες	Σύνολο
Σ1/Κοίτη	0,65	0,72	0,63	0,65
Σ2/Κοίτη	0,65	0,68	0,63	0,65
Σ3/Κοίτη	0,66	0,72	0,59	0,65
Σ1/Φραγμοί	0,65	0,72	0,61	0,65
Σ2/Φραγμοί	0,65	0,71	0,61	0,65
Σ3/Φραγμοί	0,64	0,71	0,60	0,64

Φαίνεται πως οι συνολικές τιμές της σφαιρικότητας παραμένουν ίδιες σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας εκτός του φραγμού του τελευταίου σταθμού δειγματοληψίας, όπου υπάρχει μια πολύ μικρή μείωση της τιμής της. Η μεταβολή αυτή κρίνεται στατιστικά ασήμαντη με το Mann-Whitney U test. Πιο συγκεκριμένα, για τις τιμές της σφαιρικότητας των ασβεστολιθικών κροκαλών δεν παρατηρείται ιδιαίτερη μεταβολή ούτε κατά μήκος της ενεργής κοίτης ούτε στους φραγμούς. Το ίδιο ισχύει και για τις κροκάλες κερατολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης που προέρχονται από τους φραγμούς των σταθμών δειγματοληψίας. Διαφοροποίηση εμφανίζεται στις τιμές της σφαιρικότητας των κερατολιθικών και ψαμμιτικών κροκαλών που προέρχονται από την ενεργή κοίτη του ποταμού. Επίσης, παρατηρούμε πως οι κερατολιθικές κροκάλες εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σφαιρικότητας σε σχέση με τους ασβεστολίθους και τους ψαμμίτες, ενώ δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια σημαντική μείωση της τιμής της σφαιρικότητας και των τριών λιθολογιών που να σχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς.

Το σχήμα των κροκαλών μελετήθηκε με τη βοήθεια του διαγράμματος κατά Zingg, (1935). Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών παρατίθενται στον πίνακα 7, όπου και φαίνεται πως κυριαρχούν οι δισκοειδείς κροκάλες με επί τοις % ποσοστιαίες τιμές να κυμαίνονται από 39,71-46,02%, ακολουθούν οι σφαιρικές κροκάλες με τιμές από 24,20-25,37%, οι κυλινδρικές με ποσοστά που κυμαίνονται από 15,34-21,94% και τέλος οι πεπλατυσμένες με τιμές από 13,12-18,26%. Ειδικότερα, για τις κροκάλες της κοίτης παρατηρείται πως στο δεύτερο σταθμό δειγματοληψίας, ελαττώνονται οι κυλινδρικές κροκάλες και ταυτόχρονα παρουσιάζεται μια αύξηση στις δισκοειδείς. Για τις κροκάλες που προέρχονται από τους φραγμούς, στον τρίτο σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζεται μια μικρή

αύξηση στις πεπλατυσμένες κροκάλες συγχρόνως με τη μείωση των δισκοειδών και των κυλινδρικών. Παρόλα αυτά δεν φαίνεται το σχήμα των κροκαλών να μεταβάλλεται συστηματικά με την απόσταση μεταφοράς από σταθμό σε σταθμό δειγματοληψίας.

Πίνακας 7. Ποσοστά επί τοις % για κάθε σχήμα χαλίκων σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας (κατά Zingg1935)

Σταθμός Δειγματοληψίας	Δισκοειδείς Κροκάλες	Σφαιρικές Κροκάλες	Πεπλατυσμένες Κροκάλες	Κυλινδρικές Κροκάλες
Σ1/Κοίτη	40,15	24,81	15,33	19,71
Σ2/Κοίτη	46,02	25,37	13,27	15,34
Σ3/Κοίτη	40,00	25,58	15,35	19,07
Σ1/Φραγμοί	42,78	21,11	14,17	21,94
Σ2/Φραγμοί	45,77	24,20	13,12	16,91
Σ3/Φραγμοί	39,71	25,22	18,26	16,81

## 6. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, από τη μελέτη των μορφομετρικών χαρακτηριστικών της κοίτης του ποταμού Νέδα επισημαίνονται τα εξής:

- Οι κροκάλες του ποταμού Νέδα είναι ασβεστολιθικής, κερατολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης. Κυριαρχούν οι ασβεστολιθικές κροκάλες (ποσοστό 82,2-89,3%). Οι κροκάλες ψαμμιτικής σύστασης (2,8-8,7%) έχουν γενικώς αυξημένη παρουσία σε σχέση με τις κερατολιθικές κροκάλες (4,9-12,4%) εκτός της θέσεων Σ2 και Σ3, όπου στην κοίτη(Σ2) και στον φραγμό(Σ3) παρατηρείται ελαφρά αύξηση των κερατολιθικών κροκαλών σε σχέση προς τις ψαμμιτικές κροκάλες.
- Το κοκκομετρικό μέγεθος των κροκαλών ελαττώνεται σημαντικά σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς. Η αιτία αυτής της μείωσης του αριθμητικού μέσου φαίνεται να είναι η εκλεκτική ταξινόμηση του υλικού, αφού η Νέδα διαρρέει μια περιοχή που τους χειμερινούς μήνες χαρακτηρίζεται από έντονες ατμοσφαιρικές κατακρυσμνήσεις, ενώ το καλοκαίρι από περίοδο ανομβρίας. Στις κροκάλες κερατολιθικής σύστασης που προέρχονται από την κοίτη παρατηρείται ελάττωση του μέσου σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς, αλλά εμφανίζεται μια διαφοροποίηση στις τιμές του αριθμητικού μέσου αυτών που προέρχονται από τους φραγμούς, αφού ο αριθμητικός μέσος παρουσιάζει αύξηση από τον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας στο δεύτερο. Η μεταβολή αυτή πιθανώς να οφείλεται στις διαδικασίες απόληψης αδρανών υλικών από την κοίτη της Νέδας σε θέσεις που βρίσκονται ανάμεσα στους δύο σταθμούς δειγματοληψίας.
- Οι τιμές του βαθμού στρογγυλότητας των κροκαλών δεν παρουσιάζουν μεταβολή που να σχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς κατά τρόπο στατιστικά σημαντικό. Η αιτία αυτού φαίνεται να είναι το ότι οι κροκάλες αυτές έχουν σχεδόν ήδη αποκτήσει τις μέγιστες τιμές του βαθμού στρογγυλότητάς τους από τις διαδικασίες διάβρωσης που υφίστανται λόγω τριβής κατά τη μεταφορά τους δεδομένου ότι οι σταθμοί δειγματοληψίας βρίσκονται στο κάτω ρουν του ποταμού.
- Δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στις τιμές της σφαιρικότητας των κροκαλών με την απόσταση μεταφοράς παρά μόνον ότι οι κερατολιθικές κροκάλες εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σφαιρικότητας σε σχέση με τις κροκάλες των άλλων δύο λιθολογικών τύπων. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στο ότι οι κροκάλες έχουν ήδη διαμορφώσει τη μέγιστη σφαιρικότητά τους πριν από αυτούς τους σταθμούς δειγματοληψίας, οπότε και δεν αναμένεται άλλη μεταβολή στην τιμή της.

- Σχετικά με το σχήμα των κροκαλών του ποταμού, βλέπουμε πως κυριαρχούν οι δισκοειδείς κροκάλες, ακολουθούν οι σφαιροειδείς και τέλος οι κυλινδρικές και οι πεπλατυσμένες. Γενικά, δεν φαίνεται το σχήμα των κροκαλών να μεταβάλλεται συστηματικά με την απόσταση μεταφοράς.

## Βιβλιογραφία

Κοντόπουλος, Ν., Πανάγος, Α., 1979. Μορφομετρική ανάλυση κροκαλών του ποταμού Ευήνου. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, TOM XIV/1, σ. 23-50, Αθήνα.

Λαλεχός, Ν., 1969-1971. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλ. 1/50.000, φύλλο Κάτω Φιγαλεία, Εκδόσεις ΕΘ.Ι.Γ.Μ.Ε.

Μητρόπουλος, Δ., Περισοράτης, Κ., Αγγελόπουλος, Ι., 1977-1979. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλ.1/50.000, φύλλο Κυπαρισσία, Εκδόσεις ΙΓΜΕ.

Μουντράκης, Δ., 1985. *Γεωλογία της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη.

Φερεντίνος, Γ., Γκιώνης, Γ., Ζαχαρίας, Ι., Παπαθεοδώρου, Γ., 1996. *Στατιστική και ανάλυση δεδομένων στις Γεωεπιστήμες: Περιγραφική Στατιστική, Εκτιμήσεις Παραμέτρων, Στατιστικοί Έλεγχοι (Μέρος Α')*, Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας, Τεύχος 3, Πάτρα. pp. 65-98.

Bunte, K., Abt, S.R., 2001. *Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring*. pp. 144-166.

Griffiths, J. C., 1967. *Scientific Method in Analysis of Sedimentary*. McGraw-Hill: New York.

Ibbeken, H., Denzer, I., 1988: Clast measurement: a simple manual device and its semiautomatic electronic equivalent. *Journal of Sedimentary Petrology* 58 (4): 751-752.

Krumbein, W. C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 11 (2): 64-72.

Krumbein, W. C., 1941b. The effects of abrasion on the size, shape and roundness of rock fragments. *Jour. Geol.*, vol.49, 482-520.

Pettijohn, J.F., 1975. *Sedimentary rocks*, New York.

Plumley, W.J., 1948. Black Hills terrace gravels: a study in sediment transport. *Journal of Geology* 56: 526-577.

Sneed, E.D., Folk, R.L., 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas - a study in particle morphogenesis. *Journal of Geology* 66: 114-150.

Zingg, T., 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrogr. Mitt. Schweiz*, 15: 39-140.



## ΕΦΑΡΜΟΓΗ GIS ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Παπαγεωργίου Ε., Βασιλοπούλου Σ., Λάγιος Ε.

*Ερευνητική Μονάδα Διαστημικών Εφαρμογών στις Γεωεπιστήμες, Εργαστήριο Γεωφυσικής,  
Τομέας Γεωφυσικής και Γεωθερμίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
epapageo@geol.uoa.gr, vassilopoulou@geol.uoa.gr, lagios@geol.uoa.gr*

### Περίληψη

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) εφαρμόστηκαν στην Σαντορίνη για να απεικονίσουν την εδαφική παραμόρφωση που προέκυψε από μετρήσεις GPS, οι οποίες διεξήχθησαν στην Σαντορίνη από το 1994 έως το 2005. Ωστόσο, για την παρουσίαση της εν λόγω παραμόρφωσης τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη συνιστώσα, παρήχθησαν θεματικά επίπεδα με χρήσιμη περιγραφική πληροφορία στην αντίστοιχη βάση δεδομένων από την επεξεργασία γεωλογικών, τεκτονικών και τοπογραφικών χαρτών. Παράλληλα δημιουργήθηκαν Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου τόσο για την ξηρά όσο και για το υποθαλάσσιο ανάγλυφο, καθώς και τα 3-D μοντέλα σκίασης αναγλύφου για την απόδοση μιας περισσότερο ρεαλιστικής εικόνας του υψομέτρου. Συνθετικά επίπεδα καθώς και συνθετικοί χάρτες κατασκευάστηκαν από τον συνδυασμό των επί μέρους θεματικών επιπέδων. Αποδείχθηκε ότι η δημιουργία της Ψηφιακής Βάσεως Δεδομένων δύναται να χρησιμοποιηθεί αλλά και να ενημερωθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο συνδυασμός των πολύ-θεματικών δεδομένων παρέχει την δυνατότητα της γενικευμένης εκτίμησης της περιοχής μελέτης και την ευκολότερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Τα ΓΣΠ αποτέλεσαν ένα χρήσιμο και αποτελεσματικό μέσο για την απεικόνιση της εδαφικής παραμόρφωσης. Στο μέλλον με περαιτέρω ανάπτυξη της βάσης δεδομένων, είναι δυνατή η δημιουργία ενός συστήματος λήψης αποφάσεων με στόχο τον Σχεδιασμό Εκτάκτου Ανάγκης.

### IMPLEMENTATION OF GIS IN SANTORINI VOLCANO FOR GROUND DEFORMATION ANALYSIS

Papageorgiou E. Vassilopoulou S., Lagios E.

*Space Applications Research Unit in Geosciences, Laboratory of Geophysics,  
Department of Geophysics and Geothermics, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
National and Kapodistrian University of Athens  
epapageo@geol.uoa.gr, vassilopoulou@geol.uoa.gr, lagios@geol.uoa.gr*

### Abstract

GIS was applied to demonstrate the ground deformation in the region of Santorini Volcano. Vertical and horizontal ground displacements of the Santorini Volcanic System were measured applying GPS campaigns that were conducted during the period 1994-2005. In order to study and display the deformation of those components by the use of GIS, thematic layers with a specific structural database were created by the processing of geological, tectonic, and topographic data. Various Digital Elevation Models (DEMs) of the broader area of Santorini were also produced, both for land and surrounding marine area. Spatial analysis was also implemented for the terrain of the study area, and the 3-D models of the shaded relief gave a more realistic image of the elevation parameter. Synthetic layers and maps were also created comprised of a combination of different thematic layers.

It was proven that the constructed digital database which contains useful information

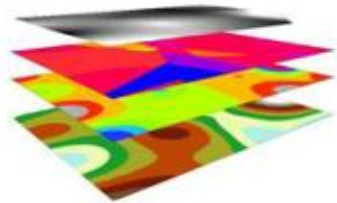
may be available to any other application. Furthermore, this database may be updated at any time. The combination of multi-thematic layers can be combined to provide a generalized assessment of the area of interest. The implemented GIS application was proved to be an excellent, useful and effective tool that generally helped in the better representation of the ground deformation of the study area. A decision-making system can also be created in the future, aiming to an Emergency and Socio-economic Planning.

## 1. GIS-Data Integration

Geographic information system (GIS) technology can be used for scientific investigations, resource management, and development planning. For example, a GIS might allow emergency planners to easily calculate emergency response times in the event of a natural disaster. A GIS, therefore, can reveal important new information that leads to better decision-making.

The power of a GIS comes from the ability to relate different information in a spatial context and to reach a conclusion about this relationship. Different kinds of data in a map form can be entered into a GIS, like digital line graphic-DLG (roads, contours, rivers) or digital raster graphic-GRG (rectified topographic map), digital elevation model (DEM), geological maps, etc. A GIS can also convert existing digital information, which may not yet be in map form, into forms that can recognize and use, like in the case of digital satellite images that can be analyzed to produce a map of digital information (land use, land cover). Thus, a GIS can use combinations of mapped variables to build and analyze new variables.

Maps in GIS can be separated into several layers. Each layer map can be viewed in combination with some other layers, or it can be seen as a separate layer. Each layer though contains useful information which is stored in its own database.



*Figure 1. Data integration is the linking information in different forms through a GIS.*

GIS is a combination of Maps and Database. Each element of the map is connected with a database table. A map represents geographic features or other spatial phenomena by graphically conveying information about locations and attributes. Locational information describes the position of particular geographic features on the Earth's surface, as well as the spatial relationship between features, such as the shortest path between two places. Attribute information describes characteristics of the geographic features represented, such as the feature type, its name or number and quantitative information such as its area or length.

## 2. Geo-tectonic Evolution of Santorini Volcanic Complex

Santorini Island, one of the largest Quaternary volcanic centers of the Aegean region, is located in the central part of the Hellenic Volcanic Arc, which was developed 13 my ago (Angelier et al. 1982) as a result of the lithospheric subduction process between the African and Eurasian plates (McKenzie 1970, 1972, Papazachos & Komninakis 1971, Le Pichon & Angelier 1979). Continent to continent collision is currently in progress between the African plate and the Aegean microplate at a rate of up to 5 cm/yr, in a north-easterly direction. Santorini Volcano, among other Quaternary volcanoes of the Aegean, defines the Southern Aegean active volcanic arc in a continental environment of extensional tectonics (Jackson 1994) with earthquakes occurring at depths of 150-170 km. The extension was initiated in the area during Upper Miocene, changing direction from WNW-ESE (Late Miocene) to NE-SW (Pliocene-Early Pleistocene), while currently is N-S to NW-SE (Mercier et al. 1989).

Santorini represents high geodynamic unrest with the last eruption occurring in 1950

which produced the youngest volcanic rocks in Greece. The volcanic activity of Santorini is expected to be associated with ground deformation phenomena. However, the Santorini region is not only characterized by its volcanic activity, but also by its tectonic activity. It is dominated by an active extensional regime and the two major tectonic NE-SW trending Kammeni and Columbo faulting zones (Fig 2), intersect the main part of the volcanic edifice, and have affected the volcanism of the Santorini Island system. It is clear that the existing tectonic fault zones have strongly influenced the emplacement of magma, as well as the development of the whole volcanic field (Piper et al. 2004). Furthermore, the composite structure of the flooded caldera comprised by four flat-floored basins, and the submarine Columbo Bank volcano (last eruption 1650), located about 6.5 km NE of the northern coast of Santorini are the main morpho-tectonic features that control the volcanic edifice.

**Λέξεις κλειδιά:** ΓΣΠ, χάρτες εδαφικής παραμόρφωσης, GPS, Σαντορίνη.

**Key words:** GIS, maps of ground deformation, GPS, Santorini.

### 3. GPS Measurements

In order to estimate the ground deformation of the volcanic island system, both in vertical and horizontal component, GPS measurements were carried out from 1994 to 2005 (Fig. 2). A GPS network consisting of 18 stations (Fig. 3) was installed in 1994 to study the ground deformation of Santorini Volcano (Giannopoulos et al. 1996). It was remeasured several times since then with the last one in August of 2005. Distinctly, 13 stations were established on Thera, 3 on Nea Kammeni, and 2 on Therassia. Geodetic, dual-frequency receivers of TRIMBLE, ASHTECH and WILD type of LEICA were employed in the field campaign of 1994, while receivers of WILD type were used during the measurements of 2005. A station established near Pyrgos (No 7), lying on the pre-volcanic basement massifs of the Upper Triassic limestones, was chosen as the reference station for the GPS measurement analysis. The data of the GPS campaigns were processed by both the Leica Geo Office v. 1.1 (2004) and the Bernese 4.2 (Rothacher et al. 1993) software in conjunction with post-computed satellite orbits for the improvement of the coordinate solution. An accuracy of 2-3 mm for the horizontal and 4-6 mm for the vertical component was finally achieved. By comparing the results of 2005 to those of 1994 interesting features associated with the vertical and horizontal deformation of the island complex were resulted (Fig. 3, 4). The results of the observed ground deformation were imported in GIS, and with the appropriate processing and management of the data, maps that display the vertical and horizontal deformation were finally produced (section 4).

### 4. Spatial Analysis

The main morphotectonic features which influence the Santorini volcanic edifice are the two principal NE-SW Kammeni & Columbo fault zones, the complex structure of the caldera, and the submarine Columbo volcano. Considering the fact that Santorini region is influenced by both tectonic and volcanic activity, maps that show the faulting system, the submarine morphology, the ground deformation, and the locations of the earthquakes - mostly due to the volcanic activity-, were made to assess the geodynamic unrest of the area. For this purpose, several thematic layers were created and later on were combined for the construction of synthetic layers and maps. Several data, such as tectonic, topographical, geomorphological, seismological, of different format (vector, raster, ascii), different feature type (point, polyline, polygon) and different projection (Hatt, WGS '84, E.D '50, etc) were processed with the ArcGIS software (ESRI, 2005), into a common projection system of HGRS '87 (Hellenic Geodetic Reference System 1987).

A digital elevation model (DEM) of Santorini was firstly created, as a base for further thematic applications and for terrain analysis (shaded relief, slope-aspect map). The DEM of

Santorini was generated from ASTER images with a resolution of 20×20 m. Furthermore, the bathymetry was produced by digitizing bathymetric contour-lines of 10m and 50m contour-interval (IGME-Institute of Geology & Mineral Exploration 1:200,000, Perissoratis 1995). The production of the 20m resolution grid of bathymetry was accomplished with the implementation of the TOPOGRID algorithm of ArcGIS software. The applied algorithm depends on several parameters, such as the type of data (contour lines, elevation points, drainage network, lakes, etc.), as well as the quality and the density of the data. In the case of Santorini bathymetry, coverages of contour lines, bathymetric points, a lake polygon, the coastline, the boundary polygon of the area and faults were used to produce the grid. Moreover, the shaded relief and 3-D models of the DEM and Bathymetry were made to obtain realistic views when combined with other data.

Individual types of thematic layers were constructed, for the needs of the current study (Table 1), such as:

- faults (land & submarine), contour lines (elevation & bathymetry) and the coastline of Santorini (lines)
- GPS stations and earthquakes epicentres for the overall period 1995-2007 (points)
- Geological formations (polygons)

All the information gathered from sources of different map projections was transformed to a common projection system of HGRS '87.

Table 1. Description of Database

Input Data	Output Thematic & Synthetic Layers (Coverages & Grids)	Output Maps
<b>Topographic</b> (coastline, contour lines, elevation points, scale 1:50,000 maps of Hellenic Military Geographical Service (1976))	<b>coast</b> (arcs) <b>contours</b> (arcs) <b>elevpnt</b> (points)	<b>DEM</b> <b>Bathymetry</b>
<b>Bathymetric</b> (bathymetric contour-lines and points from bathymetric maps of IGME, scale 1:200,000)	<b>bathy20</b>	<b>Shaded relief</b>
<b>Geological</b> (geological formations from maps of IGME, scale 1:50,000)	<b>formations</b> (polygons)	<b>Geological Map</b>
<b>Tectonic</b> (land & submarine faults and thrusts from map of IGME, scale 1:50,000 & 1:200 000)	<b>faults</b> (arcs)	<b>Tectonic Map</b>
<b>GPS measurements</b> (Aug. 1994-Aug. 2005) <b>GPS stations</b> <b>Horizontal Displacement</b> illustrated as an arrow <b>Vertical Displacement</b> <b>Error of Horizontal Displacement</b> illustrated as a circle	<b>Gpsp94a, gps05ascale</b> (points) <b>Gps94a05a</b> (arcs) <b>V94a05a</b> (grids)	<b>Map of Horizontal &amp; Vertical Deformation</b>
<b>Seismological</b> (earthquake epicenters 1995-2007)	<b>epicenter</b> (points)	<b>Seismological Map</b>

The main task in the present study is to construct maps of ground deformation for both vertical and horizontal component. For that purpose, a database was organized in a similar manner with descriptive information in specific items (Vassilopoulou et al. 2007). In particular, this database should include information of the two periods of GPS measurements (1994 & 2005), such as the coordinates of the GPS stations, the distance between the

stations during the 11-year spanning of measurements, the azimuth and the error of the observed displacements. The horizontal displacements in vector format that were measured by the GPS method are illustrated by arrows, showing the direction of the displacement in every GPS station. At the end of each arrow, a circle which represents the estimated error of the horizontal displacements (2-3 mm) is depicted (Fig. 3), too. Primarily, for mapping the horizontal deformation, a line-thematic layer of the arrow must be created, which in fact merges the two point thematic layers that correspond to the x-y coordinates of each GPS station, for the two periods of measurements 1994 and 2005, respectively.

On the other hand, the construction of the vertical ground deformation uses a similar database, but in this case the emphasis is given in the z coordinate and the vertical distance between the GPS stations at the two periods of measurements. The results are in grid format, generated by interpolation, and constitute a surface of variable values. The interpolation method that was applied is the Inverse Distance Weighted (IDW), and is described in detail in the next section. The layer of the vertical displacements shows a colour scale from blue to red that corresponds to small and high deformation values, accordingly. The final maps of both Vertical and Horizontal Ground Deformation were combined with other thematic layers to give a generalized image of the study area and the opportunity to correlate these independent types of data (Fig. 3, 4).

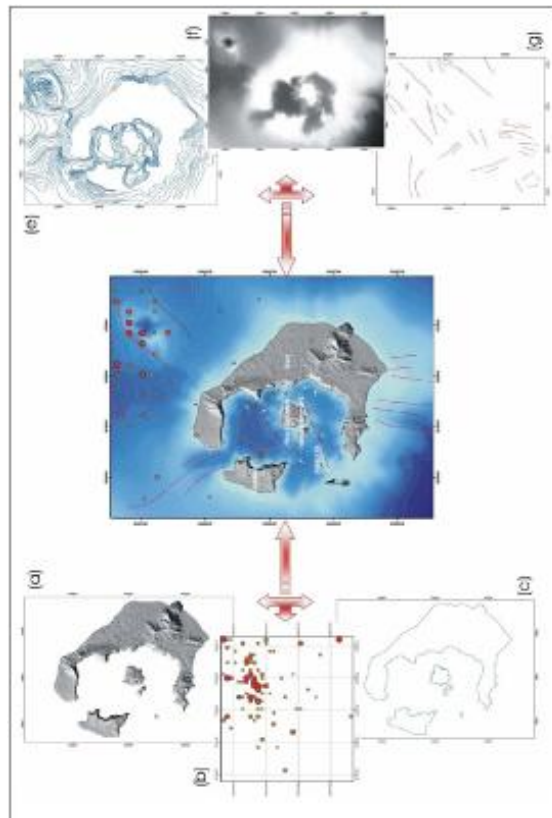


Figure 2. Synthetic Map of Santorini, comprised by the thematic layers of (a) the 3-D shaded relief of DEM, (b) the earthquakes epicenters, (c) the coastline, (d) the bathymetric lines of the surrounding area, (e) the bathymetry grid and (g) the submarine faults.

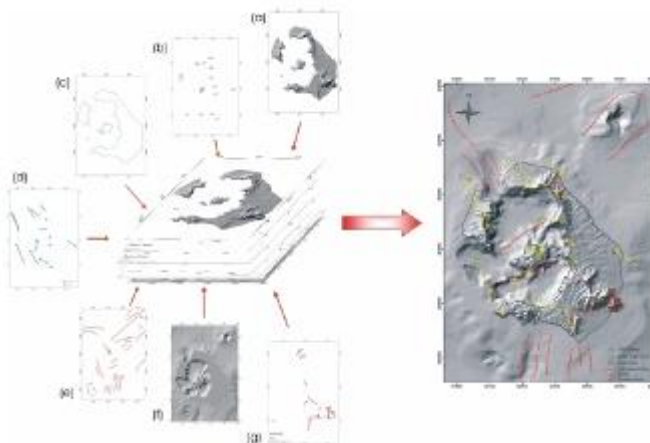


Figure 3. Map of the Horizontal Ground Deformation produced by the synthesis of different thematic layers, such as the shaded relief of DEM (a), the GPS stations (b), the coastline (c), the arrows of horizontal displacements with the corresponding errors (d), the submarine faults (e), the shaded relief of bathymetry (f), and the faults of Santorini (g).

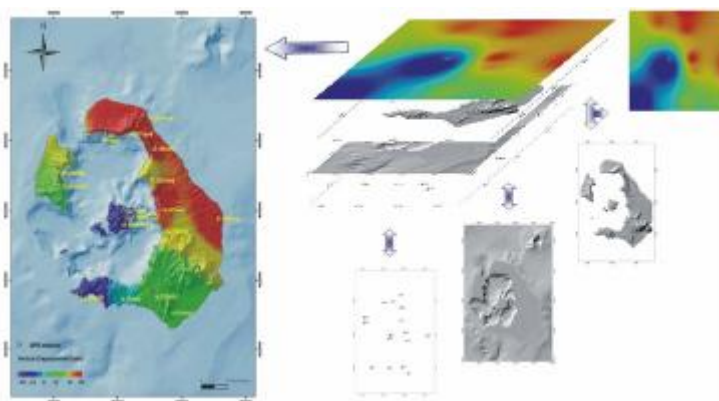


Figure 4. Map of the Vertical Ground Deformation of Santorini displayed by the grouping of the interpolated grid of the vertical displacements, the 3-D representations of DEM & Bathymetry and the measured points of GPS stations.

## 5. The Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Method

The IDW is a method of interpolation that estimates cell values by averaging the values of sample data points in the vicinity of each processing cell. The closer the point is to the center of the cell being estimated, the more influence or weight it has in the averaging process. In general, the deterministic interpolation technique of IDW creates surfaces from measured points, based on the extent of similarity. It can calculate values of the interpolated cells using the entire dataset (Global technique) or by using the already measured points within neighbourhoods, which are smaller areas within the larger study

area (Local technique). IDW theory is based on the assumption that things that are close to one another are more alike than those that are farther apart. In fact, to calculate a value for any unmeasured point, IDW will use the measured values closest to the prediction location. Those measured values closest to the prediction location will have more influence on the predicted value than those farther away. Thus, IDW assumes that each measured point has a local influence that diminishes with distance. It weights the points closer to the prediction location greater than those farther away, hence the name inverse distance weighted.

The IDW interpolation uses a linearly weighted combination of a set of sample points (Philip & Watson 1982; Watson & Philip 1985). The weight is a function of inverse distance. The surface being interpolated should be that of a locationally dependent variable. In order to accomplish the averaging process a number of parameters have to be defined (Table 2).

*Table 2. Parameters of the IDW Interpolation Method*

Parameter	Explanation
Input points	The source of the data containing points with z-values to be converted to a raster surface.
barriers	A shape file or coverage containing arcs or an ASCII file of lines to be used as a break or limit in searching for the input sample points.
power	Exponent of distance. Controls the significance of surrounding points upon the interpolated value. A higher power results in less influence from distant points. It can be any real number greater than zero, but the most reasonable results will be obtained using values from 0.5 to 3. The default value is 2.
SAMPLE	Keyword indicating the method of searching for input points.
Num. points	An integer value specifying the number of nearest input sample points to be used to perform interpolation. The default is 12 points.
max. radius	Specifies the distance in map units to limit search for the nearest input sample points. If the number of points for the SAMPLE option cannot be satisfied within the max. radius, a smaller number of points will be used.
RADIUS	Keyword indicating the method of searching for input points.
Radius	The distance in map units specifying that all input sample points within the specified radius will be used to perform interpolation. The default radius is five times the cell size of the output raster.
Min. points	An integer value defining the minimum number of points to be used for interpolation. If the required number of points is not found within the specified radius, the search radius will be increased until the specified minimum number of points is found. The default is zero.

The interpolated surface depends on the selection of a power value ( $p$ ) and the search strategy of the input points. The significant in IDW method is that the user can control the input points to calculate the interpolated points, based on their distance from the output point. Therefore, a higher value of the power option gives more weight to the nearest points, and the surface will have more detail but be less smooth. On the contrary, by specifying a lower value for power will provide a bit more influence to surrounding points which have a bigger distance, creating a smoother surface.

The search strategy of the input points for calculating each interpolated point could be done either by using a fixed radius type or a various radius type. When the fixed radius is selected, the same radius of a circle is used to find input points for each interpolated cell. In this case, the distance of the radius and a minimum number of points must be defined. With the variable radius a maximum distance is specified depending on how far the radius has to stretch to reach a specific number of the nearest input points. When the variable radius is applied, there is a limit that has to do with the fact that if the number of points is not reached before the maximum distance is reached, fewer points will be used in the calculation of the interpolated points.

Finally the use of barrier polyline aims to specify the location of linear features that they intend to interrupt the surface continuity. These features do not have z-values. IDW only uses the x, y coordinates for the linear feature, such as faults, hills and cliffs. The main characteristic of the barrier use is that it limits the selected set of the input sample points used to interpolate output z-values to those samples that are on the same side of the barrier as the current processing cell. Additionally, the input sample points that lie exactly on the barrier line will be included in the selected sample set for both sides of the barrier.

## 6. Results

The observed ground deformation of Santorini region that was entailed by the GPS measurements of 1994 and 2005 was organized into a GIS database. Thematic layers of horizontal and vertical component of deformation were created, in vector and grid format, respectively. The horizontal deformation is characterized by arrows which show the direction of the displacements, while the vertical deformation is characterized by a grid illustrated by a colour scale dependent variable. Simultaneously, several thematic layers of different data type and different format were produced, such as contour lines, faults, digital elevation models, horizontal & vertical ground deformation and earthquake epicenters. In order to represent in detail the study area, as well as to demonstrate any kind of correlation between the different type of thematic layers, synthetic layers and maps were constructed. Data integration is unarguably one of the biggest advantages of GIS as it links different kind of information, hence more than one database tables.

During the ongoing application of GIS it was well outlined that:

- GIS is a useful tool in demonstrating the ground deformation resulted by GPS measurements.
- Each kind of data with different format, different projection may be imported into GIS, creating not only a single thematic layer, but also a synthetic layer and synthetic map by the integration of the selected thematic layers.
- Each kind of data is characterized by its own database table that can be updated or used for further purposes whenever is needed.
- The ground deformation analysis was based on the known points of GPS stations. Therefore, the horizontal model of deformation used the x-y coordinates of the measured points in contrast to the vertical model which occupied solely the z-values of the known data points.
- The use of the IDW interpolation method was the appropriate one for constructing the vertical map of the observed ground deformation. The best results from IDW though are obtained when sampling is sufficiently dense with respect to the local variation it attempts to simulate. (Watson and Philip, 1985).
- The integration of different type of data yields a more detail and accurate picture of the study area, and by comparing them at the same time, a wider and multi-dimensional aspect of the geodynamic state of the study area could be gained, especially in active volcanic areas, as in the case of Santorini.

By the proper GIS database organisation and management that concerns the ground deformation due to volcanic activity, a decision-making system could be accomplished. This could aim at a probable volcanic hazard assessment and help to an Emergency planning scheme in the event of a future explosive/eruptive activity of the Santorini Volcano.

## Acknowledgements

This study was financed by (i) The European Union (75%), (ii) The General Secretariat



for Research & Technology of The Ministry of Development of the Hellenic Republic (25%), and (iii) The private sector Terramentor EOOS, within the framework of action 8.3 of the EU "Competitiveness"- 3rd Community Support Program.

## References

Angelier, J., Lyberis, N., Le Pichon, X., Barrier, E., & Huchon, P., 1982. The tectonic development of the Hellenic arc and the Sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics*, 86, 159-196.

Giannopoulos J., Lagios E. & Sigmundsonn F., 1996. Global Positioning System (GPS) Monitoring on Santorini (Thera) Volcano. Proc. 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes, May 2-4, Santorini, Greece (Publ. Europ. Comm. DGXII Environment and Climate Res. Progr.), 271-279.

ESRI, 2005. ArcDoc for ArcGIS, version 9 Help on CDROM.

Jackson, J. A., 1994. Active tectonics of the Aegean region. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 22, 239-271.

LEICA Geo Office 2004, v. 1.1, LEICA Geosystems AG., CH-9435 Heerbrugg, Switzerland.

Le Pichon X. & Angelier J., 1979. The Hellenic Arc and trench system: a key to the Neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.

McKenzie, D.P., 1970. Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature* 226, 239-243.

McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geoph. J. Astron. Soc.*, 30, 109-185.

Mercier, J. L., Sorel, D. & Vergely, P., 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Research*, 2, 49-71.

Papazachos, B.C., Comninakis, P. E., 1971. Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.*, 76, 8517-8533.

Perissoratis, C. (1995) "The Santorini volcanic complex and its relation to the stratigraphy and structure of the Aegean arc, Greece" *Mar. Geol.* 128: 37-58

Philip, G.M., and D.F. Watson. "A Precise Method for Determining Contoured Surfaces". *Australian Petroleum Exploration Association Journal* 22: 205-212. 1982.

Piper D. J. W., Pe-Piper G., Perissoratis C. & Anastasakis G., 2004. Submarine rocks around Santorini and their relationship to faulting. 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, 873-876.

Rothacher, M., Beutler G., Gurtner, W., Brockmann, E. & Mervart, L., 1993. Bernese GPS Software Documentation version 3.4., Astronomical Institute, University of Berne, Switzerland.

Vassilopoulou S., Chousianitis K., Sakkas V., Damiata, B. and Lagios E., 2007. GIS Development for Ground Deformation Data Management: A Case study in Cephallonia Island (Western Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXX, 2070-2081.

Watson, D.F., and G.M. Philip. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation". *Geoprocessing*, 2:315-327. 1985.

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Στύλλας Μ., Βουβαλιδης Κ.

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας,  
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 54124 Θεσσαλονίκη*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν οι μεταβολές στην μορφολογία, που οφείλονται σε ανθρώπινες παρεμβάσεις, σε τρία τμήματα της κοίτης του ποταμού Στρυμόνα με σκοπό να προσδιοριστούν η εξέλιξη της μορφής της καθώς και οι συνθήκες ροής και ιζηματομεταφοράς. Η ανθρώπινη επέμβαση στην κοίτη του Στρυμόνα ξεκίνησε την δεκαετία του 1930 με μια σειρά υδραυλικών έργων (κατασκευή φράγματος και τεχνητής κοίτης με αναχώματα, αποστράγγισης των πλημμυρικών πεδίων, αμμοληψιών). Αμέσως μετά την ολοκλήρωση των έργων διαβρωτικά φαινόμενα στον πυθμένα της κοίτης κατόντη του φράγματος της Κερκίνης δημιούργησαν συνθήκες έντονης στερεομεταφοράς. Η απόθεση των διαβρωθέντων υλικών έγινε μέσα στην κοίτη, στο χαμηλό τμήμα της λεκάνης με τις μικρότερες κλίσεις, μειώνοντας την διατομή της κατά 60,5%. Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν οι μεταβολές της μορφολογίας και οι σχετικές διακυμάνσεις της πορείας μέγιστου βάρους της κοίτης σε έναν αριθμό θέσεων κατά μήκος του ποταμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν τη σημασία του ποταμού Αγγίτη και του χειμάρρου Καστρόλακκου στην ιζηματογένεση και εξέλιξη της κοίτης. Επίσης προσδιόρισαν τις συνθήκες ροής κάτω από τις οποίες έχουμε τη βέλτιστη ιζηματομεταφορά. Μια τέτοια γνώση είναι απαραίτητη στη διαχείριση των παροχών του ποταμού Στρυμόνα κατόντη του φράγματος της Κερκίνης, γιατί διατηρώντας συγκεκριμένες παροχές για μεγάλα χρονικά διαστήματα μπορούμε να επιτύχουμε διάβρωση και μεταφορά των υλικών, συντηρώντας έτσι την καλύτερη δυνατή διατομή της κοίτης. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να διατηρηθεί η παροχτευτική ικανότητα της κοίτης σε υψηλά επίπεδα, βοηθώντας στην αντιπλημμυρική προστασία της λεκάνης.

### CHANNEL ADJUSTMENTS AND MANAGEMENT IMPLICATIONS FOLLOWING HUMAN IMPACTS IN STRIMONAS RIVER, NORTHERN GREECE

Styllas M., Vouvalidis K.

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology,  
Department of Physical & Environmental Geography, 54124 Thessaloniki*

### Abstract

Channel changes responding to human disturbances are examined along three reaches of Strimonas River in Northern Greece, to define channel evolution pattern, and current flow and sediment transport regimes. Major human impacts that took place during the 1930's include a series of hydraulic works (dam construction, drainage of the floodplains, construction of artificial channel, sand mining and construction of levees and weirs). Degradation of the streambed occurred below Kerkini Reservoir right after the termination of the works and the available material was transported further downstream where the minimal slopes resulted in excessive sediment accumulation and significant reduction, up to 60.5% of the cross-sectional area. Analyses of channel shape factor and relative thalweg variations are examined for a number of locations along the course of the river. The results suggest the significance of the tributaries of Aggitis River and Kastrolakos torrent in channel

sedimentation and evolution and define flow conditions under which sediment transport is most efficient. Since Strimonas River flow is mainly regulated from the Kerkini reservoir outflow, preserving certain discharge values for extended periods of time can lead to natural erosion of river sediments and decrease the chances for major floods, which are hazardous for the agricultural fields of Serres Valley. The study outlines the initial and final (present) channel morphology and suggests the need for more detailed surveys in order to provide a better understanding of how several types of human disturbances affect channel morphology and sediment transport.

**Λέξεις κλειδιά:** ποτάμια κοίτη, διάβρωση, ιζηματομεταφορά, Στρυμόνας, Σέρρες

**Key words:** river channel, erosion, sediment transport, Strimonas, Serres

## 1. Introduction

Natural rivers are characterized by a number of changes resulting from natural and human changes. River channels respond to such changes by adjusting the channel morphology, channel slope, channel forms, sediment load and other hydraulic characteristics (Schumm et al. 1984). Throughout Greece most of the large rivers have experienced numerous human modifications since the onset of the 20th century and only few reaches of those still remain in natural condition. Human disturbances include land use changes, drainage of wetlands, canalization, construction of dams as well as sand and gravel mining. The temporal extent of channel adjustments following those disturbances varies from short periods of days to decades depending on the magnitude and the type of the disturbance (Simon, 1997), with river channels reaching equilibrium when several of the extremal hypotheses, summarized in Huang and Nanson, 2000 are met. These adjustments are generally much larger than the ones responding to explicitly natural changes even though in some cases natural phenomena like climatic oscillations, extreme floods and wildfires have an important role in channel instability.

Channel modifications following human disturbances have a great range of environmental and socioeconomic effects, as sediment accumulation, undermining of structures, loss of habitat diversity, flooding of agricultural areas and indicate the need for better understanding in order to predict future channel evolution. River and floodplain management, as well as water resource strategies should take into account channel adjustments to avoid disastrous effects from future human activities.

In this paper our goal is to: (a) define the changes of the channel's geometry from 1930 to present; (b) define the longitudinal trends of channel adjustments; and (c) establish the current patterns of sediment transport regime under various flow scenarios in order to provide general guidelines for proper river and floodplain management.

## 2. General setting

Strimonas River basin belongs to three different countries has a total area of 17.150 km<sup>2</sup>, 63% of which is within Bulgaria and F.Y.R.O.M. and 37% is in Greece (Vouvalidis, 1998). Along the Greek part there are many tributaries that enter the river along its course to Strimonikos Gulf the most important being Aggitis River, with annual flow and high sediment transport potential during high stages of discharge. The Greek part of Strimonas River runs through Serres Valley, a fertile valley created by the old flood deposits of the river, whereas today most of the surrounding area is depended mostly on agriculture.

The geology of the drainage basin consists of marbles, metamorphic, and igneous rocks of the Rhodope Belt, on top of which lie tertiary and quaternary and flood deposits. Active tectonic faults bound the east and west margins of Serres Valley.

The climate of the study area is characterized as “temperate” with relatively wet winters and dry summers. Average annual precipitation ranges from 500mm to 600mm in the lowlands and from 700-950mm in areas with higher elevations. River discharge is mainly regulated from Kerkini Reservoir and has an average daily value of 126m<sup>3</sup>/sec, 20m<sup>3</sup>/sec of which are lost to irrigation especially during the summer months, while peak discharge for a 20-year event can reach a value of 1000m<sup>3</sup>/sec (Psilovikos et al., 1994).

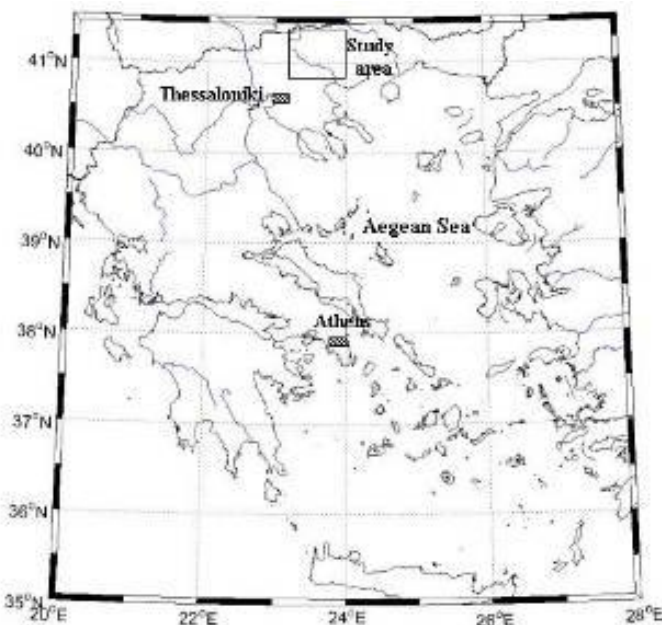


Figure 1. General setting of the study area.

### 3. Human impacts in Strimonas river

Since the 1930's Strimonas River has been subjected to a number of human impacts, the most pronounced of which include the construction of Kerkini reservoir and the construction of an artificial channel. The main purpose of those works was to drain the old Achinos Lake, which imposed a great danger for disease and flooding in the surrounding area and to increase the channel's conveyance so that boats could enter the river up to the village of Penthelinos, 32 km upstream from the river mouth. During the time span from 1930 to today minor hydraulic works have also been contemplated and include the construction of numerous pumping stations for irrigation, construction of weirs along the river course while a sand mining operation has been established in the confluence of Strimonas with Aggiti River.

The present paper examines the part of the river that is of greatest importance to the sedimentation and thus to the frequent flooding of Serres Valley. For this reason the river channel is divided in three major sections.

The first section (Section A) is the stretch from the confluence of Strimonas with Aggiti river to the beginning of Amphipoli narrows (60 – 70km, distance is measured downstream from Kerkini reservoir at 0.0 km). This section is characterized by minimum slopes in the order of 0.1 – 0.3 ‰, so that when discharge is not exceeding certain threshold values sediment accumulation is occurring. Section B includes the Amphipoli narrows where the river

meanders with the channel becoming narrower and deeper (70-74km), while the third section begins at the end of Amphipoli narrows all the way to Strymonikos gulf (74-80km) (Figure 2).

The artificial channel had been excavated at an initial datum of -2.5 m for the section A and at datum of -4.5 m for the two other sections, while the channel width for the three sections was at 90, 65 and 115 meters respectively.

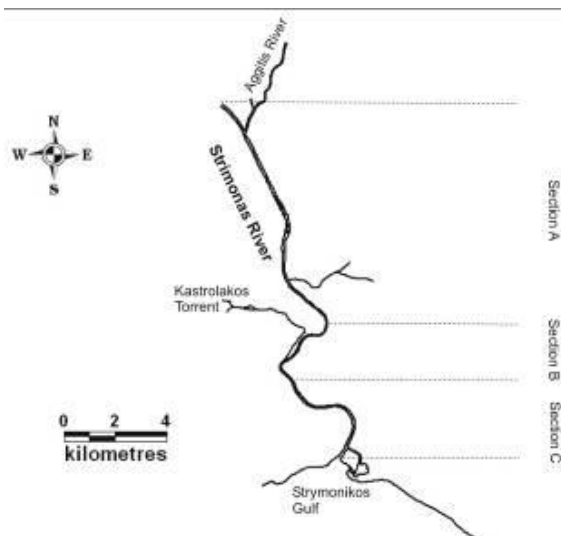


Figure 2. Strymonas channel morphology and the three sections used for this study

The fact that sections B and C were excavated below the Mean Sea Level (MSL) resulted in a new base level which in turn caused upstream erosion, different flow regimes and potentially backwater effects.

#### 4. Channel geometry adjustments

Huang and Nanson (2000) suggest that both maximum sediment transport capacity and minimum stream power conditions are responsible for adjustments in channel geometry following a disturbance. Soon after the termination of the works, degradation of the streambed began to occur in the upstream reaches of Section A where channel slopes were greater. Upstream migration of knickpoints is likely to have occurred but there are no available data to support this. The eroded material was being transported in Section A resulting in maximum sediment transport capacity along this reach.

In addition, during the same time the river's discharge has been mainly regulated from the outflow of Kerkini reservoir (minimum stream power condition) and the inflow from Aggitis River, so that both of the above mentioned conditions have been met leading the river's channel towards equilibrium. Between these end-member type conditions we assume a steady and uniform flow nearly at bankfull stage for the most time, except of periods of extreme discharge (1954, 1994 and 2002 flood events) when flooding of Serres valley occurred.

A number of cross-section profiles have been obtained from different studies and the comparison between initial and present conditions suggests a reduction in cross-sectional area up to 93.3% (Figure 3). More interesting is the way that these adjustments have taken place and are discussed below.

In order to obtain more insight about the longitudinal changes of channel's geometry the values of two shape parameters have been estimated. These include the bankfull width to depth ratio ( $\omega$ ) and a non-dimensional parameter describing the elevation of the thalweg relative to mean channel grade line  $\zeta = E/Z_{\text{bankfull}}$ , where E is the deviation of the actual thalweg elevation from the expected one (Western et al. 1997). Cross-sectional data used for the analyses were obtained from the PhD study of Vouvalidis (1998) for sections B and C and from another survey (Vouvalidis et al., 2001) for section A.

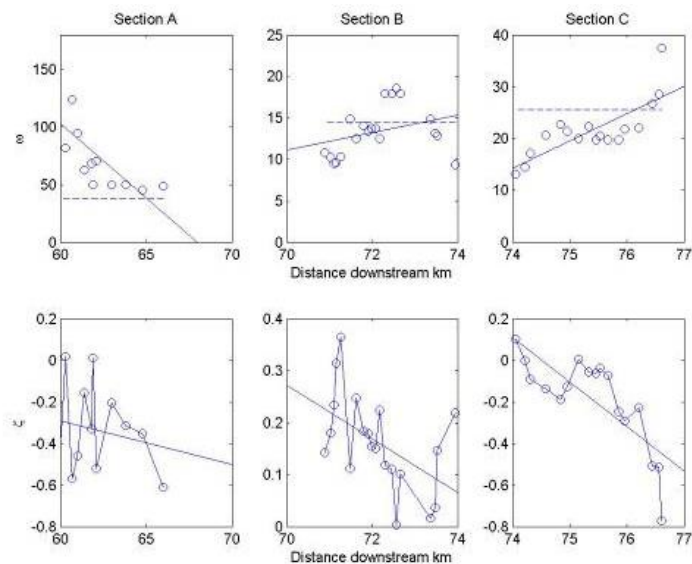


Figure 3. Downstream variations in  $\omega$  and  $\zeta$ . Distance downstream increases from Kerkini reservoir (distance 0 km) to the river mouth. Dotted lines represent the conditions of the artificial Strimonas channel constructed in the 1930's.

The locations of the measured cross-sections were randomly chosen and were positively tested to be drawn from normal populations so that no bias was evident. The downstream changes of the channel shape parameters for the three reaches are shown in Figure 3.

Variations of the width to depth ratio ( $\omega$ ) are 10 times higher for section A compared with sections B and C (Fig. 3a) and display different trends as well. Simon (1992) documented  $\omega$  mean values of about 5.4 for fine-bed cohesive bank channel and 128 for a coarse-bed channel with non-cohesive banks, while in our case  $\omega$  values range between 9.3 and 145.7. Increased  $\omega$  values imply that channel adjustment is dominated by widening the opposite being true for decreasing  $\omega$  values. Channel widening has been found to cause steeper slopes and some temporary bed erosion downstream of the widening point (Hunzinger, 1999). High  $\omega$  values in the beginning of section A suggest the existence a wide and shallow channel, a result of periodic deposition of material transported by Aggitis River. Excessive sediment accumulation from Aggitis River has also caused bank erosion at the upstream parts of section A. On the other hand, decreasing  $\omega$  values in the downstream part of section A imply that the channel becomes narrower and deeper towards Amphipoli narrows. Accordingly, sections B and C are dominated by a variable pattern of both narrowing and widening, with the general trend characterized by increasing  $\omega$  values. In contrast with section A,  $\omega$  values of sections B and C are close enough to their initial values, showing little change in channel shape.

The longitudinal distribution of the thalweg elevation  $\zeta$  displays a variable pattern, as

well as negative values (Fig. 3b). Section B appears to be dominated by relative bottom deposition or no change at all, while there is less variability in bed morphology towards the river mouth. This decrease is partly related in lower discharge values, since along downstream sections river water is being lost to irrigation. Negative  $\zeta$  values suggest the existence of pools which are very important during periods of low flow. Pools are controlling factors for backwater effects, entrapment of saline waters and sediment transport processes.

The net changes of  $\omega$ , bankfull channel depth and cross sectional area for the past 70 years are summarized in Table 3. Even though the mean values of the above mentioned parameters were used, the comparison between the hydraulic geometry properties with present day is indicative of the general trends since the onset of the human changes. The comparison between the three studied reaches suggests that section B is exhibiting the least change in both the width to depth ratio  $\omega$  and the bankfull depth, and can efficiently transport the delivered sediment from upstream. Section A appears to have been subjected to significant geometric changes dominated by an increase in width to depth ratio by an order of 2. Section C also displays remarkable changes in channel geometry, characterized by bottom deposition and negative  $\zeta$  values. This section presents the greatest reduction in cross-sectional area leading to the conclusion that existing flows cannot efficiently transport sediment to the river mouth.

The increase in  $\omega$  values along section A accompanied by reduction in the mean bankfull depth suggests that channel widening has been taking place. The main mechanism responsible for this is sediment input from Aggitis River and upstream reaches at irregular time scales, which results in decrease of channel depth and bank erosion.

**Table 1. Changes in cross-sectional hydraulic properties during the past 70 years along Strimonas River**

SecI	$\mu\omega$	Initial $\omega$	Percent change	$\mu$ Depth <sub>bankfull</sub> (m)	Initial Depth <sub>bankfull</sub> (m)	Percent change	$\mu A$ (m <sup>2</sup> )	Initial A (m <sup>2</sup> )	Percent change
A	74.18	36	51.4 %	1.17	2.5	53.2%	-	225	-
B	13.39	14.44	-7.2 %	4.1	4.5	8.88%	168.94	292.5	42.2%
C	21.66	25.55	-15.2	3.46	4.5	23.1%	204	517.5	60.5%

These outbursts of water and sediment cause morphological changes in the downstream reaches with the system trying to reach new equilibrium following such events. However, continuity of mass requires that sections A, B and C are linked in terms of passage of waves of water and sediment so that these morphological changes are characterized by bank erosion at section A, followed by transport of sediments through section B and sediment deposition along section C during high stages of discharge.

The downstream trends in decreased bed channel variability together with increased  $\omega$  values result in smoother flows, which can potentially result in efficient sediment transport under certain flow conditions. However, considerable quantities of sediment have been deposited along sections A, B and C, resulting in reduction of cross-sectional area and an important question is addressed here that postulates the problem of whether existing discharges are able of adjusting the channel's shape after such abrupt changes.

## 5. Sediment transport regime related with channel evolution.

The amount of sediment that has caused changes in channel geometry for the studied reaches comes mainly, from Aggitis River, from side torrents and from upstream channel erosion. The most significant amount of the side sediment input comes from Kastrolakos torrent. Since there are no available data on sediment transport rates, numerical simulations have been employed to provide better understanding of the way that the system has

functioned since the termination of human impacts. Discharge is considered to be constant and at bankfull stage except from periods of flooding.

In order to evaluate the sedimentation regime that has resulted in present conditions we established a set of initial boundary conditions. These initial boundary conditions include relatively constant, uniform and steady flow ranging from 100 to 150 m<sup>3</sup>/sec and the initial dimensions of the man-made channel as described above. Since then the functioning of the artificial Strimonas channel is considered continuous and together with periodic inputs of sediment from the above mentioned sources has resulted in present day geometry.

The employment of DuBoys' sediment transport formula provides further insight about the way sediment discharge varies with the channel shape factor  $\omega$  (Yang 1998). For constant values of channel slope  $S=0.280/1000$ , sediment size  $d=1\text{mm}$ , water density  $\rho=1000\text{kg/m}^3$ , and sediment density  $\rho_s=2650\text{ kg/m}^3$ , we evaluated potential sediment transport rates that may have resulted in present day channel morphology. Figure 4 summarizes the results of this approach and provides a general view about how the studied reaches have evolved since their initial stage of construction.

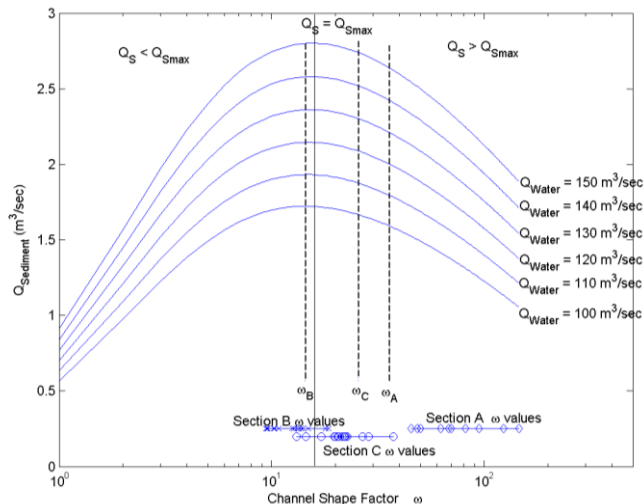


Figure 4. Sediment transport rates as a function of shape factor  $\omega$  for different water discharge values and for ( $S=0.3/1000$ ,  $d=1\text{mm}$ ,  $\rho=1000\text{ kg/m}^3$  and  $\rho_s=2650\text{ kg/m}^3$ ). Also shown, the initial ( $\omega_A$ ,  $\omega_B$  and  $\omega_C$ ) and present day values of  $\omega$  for the three sections plotted in their downstream directions from the left to the right.

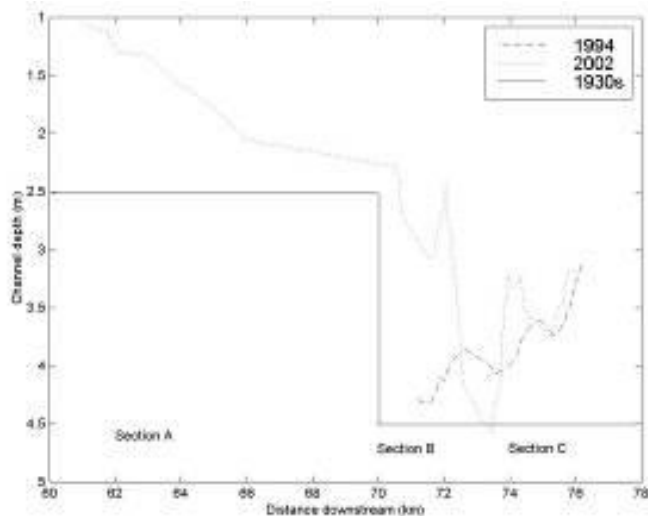
For  $Q_S > Q_{Smax}$  (Fig. 4) the channel cannot efficiently transport the delivered sediment only by changing channel geometry and a change in either slope or discharge is inevitable, while for  $Q_S < Q_{Smax}$  channels can transport sediment by adjusting channel geometry alone (Huang and Nanson, 2000). As shown in Figure 4,  $\omega$  values of section A and part of sections B and C fall within the right side of the condition  $Q_S = Q_{Smax}$  where  $\omega$  values are higher. Most important is that for the discharge values used in our analyses the initial  $\omega$  values of sections A and C are on the right hand side of the  $Q_S = Q_{Smax}$  condition. So, from the time of the construction of the artificial channel sections A and C were not capable of transporting sediment alone for discharges up to 150m<sup>3</sup>/sec. Also, present values of  $\omega_A$  have moved to the right of their initial values suggesting that each disturbance will force the system to become increasingly unstable. Section B and in part of section C channel  $\omega$  values display some variability about their initial values and also oscillate between the  $Q_S = Q_{Smax}$  condition, suggesting that they can transport sediments efficiently especially in their



upstream locations. Bed degradation is concentrated in certain areas as a result of maximum shear stress. These areas are the transition points between sections A and B, and between sections B and C. The first being a constriction flow point, the later an expansion flow point.

The overall transport efficiency of sections B and C is better reflected on the downstream channel depth distribution. Figure 5 illustrates all the available channel depth data (1994, 2002 surveys). Downstream depth distribution suggests the existence of areas of greater depth and increased shear stress where sediment transport takes place. The 1994 survey shows minor changes in depth along section B and along the upstream part of section C, which comes in agreement with the results of our mathematical approach.

During 1995 excessive rainfall and flooding occurred in the area so that all side torrents were activated. The most important of those that discharges into Strimonas channel is Kastrolakos torrent. During this flood event the torrent transported large quantities of coarse material into the channel causing in this way a natural disturbance. Post flooding discharges were not able to move the deposited sediments and downstream bed erosion took place. Given the flow conditions described above the Kastrolakos torrent case can be indicative of the way that Strimonas channel has been functioning.



*Figure 5. Downstream distribution of the 7km running mean of depth Strimonas River channel since the 1930's. Increased depths of the 2002 survey 72 km downstream correspond to the 1995 Kastrolakos flood deposits.*

The scenario for Strimonas channel evolution given the boundary conditions established above suggests that following a disturbance such as excessive sediment load from Aggitis River there follows an expansion of flow at the beginning of section A, which causes channel widening and bed erosion further downstream resulting in increased depths and decreased channel width (decreasing  $\omega$  values, Fig. 3a). The channel system begins to transport the excess of material downstream in order to reach a new equilibrium after certain time. Sediment is transported at section B and from there is efficiently transported towards section C. At the downstream part of section C sediment deposition begins to take place eventually as the channel becomes wider, shallower, water is lost to irrigation and a fresh with seawater interface exists. This results in the formation of an internal delta, which traps significant quantities of sediment.

## 6. General setting

The general view obtained for the previous analyses of channel evolution suggests that sections A and C are significant in trapping sediments, while section B exhibits an ability to efficiently remove sediments. To further investigate this we used Yang's criteria (Yang, 1998) for incipient motion to establish a threshold curve for sediment entrainment. Yang's criteria are based solely on the grain size properties and have been proved to provide relatively accurate estimates for sand fractions. Potential river discharge for given channel dimensions assuming rectangular channel has been calculated through the Manning's formula. Sediment grain-sizes range from gravel ( $d_{50}=20\text{mm}$ ) near the junction with Aggitis River to fine sand and silt ( $d_{50}=0.1\text{mm}$ ) in the shallow and sheltered parts of the channel.

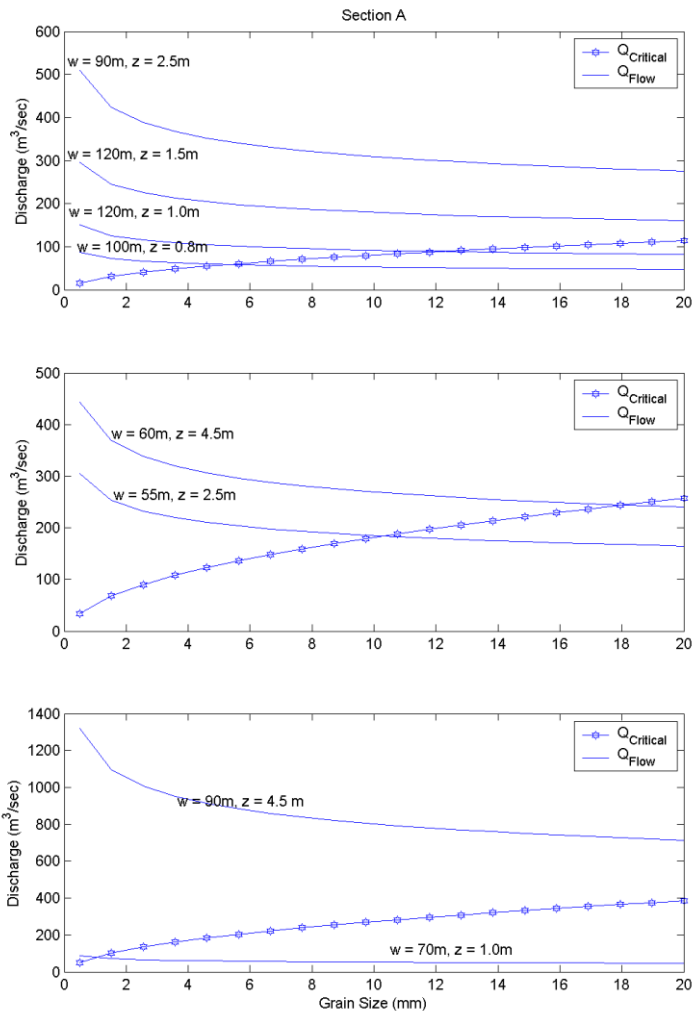


Figure 6. Threshold curve for sediment entrainment for the observed grain-sizes deposited for the three studied reaches. Solid lines represent discharge conditions for initial and reduced channel dimensions ( $w$ : channel width,  $z$ : channel depth).

The application of the incipient motion criteria suggests that section B is by far the most capable of removing material up to 1 cm in diameter, even for reduced cross-sectional area. Reduction in depth along section A caused by inputs of sediment results in removal of the finer parts only whereas coarser sand fractions cannot be immobilized given discharges lower than 150m<sup>3</sup>/sec. Section C is the weakest in terms of sediment transport. Even though **it's initial dimensions were capable of funneling large amounts of water, controlled discharge** from the reservoir has resulted in continuous sediment deposition with as only the mud fractions can be efficiently removed leading to a winnowing process.

## 7. Conclusions

The impacts resulting from a series of human constructions along the course of Strimonas River have been examined in terms of changes in channel geometry, shape and sediment transport potential, for three studied reaches (from 60 to 78km, downriver). Even though the artificial channel of the river was constructed on the basis of avoiding flooding and increasing the channels conveyance for transportation reasons, the opposite has occurred. For water discharges up to 150m<sup>3</sup>/sec, the initial channel of sections A and C could not efficiently transport sediments by adjusting form alone, but changes in slope or discharge are necessary. Section B is by far the most efficient part of the artificial channel in **funneling sediments and has changed a little since the 1930's. Channel geometry analyses** suggest that Section A has been experiencing channel widening near the confluence with Aggitis River due to episodic sediment input, which results in a wide and shallow channel. This in turn results in reduced sediment transport capacity near that point given steady discharges so that only some fractions of bed material can be removed leading to winnowing of fines. Section C has been subjected to significant changes, mainly reduction of depth. Average reduction of cross-sectional area along this stretch has reached a value of 60.5%. Along the downstream part of this section channel morphology and current flow regime have led to excessive deposition of material and the formation of a great number of pools (Figure 3b), which in turn results in entrapment of saline waters.

Discharges of water released from Kerkini reservoir are not adequate in preserving equilibrium conditions along the studied reaches. Especially during the summer months when evaporation and loss of water to irrigation are greatest bed erosion is minimal resulting continuous removal of fines and deposition along section C. Additional sampling and bottom surveying are appropriate in order to obtain better views of the channel morphology, and sediment size distributions before any management decisions should be made. From our analyses it comes that present day river morphology and discharge regimes are leading parts of sections A and C to anastomosis which can result in disastrous flooding during extreme flood events.

## References

- Huang and Nanson, 2000. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1-16.
- Hunzinger, 1999. Morphology of river widenings of limited length. *Proceedings of the XXVIII IAHR Congress, Graz*, 227-238.
- Leopold, et al., 1964, *Fluvial processes in geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Psilovikos et al., 1994, (In Greek) Μελέτη - Έρευνα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των έργων προστασίας περιοχών περί τον άνω και κάτω ρού του ποταμού Στρυμόνα, τη λίμνη Κερκίνη και χειμάρρους της πεδιάδας των Σερρών. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, Γεν. Γραμ. Δημοσίων Έργων, Δνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), Επιτροπή Ερευνών ΑΠΘ αρ. 8074.
- Schumm et al., 1984. *Incised channels, morphology, dynamics and control*. Water Resources Publications, Littleton CO, 202-206pp.

Simon A. S.E. Darby, 1997. Process – form interactions in unstable sand-bed river channels: A numerical modelling approach. *Geomorphology*, 21, 85 – 106.

Simon, 1992. Energy, time and channel evolution in catastrophically disturbed fluvial systems. *Geomorphology*, 5 345-372.

Vouvalidis, 1998. Morphological, sedimentological, oceanographic processes and human impacts contributing to the evolution of Strimonas River. PhD Dissertation, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.

Vouvalidis et al., 2001, (In Greek) Μελέτη – Έρευνα της πρόσχωσης της κοίτης του ποταμού Στρυμόνα και δυνατότητες αξιοποίησης των υλικών της από συμβολή Αγγίτη ως την εκβολή του στον Στρυμονικό κόλπο. Επιτροπή Ερευνών ΑΠΘ αρ. 20389.

Western et al., 1997. A method for characterising longitudinal irregularity in river channels. *Geomorphology*, 21, 39-51.

Yang C.T., 1972. Unit stream power and sediment transport. *Journal of the Hydraulics Division*. ASCE 98, 1805-1826.

Yang C.T., 1998. *Sediment transport. Theory and Practise*. McGraw-Hill.

## Η ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΣΦΑΚΙΩΝ, ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗ, ΕΛΛΑΔΑ

Tsimi C.<sup>1</sup>, Γκάνας Α.<sup>1</sup>, Ferrier G.<sup>2</sup>, Δρακάτος Γ.<sup>1</sup>, Richard J. Pope<sup>3</sup>, Φασούλας Χ.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Αθήνα 11810, Ελλάδα, [christinant@gmail.com](mailto:christinant@gmail.com), Fax: +30 210 3490180.

<sup>2</sup> Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο του Hull, Cottingham Road, Hull, HU6 7RX, UK

<sup>3</sup> Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου του Derby, Kedleston Road, Derby DE22 1GB, UK

<sup>4</sup> Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Πανεπιστημίου Κρήτης, Κносου Av., Ηράκλειο 71409, GR

### Περίληψη

Το ρήγμα των Σφακιών με μήκος 17 km βρίσκεται στη νοτιοδυτική Κρήτη και θεωρείται ως πρότυπο παράκτιας ανόδου και θεαματικού σχηματισμού φαραγγίων στην Ελλάδα. Αυτό το ρήγμα ξεκίνησε την λειτουργία του στο Πλειόκαινο (~ 3-5 Ma) λόγω της έκτασης του γήινου φλοιού με κατεύθυνση Β-Ν. Η δραστηριότητά αυτή συνεχίστηκε μέχρι τα μέσα του Τεταρτογενούς όπου η σεισμική δράση μεταφέρθηκε στο σεισμικό, συνθετικό, παράκτιο ρήγμα περίπου 4-6 km νότια. Σε αυτή την έρευνα παρουσιάζονται νέα δεδομένα για την τεκτονική γεωμορφολογία της περιοχής όπου χαρακτηρίζεται από τον ανταγωνισμό της ανόδου της ξηράς λόγω του ρήγματος των Σφακιών και της γενικότερης ανόδου λόγω της σύγκλισης των πλακών Αφρικής και Ευρασίας. Το σταθερό τέμαχος του ρήγματος των Σφακιών αποτελείται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα και χαρακτηρίζεται από επιμήκεις κοιλάδες και βαθιά φαράγγια. Το κατερχόμενο τμήμα αποτελείται κυρίως από αλλουβιακά ριπίδια. Η έρευνα πεδίου απέδειξε ότι τα μικρά ρέματα που διαβρώνανε το μέτωπο του βουνού έχουν σταματήσει την κατά βάθος διάβρωση και επίσης η παράκτια πεδιάδα είναι ανυψωμένη επάνω από την παρούσα στάθμη θάλασσας από 0.2-12 m ανάλογα με τη θέση. Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες κατά μήκος του ρήγματος (Υψομετρικό ολοκλήρωμα, Ασυμμετρία λεκάνης, Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος, Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών, μέση κλίση των τριγωνικών πρανών) υπολογίστηκαν με την χρήση του λογισμικού ArcGIS. Επίσης έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των μορφοτεκτονικών δεικτών μεταξύ του ρήγματος των Σφακιών με το κανονικό ρήγμα του Ψαθόπυργου στο Δυτικό άκρο του Κορινθιακού Κόλπου. Οι στόχοι σε αυτή την έρευνα είναι α) να γίνει σύγκριση της επίδρασης των ρυθμών ολίσθησης στη διαμόρφωση της γεωμορφολογίας του σταθερού τέμαχους και β) να γίνει αξιολόγηση της ανύψωσης της ευρύτερης περιοχής με σύγκριση των δεδομένων από τα σταθερά τεμάχη των κανονικών ρηγμάτων.

### MORPHOTECTONICS OF THE SFAKIA NORMAL FAULT, SOUTH-WESTERN CRETE, GREECE

Tsimi C.<sup>1</sup>, Ganas A.<sup>1</sup>, Ferrier G.<sup>2</sup>, Drakatos G.<sup>1</sup>, Richard J. Pope<sup>3</sup>, Fassoulas C.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, Athens 11810, Greece, [christinant@gmail.com](mailto:christinant@gmail.com), Fax: +30 210 3490180.

<sup>2</sup> Department of Geography, University of Hull, Cottingham Road, Hull, HU6 7RX, UK

<sup>3</sup> Division of Geography, University of Derby, Kedleston Road, Derby DE22 1GB, UK

<sup>4</sup> Natural History Museum, University of Crete, Knosou Av., Herakleion 71409, GR

### Abstract

The E-W striking, S-dipping, 17-km long Sfakia fault is located in the south-western

Crete which is considered as a paradigm of coastal uplift and spectacular gorge formation in Greece. This fault was formed in Pliocene times (~ 3-5 Ma) because of crustal extension in the N-S direction. Its activity continued until mid-Upper (?) Quaternary where seismic faulting may have switched to the synthetic, offshore fault about 4-6 km to the south. Our work presents new data on the tectonic geomorphology of this area which is characterised by the competition of uplift due to the Sfakia fault and of regional uplift due to plate convergence. Field observations by our team showed that small streams and gullies eroding the mountain front have stopped incising and that the coastal plain is uplifted above present-day sea level from 0.2-12 m depending on location. The morphotectonic indices along the fault (hypsometric integral, drainage basin asymmetry, ratio of valley floor width to valley height (Vr), mountain front sinuosity, mean slope of triangular facets) have been calculated using the ArcGIS software. Our work shows that the tilt direction of footwall catchments changes along the footwall which is clear evidence for lack of a bell-shape, cumulative uplift pattern along an active normal fault. We also compare our results with several morphotectonic indices of the Psathopyrgos normal fault inside the Gulf of Corinth, a well-known Quaternary rift.

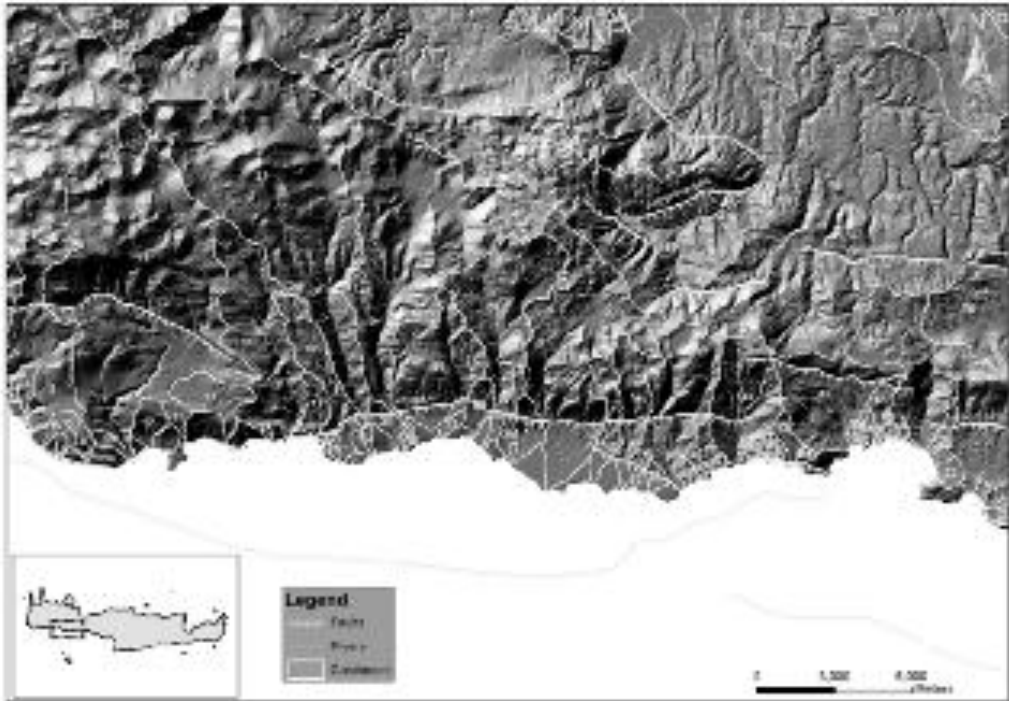
**Λέξεις κλειδιά:** Μορφοτεκτονική, Βόρειο δυτική Κρήτη, Ρήγμα Σφακίων.

**Key words:** Morphotectonic, South-West Crete, Sfakia fault.

## 1. Introduction

The Sfakia fault is located in the south-western Crete which is considered as a paradigm of coastal uplift and spectacular gorge formation in Greece (Figure 1; Pirazzoli et al., 1982; Fassoulas, 2001; Peterek A, and Schwarze J. 2004; Fassoulas and Nikolakakis, 2005). This fault is E-W striking, S-dipping, 17-km long and it was formed in Pliocene times (~ 3-5 Ma) because of crustal extension in the N-S direction. The onset of its activity is marked by the deposition of the Chora Sfakion formation (Lower Pliocene; Skourtsos et al., 2007) which is found on the hangingwall of the fault. Its activity continued until mid-Upper (?) Quaternary where seismic faulting may have switched to the synthetic, offshore fault about 4-6 km to the south. Recent estimates of footwall uplift due to co-seismic slip along the Sfakia fault are of the order of 0.8 mm/yr (Alexopoulos and Markopoulou-Diakantoni, 1996; Skourtsos et al., 2007) and is comparable to other normal fault data for central and eastern Crete (Caputo et al., 2006). In addition, the Early Pleistocene, marine sedimentary formation of Fragokastelo has been uplifted at about 0.4-0.6 mm/yr (Skourtsos et al., 2007). Fragokastelo is located in the hangingwall of Sfakia normal fault and if Sfakia was active during Middle-Late Quaternary this formation should be subsiding or be at least stable below sea level. This uplift can be explained by offshore seismic activity on synthetic normal fault(s) and/or regional uplift due to plate convergence along the Hellenic Arc. All over south Crete, one sees uplifted marine terraces and other shoreline features (Wegmann et al., 2006). Our work presents new data on the tectonic geomorphology of this area which is characterised by the competition of uplift due to the Sfakia area faults and of regional uplift.

The footwall area of the Sfakia fault comprises mainly limestone and marble of the Plattenkalk and Trypali units and is characterised by the occurrence of rectilinear valleys and deep gorges (Figure 1). The western hangingwall area is dominated by alluvial fans along the mountain front (Nemec and Postma, 1993). To the east there is an extensive outcrop of basement (phyllites) near the village Skaloti (IGME, 1982; Figure 2) with an estimated thickness of about 400 m. Phyllites are tectonically overlain the Plattenkalk rocks which reach 1000 m in thickness (IGME, 1982) so the existence of phyllites on the hangingwall area of the Sfakia fault indicates significant vertical displacement (throw) of this fault. A complicating factor for calculating throws is the existence of the Fragokastelo normal fault (Skourtsos et al., 2007) which runs oblique to the Sfakia fault and terminates against it (Figure 1).



*Figure 1. The study area of south-western Crete including the Sfakia normal Fault (thick white line with ticks on the downthrown side). Other normal faults are shown with their names printed, as well. Thin white lines show river catchments, main rivers and streams. Numbers indicate catchment number. Background image is a shaded relief model of Crete produced from a 20-m DEM mosaic. Illumination is from the North.*

Field investigations by our team showed that small streams and gullies eroding the mountain front (Figure 2) have stopped incising and that the coastal plain is uplifted above present-day sea level from 0.2-12 m depending on location. The morphotectonic indices along the fault (hypsometric integral, drainage basin asymmetry, ratio of valley floor width to valley height ( $V_r$ ), mountain front sinuosity, mean slope of triangular facets) have been calculated using the ArcGIS software. We also extended our GIS analysis to the greater western Crete area using an elevation data set of a mosaic of six 1:50000 maps sheets of the Greek Army from where we built a 20-m Digital Elevation Model (DEM). The normal faults of the greater area have been extracted by use of the DEM mosaic products (relief, slope map) and satellite images from the Landsat 7 ETM+ sensor. In this paper we will present our results for the Sfakia area only. We also compare our results with morphotectonics of active normal faults inside Quaternary rifts in mainland Greece such as the Gulf of Corinth. In particular we have analysed the Psathopyrgos fault (Tsimi et al., 2007) which is an active fault on the western Gulf of Corinth area and its footwall uplift rate has been recently determined at 1.8 mm/yr (minimum estimate; Palyvos et al., 2007). The objective is a) to compare the effect of variable slip rates on footwall geomorphology and b) to evaluate the contribution of regional uplift by comparing data from footwall areas of comparable normal fault systems.



Figure 2. Field photograph of the Sfakia mountain front near the village Skaloti. Black arrows show the position of the fault scarp. Note that the face of the scarp is eroded indicating fault inactivity. Rocks on the foreground are mica schists of the phyllite unit. Photograph taken on 30 May 2007. View to the west.

## 2. Materials and Methods

The main data set, which we used, is a Digital Elevation Model (DEM) with resolution 20 x 20 m. From those data we produced slope maps, shaded relief maps and TIN models of the landscape. The software that was used was ArcGIS™ v.8.1 for Windows. We digitized on-screen a) the boundaries of catchments (287), b) the courses of streams c) the boundaries of triangular facets developed on the footwall area of the Sfakia faults and d) the traces of normal faults as mapped by Skourtsos et al., (2007) and by our own field work. Several faults were located precisely by collecting fault plane coordinates using field GPS. The calculated morphometric indices of this study are the following:

- Hypsometric integral (HI; Figure 3)

$$HI = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (1)$$

Where Hmean, Hmax and Hmin are the mean, maximum and minimum elevation, respectively.

- Drainage basin asymmetry (AF; Figure 4)

$$AF = 100 * (Ar / At) \quad (2)$$

Where Ar is the size of area in the right sub-catchment of main river and At is the area of whole catchment.

- Ratio of valley floor width to valley height (Vr; Figure 5)



$$Vr = \frac{2V_{fv}}{(h_1 - h_3) + (h_2 - h_3)} \quad (3)$$

Where  $V_f$  is the width of the valley floor,  $h_1$  and  $h_2$  are the elevations of the right and left drainage divide and  $h_3$  is the elevation of the valley floor.

Where  $V_f$  is the width of the valley floor,  $h_1$  and  $h_2$  are the elevations of the right and left drainage divide and  $h_3$  is the elevation of the valley floor.

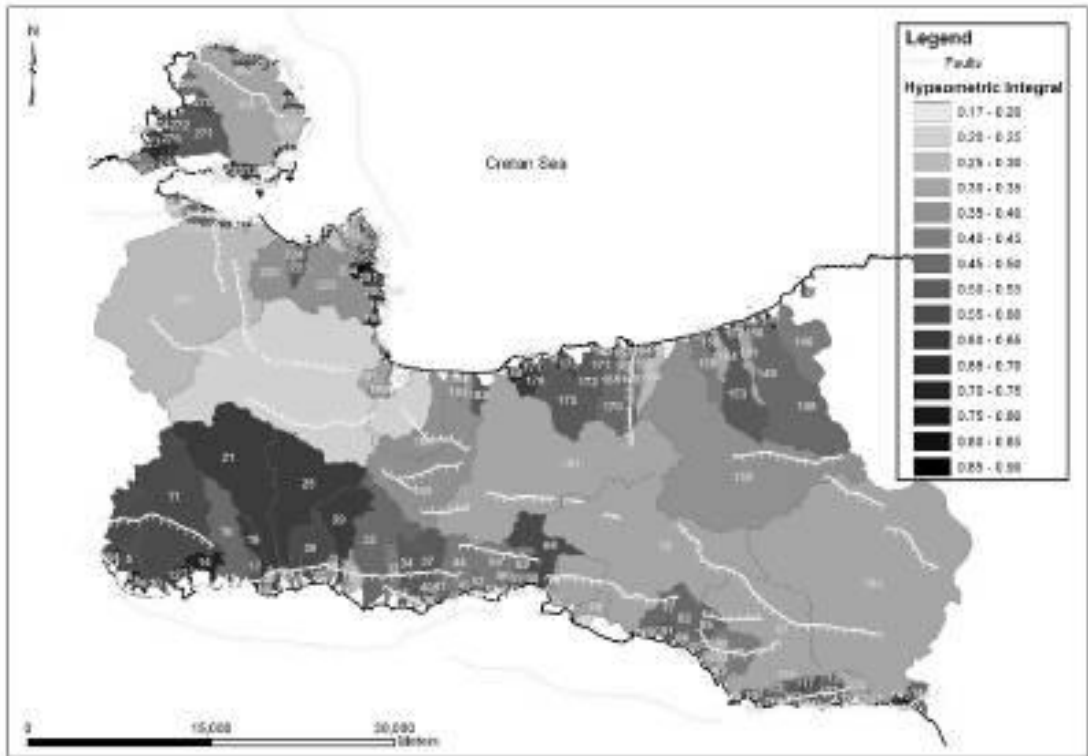


Figure 3. The map indicates the spatial distribution of the Hypsometric Integral based on DEM elevations of catchments. The Sfakia area catchments are indicated by numbers 18 to 44. The light grey color means low topography and the dark grey color means high topography. The white lines are the normal faults (ticks on the downthrown side). Note in the Sfakia fault area that the size of catchments decreases to the east.

### 3. Results and Discussion

Our results on the distribution of the morphotectonic indices along the Sfakia Fault include:

a) High values of the H.I. index are mapped on the western end of the fault (0.64). Low values ( $H.I. < 0.4$ ) are mapped on catchments that are cut by the fault.

b) The Asymmetry map reveals strong tilt to the east and moderate tilts to the west. The AF index reaches 0.86 (Sfakia gorge catchment 21; west part), 0.74 and 0.71 (catchments 26 and 28; middle), 0.81 and 0.79 (catchments 31 and 37; east). A drastic change in the tilt direction occurs in the middle of the fault. AF values for catchments 26 and 28 (see above) indicate tilt to the east but the neighbouring catchment of Asfendou (Figure 4, number 29) shows  $AF=0.21$  indicating strong tilt to the west. It is notable that this switch in tilting directions occurs almost in the middle of the fault where one would expect the opposite behaviour if a typical displacement-length relationship was established as in the Psathopyrgos fault case (Tsimi et al., 2007).

c) The Vr ratio (Figure 5) ranges from 0.08 to 2.02, both values characterising limestone-incised valleys. Vr values below 1 are characteristic of active regions; however, we suggest that such values can be sustained along inactive normal faults if the area is undergoing uplift due to regional processes such as plate convergence and/or the migration of fault activity is relatively new (let's say 100000- 300000 years). An interesting point to be further investigated is that the Vr ratio does not increase with distance from the fault scarp as is the case with active faults such as the Heliki Fault in the Gulf of Corinth area (Verrios et al., 2004). This may be due to either a) incorrect positioning of the fault scarp on the DEM image b) stop of tectonic activity (i.e. footwall uplift) resulting in termination of down-cutting and c) contribution of regional uplift which does not necessary follows the same pattern as the fault-specific uplift.

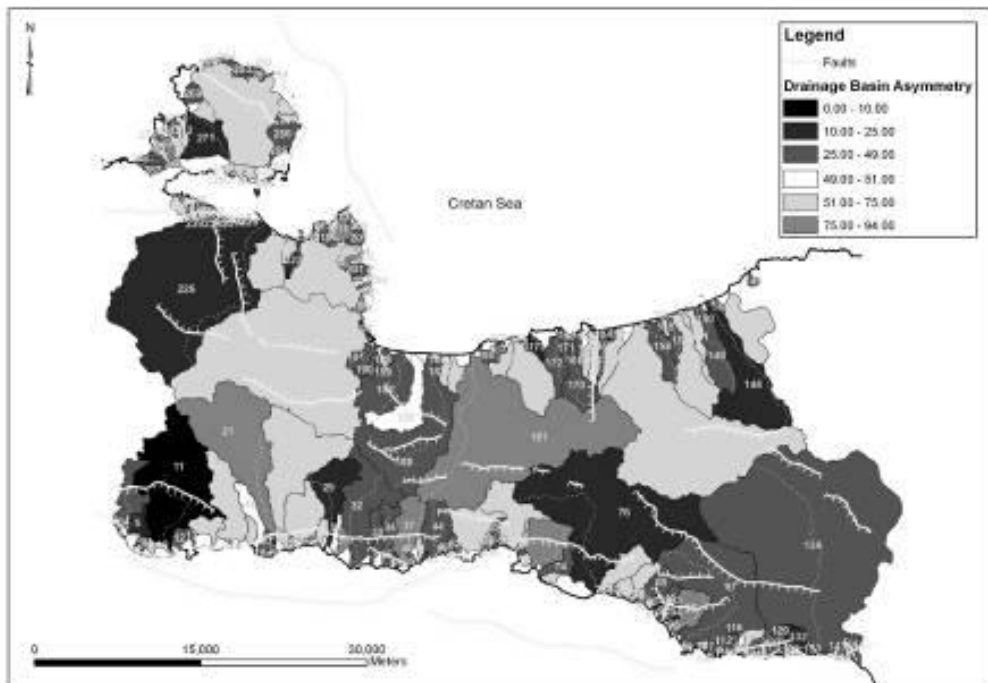


Figure 4. The map indicates the spatial distribution of the drainage basin asymmetry. The light color indicates values larger than 50% and means catchment's tilt to the left of the flow direction. Dark grey color indicates catchment's tilt to the right of the flow direction. The Sfakia area catchments are indicated by numbers 18 to 44. The white lines are the normal faults.

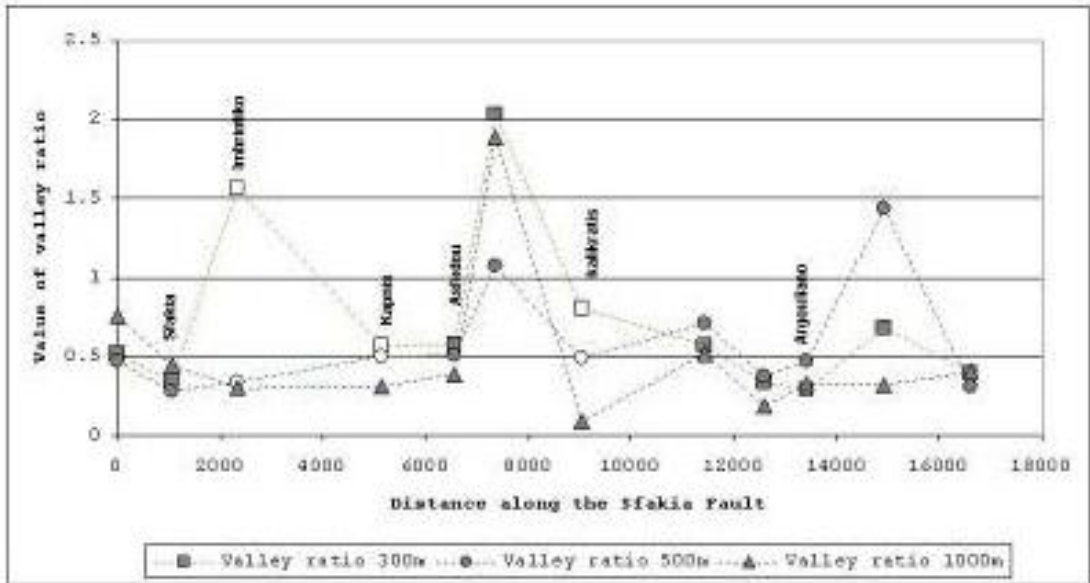


Figure 5. Graph showing the distribution of the ratio of valley floor width to valley height ( $V_r$ ). The square points indicate values at 300 m distance from the Sfakia Fault while circles indicate values at 500 m distance and triangular points indicate 1000 m, respectively. The grey color means that the lithology of the valley is limestone. The white color means that the lithology of the valley is alluvial fan, scree or talus. The position of the Sfakia fault was determined by the break in morphological slope.

We also compared our findings to the results we obtained from the morphotectonic analysis of the Psathopyrgos normal fault in the western Gulf of Corinth area (Tsimi et al., 2007). Our results are comparable because both footwall areas were studied from 1:50000 scale digitised DEMs. For this purpose we summed several key observations along one graph (Figure 6). Figure 6 shows the distribution of three (3) indices along strike of the two faults, namely the H.I index, the mean slope angle of catchments and the A.F index. Psathopyrgos shows high values of H.I (>0.5), and a switch in A.F about 5 km to the west of the origin of the section. Sfakia shows both high and low H.I values along strike. However, Sfakia show opposite behaviour in terms of tilt direction of the footwall catchments. In Figure 6b we see that catchments from distance 0 to 8500 m along strike show high values of AF indicating tilt to the east, while from distances 8500 to 17000 m the tilt direction switches to the west. This result is inconsistent with an isolated fault growth model where footwall basin asymmetry follows the cumulative displacement which has elliptical (or bell-shaped) geometry (Schlische et al., 1996). This change in tilt direction occurs in the centre of the fault with a converging mode and it can be regarded as evidence for fault inactivity. If large earthquakes ( $M > 6$ ) had recently occurred along the Sfakia fault then the footwall uplift would be greater in the centre and less at fault tips so the tilt direction would diverge at fault centre. On the contrary, this diverging asymmetry is what we observe in Psathopyrgos where the tilt direction agrees with the long-term slip distribution along the fault (Tsimi et al., 2007; Figure 6). Both faults show a similar distribution of slope angles of catchments.

In terms of comparing the effect of long-term (100000 to 1 million years) uplift rate on the present-day morphotectonics of both normal faults we note the following: a) H.I values along Psathopyrgos (fastest uplift; 1.8 mm/yr) are greater than 0.5 whereas H.I values

along Sfakia range from 0.25-0.64. In addition, the range of H.I values along the Psathopyrgos fault is small as they range from 0.50-0.65 while along Sfakia they range from 0.25-0.64 b) The spread of AF values is again larger for Sfakia (0.21 to 0.86) than for Psathopyrgos (0.39-0.61). We think this difference is not due to the uplift (slip) rate difference (1.8 vs. 0.8) but to the combination of a) regional uplift pattern and b) normal fault activity migration to the south. This hypothesis may be supported by the fact that AF values in the western part of Sfakia are generally greater than those from the eastern part (Figure 6) and numerous field observations by us (i.e. Figure 2) and other workers that the Sfakia mountain front is not actively incising. Fault migration to the south would imply that the Sfakia fault now constitutes the footwall area of the active fault(s) so the present-day uplift pattern would depend on the exact location of the active fault, its geometry and its distance. We also suggest that the effect of regional uplift along Psathopyrgos (if any) is negligible.

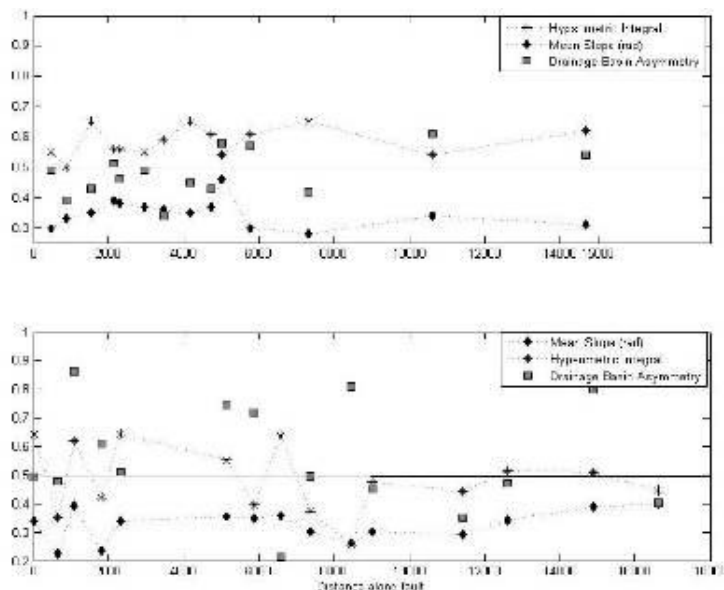


Figure 6. Diagram indicating variation of three (3) indices along strike Top) Psathopyrgos Fault Bottom) Sfakia Fault. Slope values are mean slope angles of catchments in radians. Note that the Psathopyrgos section is oriented east-west but the Sfakia section is west-to-east.

#### 4. Conclusions

Our work presents new data on the tectonic geomorphology of the Sfakia area (western-south Crete) which is characterised by the competition of uplift due to the Sfakia area faults of the order of 0.8 mm/yr and of regional uplift. The main morphotectonic indices along the Sfakia fault (hypsometric integral, drainage basin asymmetry, ratio of valley floor width to valley height ( $V_r$ )), have been calculated using the ArcGIS software. We found that a) the basin asymmetry factor does not follow the long-term slip profile along strike (Figure 6), instead it shows a converging tilt in the middle b)  $V_r$  ratios while remaining low do not increasing upstream as do in other normal faults (Helike). This evidence suggests that the Sfakia normal fault is inactive. We also observe that high uplift rates on footwall areas of normal faults tend to produce catchments with hypsometric integral values  $> 0.5$  and that a component of regional uplift would tend to disturb the bell-shape profile of isolated footwall geometry and produce highly asymmetric catchments. Finally, low  $V_r$  ratios ( $< 0.5$ ) developed on carbonate rocks can still survive along inactive normal faults.

## Acknowledgements

This research is funded by the General Secretariat of Research and Technology of Greece and NERC, UK. We thank Andrei Gosar, Manolis Skourtsos, Spiros Pavlides and Andy Banks for comments during field trips in western Crete. We also thank Odisseas Christou and GEOINFO Ltd for supplying the DEM data for Crete.

## References

- Alexopoulos, A. and Macropoulou-Diakantoni, A. 1996: La presence du Calabrien au plateau Impros (Crete occidentale, Greece) et sa signification pour l'évolution tectonique de Crete. *Rev. Paleobiol.*, 15(2), 349-355.
- Caputo R, Monaco C, Tortorici L., 2006: Multiseismic cycle deformation rates from Holocene normal fault scarps on Crete (Greece). *Terra Nova*, 18 (3), 181-190.
- Fassoulas, C.G., 2001: Field Guide to the Geology of Crete, Heraklion 2001, ISBN 960-367-008-1.
- Fassoulas, C., and Nikolakakis, M., 2005: Landscape Response to the tectonic uplift of Crete, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 37, 201-207.
- IGME, 1982. Geological map of Greece, Sellia sheet (1:50000 scale).
- Nemec, W. and Postma, G. 1993: Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. *Special Publication of the Association of Sedimentologists*, 17, 235-276.
- Palyvos, N., Sorel, D., Lemeille, F., Mancini, M., Pantosti, D., Julia, R., Triantaphyllou, M., De Martini, P.M. 2007: Rewie and new data on uplift rates at the W termination of the Corinth rift and the NE Rion graben area (Achaia, NW Peloponnesos). 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens 24-26 May 2007
- Peterek A, and Schwarze J. 2004: Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece). *J. Geodynamics*, 38 (1): 19-55.
- Pirazzoli PA, Thommeret J, Thommeret Y, Laborel J and Montaggioni LF, 1982: Crustal block movements from Holocene shorelines: Crete and Antikythira (Greece). *Tectonophysics*, 86, 27-43.
- Skourtsos, E., Pope. and Triantaphyllou, M. V. 2007: Tectono-Sedimentary evolution and rates of tectonic uplift of the Sfakia coastal zone, southwestern Crete. 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens 24-26 May 2007
- Schlische RW, Young SS, Ackermann RV, Gupta A., 1996: Geometry and scaling relations of a population of very small rift-related normal faults. *Geology*, 24 (8), 683-686.
- Tsimi, Ch., Ganas, A., Soulakellis, N., Kairis, O. and Valmis, S., 2007: Morphotectonics of the Psathopyrgos active fault, Western Corinth rift, Central Greece. 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens 24-26 May 2007
- Verrios, S., Zygouri, V., and Kokkalas, S. 2004: Morphotectonic analysis in the Eliki fault zone (Gulf of Corinth, Greece). 10th International Conference of the Geological Society of Greece, Thessaloniki 15-17 April 2007
- Wegmann, K.W, Pazzaglia, F.J, and Fassoulas, C., 2006: Chronostratigraphy of Late Quaternary marine terraces of Crete, Greece: vertical tectonics and implications for seismic slip on the Hellenic subduction zone. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 38, (7), 508.

## ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΙΣΤΩΝΙΔΑΣ

Τσόμπος Π.<sup>1</sup>, Μπαθρέλλος Γ.<sup>2</sup>, Σκυλοδήμου Χ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, Μεσογείων 70, Τ.Κ. 115 27, Αθήνα*  
<sup>2</sup>*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος*

### Περίληψη

Γεωμορφολογικές και διαχρονικές μεταβολές της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Βιστωνίδας διαπιστώθηκαν με τη χρήση, αξιολόγηση και σύγκριση δεδομένων, τα οποία προήλθαν από αεροφωτογραφίες, τοπογραφικούς χάρτες και δορυφορικές εικόνες. Το υλικό από το οποίο ελήφθησαν και αναλύθηκαν τα δεδομένα καλύπτει μία χρονική περίοδο 55 ετών. Συγκεκριμένα: αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42.000 λήψης 1945, τοπογραφικοί χάρτες 1:50 000 έκδοσης ΓΥΣ του 1970, δορυφορικές εικόνες Landsat 5 TM του 1985, του ραδιομέτρου ASTER του δορυφόρου TERRA του 2000 και Landsat 7 TM του 2005. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την συνδυασμένη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Με τη χρήση των τεχνικών αυτών, πιστοποιούνται και ποσοτικοποιούνται οι μεταβολές των ακτογραμμών. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα της περαιτέρω και συνεχούς διαχρονικής παρακολούθησης των γεωμορφολογικών μεταβολών πολύ οικονομικά και γρήγορα. Στην προκειμένη περίπτωση της λίμνης Βιστωνίδας, οι μεταβολές που διαπιστώθηκαν στο διάστημα 1945 έως 2005 ήταν: προέλαση της ξηράς στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λίμνης επιφάνειας 5.214.050,5 m<sup>2</sup> και ταυτόχρονη υποχώρηση των ακτών επιφάνειας 1.987.073 m<sup>2</sup> στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της λίμνης.

Οι χωρο-χρονικές αλλαγές της των ορίων της λίμνης οφείλονται κυρίως σε ανθρωπογενείς επεμβάσεις που έγιναν στην περιοχή κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Επιπλέον, η διαχρονική παρατήρηση των μεταβολών της ακτογραμμής, δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των θέσεων υποχώρησης της ακτογραμμής σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων ή υψηλού κυματισμού.

### SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE GEOMORPHOLOGIC CHANGES OF THE LAKE VISTONIDA

Tsombos P.<sup>1</sup>, Bathrellos G.<sup>2</sup>, Skilodimou H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology and Mineral Exploration, Messoghion 70 str., Athens 11527, Greece.*

<sup>2</sup>*National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimioupolis, 15784, Zografou.*

### Abstract

The geomorphologic and spatio-temporal changes of the broader area of the lake Vistonida have been analyzed using and assessing multi-temporal data that were resulted from the interpretation of aerial photography, survey maps and satellite imagery. The selected data cover a time interval of 55 years and they are of the following types:

aerial photography of scale 1:42.000 acquired at 1945, survey maps of 1:50.000 scale published by Geographical Military Survey in 1970, Landsat 5 satellite image with acquisition time the year 1985, and ASTER radiometer image of the Terra satellite system that was acquired during 2000 as well as Landsat 7 satellite image TM (2005). The data processing was carried out using a GIS system.

The applying of these techniques, it is possible to verify and quantify the changes of the coastline, as well as to monitor the spatio-temporary geomorphologic changes in a quick and economic way. The following changes have been identified for the case study area of Vistonida Lake during the 1945 - 2005 time interval: land expansion at the northern and eastern part of the lake with an area extension of 5,214,050.5 m<sup>2</sup>, along with simultaneous withdrawal of the coast at the eastern and southeastern part of the lake that is estimated to be of the of 1,987,073 m<sup>2</sup> order.

The observed spatio-temporal changes of the coastline that have taken place since the last decades are due to human interferences. Additionally, the knowledge of the exact location where changes of the coastline are occurring gives the capability to estimate the future locations of withdrawal of the coast for periods of intense rainfall or high waving.

**Λέξεις κλειδιά:** λίμνη Βιστωνίδα, διαχρονική παρακολούθηση ακτογραμμών, Γ.Σ.Π.

**Key words:** lake Vistonida, spatio-temporary analysis of coastline, G.I.S.

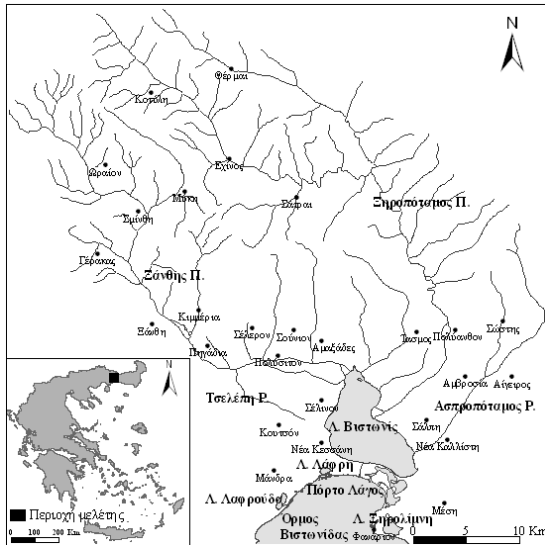
## 1. Εισαγωγή

Με μεθόδους τηλεπισκόπησης και με τη χρήση τεχνικών γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών μπορούν να ληφθούν πολλές πληροφορίες, οι οποίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στη γεωλογική και γεωμορφολογική έρευνα (Kenny, 1997; Σκυλοδήμου και Μπαθρέλλος, 2002). Η χαρτογράφηση των διαχρονικών διαφοροποιήσεων των ακτογραμμών σε λιμνοθάλασσες και υγροτόπους γενικότερα, για μεγάλα χρονικά διαστήματα είναι εφικτή με τη χρήση δεδομένων από παλαιότερους και νεότερους τοπογραφικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες σε συνδυασμό με τεχνικές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Για το λόγο αυτό συγκρίθηκαν αεροφωτογραφίες και τοπογραφικοί χάρτες (Gunasekera, 1996; Watters and Wiggins, 1999; Skilodimou et al., 2002). Ακόμα συγκρίθηκαν και συσχετίστηκαν με τους χάρτες και τις αεροφωτογραφίες δορυφορικές εικόνες διαφορετικής χρονολογίας λήψης. Η σύγκριση αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μεγάλες περιοχές δύνανται να επεξεργαστούν σε πολύ σύντομο χρόνο πολύ οικονομικά και οι πληροφορίες που παρέχονται είναι πολλές και πρόσφατες (Eyles, 1997; Goldberg, 1998; Ulbricht and Heckendorff, 1998; Mason et al., 2000; Gatsis et al., 2001; Winarsa, 2001).

Οι λιμνοθάλασσες και γενικότερα οι υγρότοποι παγκοσμίως είναι περιοχές μεγάλης υδρολογικής, φυσικής, χημικής, βιολογικής, κοινωνικής και κοινο-οικονομικής σημασίας. (Williams, 1990). Παράλληλα όμως αποτελούν και περιοχές οι οποίες κινδυνεύουν άμεσα από τις ανθρώπινες επεμβάσεις, γεγονός που καθιστά αναγκαία και απαραίτητη τη συνεχή καταγραφή και παρακολούθησή τους. Η λίμνη Βιστωνίδα βρίσκεται στα νότια σύνορα των νομών Ξάνθης - Ροδόπης και αποτελεί μία τυπική λιμνοθάλασσα που χωρίζεται από τη θάλασσα με έναν ισθμό από θινες, επικοινωνεί δε με αυτή με τρεις διώρυγες κάθετες προς τον ισθμό. Η συνολική της επιφάνεια είναι περίπου 45.000 στρέμματα με εποχιακή διακύμανση περίπου 6000 στρεμμάτων. Χαρακτηρίζεται ως αβαθής λίμνη, με βάθος κυμαινόμενο από 2-2,5m έως 3,5m. Σύμφωνα με τους Δελημάνη και Ξειδάκη (2004) κατά τις τελευταίες δεκαετίες οι κοίτες ροής των χειμάρρων και των ποταμών που τροφοδοτούν την λιμνοθάλασσα έχουν αλλάξει, εξαιτίας ανθρώπινων παρεμβάσεων με αποτέλεσμα τη μεταβολή των γεωμορφολογικών συνθηκών που επιδρούν στην εξέλιξή της.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται μόνο οι μεταβολές των ορίων της ακτογραμμής της λίμνης Βιστωνίδας και τεκμηριώνονται οι θέσεις και οι διευθύνσεις των μεταβολών της. Κρίθηκε σκόπιμο να μην μελετηθεί η βυθομετρία της λίμνης εξαιτίας της χρήσης διαφορετικών δεδομένων. Σκοπός της μελέτης είναι η ανάπτυξη και παρουσίαση μιας μεθόδου εργασίας με τη συνδυασμένη χρήση συμβατικών και σύγχρονων τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

## 2. Γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία



Σχήμα 1. Ενδεικτικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Βιστωνίδας.

το εσωτερικό, δημιουργώντας έτσι μια μορφή κλειστής λιμνοθάλασσας. Στη συνέχεια τα ρεύματα που άρχισαν να δρουν μέσα στη λιμνοθάλασσα με φορά αντίθετη αυτή της ανοικτής θάλασσας, είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία του ισθμού που τη χωρίζει από τη θάλασσα.

Η λίμνη Βιστωνίδα είναι μοναδικός αποδέκτης των φερτών υλικών των ανώτερων υδρολογικών λεκανών συνολικής έκτασης 1000 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Ο πυθμένας της καλύπτεται από ένα ανομοιόμορφο στρώμα αργιλικών υλικών που αυξάνει σε πάχος από το βορρά προς το νότο. Το αργιλικό αυτό στρώμα δημιουργεί τις συνθήκες στεγανότητάς της, που επιτρέπει όμως την υπογεία επικοινωνία των θαλασσιών υδάτων με αυτά της λίμνης σε πολλά σημεία κατά μήκος του ισθμού του Πόρτο Λάγος.

## 3. Δεδομένα και Ανάλυση

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες του έτους 1945 κλίμακας 1: 42 000, τοπογραφικοί χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:50 000, χρονολογίας έκδοσης 1970, οι ψηφιακές δορυφορικές εικόνες Landsat 5 του έτους 1985, του ραδιομέτρου ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflecion Radiometer) του δορυφόρου Terra με ημερομηνία λήψης 12/2000 και του Landsat 7 TM του έτους 2005.

Τα αποτελέσματα της ερμηνείας των αεροφωτογραφιών και της δορυφορικής εικόνας, καθώς επίσης και οι σαρωμένοι τοπογραφικοί χάρτες έχουν συνδυαστεί με τη χρήση τεχνικών επεξεργασίας Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Η ανάλυση έγινε σε διάφορα στάδια με την χρήση του λογισμικού πακέτου TNTmips και περιλάμβανε αρχικά, την προ-επεξεργασία των αεροφωτογραφιών των τοπογραφικών χαρτών και των δορυφορικών εικόνων, την γεωαναφορά και τη γεωμετρική διόρθωση των εικόνων καθώς και τη φασματική τους ανάλυση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι στρεβλώσεις και οι υψομετρικές αποκλίσεις των αεροφωτογραφιών είναι ελάχιστες διότι μελετάται η



μεταβολή της ακτογραμμής η οποία έχει υψόμετρο μηδέν. και η ενδοχώρα που ακολουθεί έχει σχετικά μικρές αποκλίσεις, ενώ κατά την γεωαναφορά των εικόνων η μέση τιμή απόκλισης ήταν <math><1\text{m}</math>. Στη συνέχεια, με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS δημιουργήθηκαν ράστερ μωσαϊκά από τα δεδομένα των σαρωμένων τοπογραφικών χαρτών και των αεροφωτογραφιών, ψηφιοποιήθηκαν τα όρια της λίμνης για κάθε έτος χωριστά και έγιναν χαρτογραφικές και ποσοτικές αποδόσεις των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας σε σχεσιακή βάση δεδομένων.

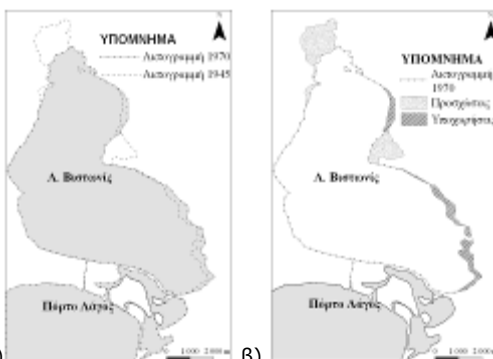
#### 4. Διαχρονική ανάλυση των ορίων της λιμνοθάλασσας

Στην περιοχή μελέτης είναι ενδεικτικές οι διαφοροποιήσεις στις μεταβολές των ακτογραμμών της λιμνοθάλασσας για το χρονικό διάστημα 1945–2005. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται διακρίνονται τα όρια της λίμνης, όπου η κάθε μία ακτογραμμή αντιστοιχεί σε διαφορετικό έτος.

Προκειμένου να διαπιστωθούν οι παράγοντες που επέδρασαν στις μεταβολές των ορίων της λιμνοθάλασσας εξετάστηκε η πορεία εξέλιξής της σε πέντε χρονικά διαστήματα. Το πρώτο διάστημα καλύπτει την περίοδο 1945-1970, το δεύτερο από το 1970 έως το 1985, το τρίτο από το 1985 έως το 2000 και το τέταρτο από το 2000 έως το 2005. Τέλος γίνεται η σύγκριση των ορίων της λίμνης το 1945 και το 2005.



Σχήμα 2. Τα όρια της λιμνοθάλασσας από στο 1945 έως το 2005.



Σχήμα 3. α). Τα όρια της λίμνης από το 1945 έως το 1970 και β) οι περιοχές των προσχώσεων και των υποχωρήσεων.

##### 4.1. Τα όρια της λίμνης από το 1945 μέχρι το 1970

Όπως προκύπτει από το σχήμα 3α κατά τη χρονική περίοδο 1945-1970 διαπιστώνονται σαφείς μεταβολές των ορίων της λιμνοθάλασσας. Πρόκειται για αυξομειώσεις της ακτογραμμής κατά μήκος της παραλίμνιας ζώνης.

Στο βόρειο και στο ανατολικό τμήμα της διακρίνεται στο σχήμα 3β πρόσχωση και απόθεση υλικού από τους ποταμούς της περιοχής και συγκεκριμένα στο δέλτα του Ξάνθη και του Ξηροποτάμου. Αντίθετα υποχώρηση των ορίων της λίμνης παρατηρούμε στο ανατολικό τμήμα της και κυρίως στο βόρειο καθώς και στο νότιο τμήμα των εκβολών του Ξηροποτάμου.

Για την χρονική περίοδο 1945-1970 έγινε εμβαδομέτρηση των περιοχών που προσχώθηκαν, όπως επίσης και των τμημάτων όπου παρατηρήθηκε υποχώρηση της χέρσου έναντι της λίμνης. Έτσι η επιφάνεια, την οποία κάλυψαν οι αποθέσεις του δέλτα του ποταμού Ξάνθη έχει εμβαδόν 2.060.781,5 τ.μ., ενώ οι προσχώσεις του δέλτα του Ξηροποτάμου καλύπτουν μία επιφάνεια της τάξης των 1.149.682 τ.μ. Αντίθετα στο βόρειο τμήμα του Ξηροποτάμου η υποχώρηση της ξηράς έχει εμβαδόν 384.023 τ.μ., ενώ στο νότιο τμήμα

καλύπτει μία επιφάνεια με συνολικό εμβαδόν 1.194.289 τ.μ.

Κατά τους Δελημάνη και Ξειδάκη (2004) στο χρονικό αυτό διάστημα έγιναν οι διευθετήσεις στις κοίτες των ποταμών Ξάνθη και Ξηροποτάμου καθώς επίσης και του Ασποπόταμου. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την μεταβολή του ρυθμού απόθεσης ιζημάτων μέσα στη λίμνη. Επιπλέον, η κατασκευή τεχνητής διόδου επικοινωνίας της λίμνης με την θάλασσα, την ίδια χρονική περίοδο, και η αποψίλωση των παραλιμνίων δασικών εκτάσεων είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της εισροής θαλασσινού νερού και τη δημιουργία προϋποθέσεων υποχώρησης των ορίων της λίμνης.

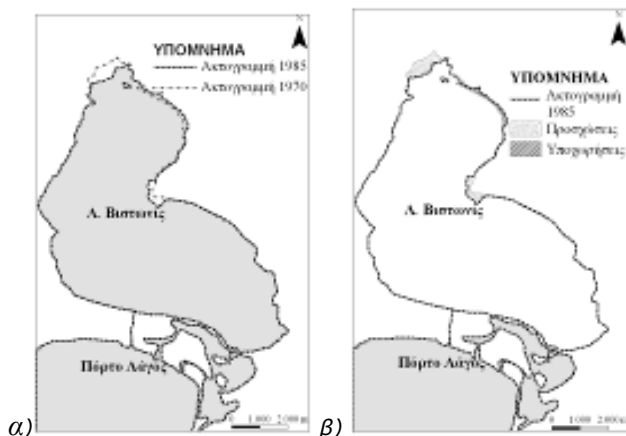
#### 4.2. Τα όρια της λίμνης από το 1970 μέχρι το 1985

Την χρονική περίοδο αυτή τα όρια της λίμνης δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές όπως διακρίνεται και στο σχήμα 4α στο οποίο αποτυπώνονται οι δύο ακτογραμμές και οι διαφορές τους. Όπως και στην χρονική περίοδο 1945 έως 1970, μεταβολές διαπιστώνονται επίσης, στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λιμνοθάλασσας. Οι προσχώσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 4β, οφείλονται στην μεταφορά και στην απόθεση υλικού από τους χείμαρρους και τα ποτάμια, που εκβάλουν στις περιοχές αυτές.

Το εμβαδόν της επιφάνειας, το οποίο έχει επεκταθεί στο δέλτα του Ξάνθη ποταμού είναι 561.730,6 τ.μ., ενώ οι προσχώσεις του δέλτα του Ξηροποτάμου καλύπτουν μία επιφάνεια με εμβαδόν 282.503 τ.μ.

Επίσης στο χρονικό αυτό διάστημα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4β εμφανίζονται υποχωρήσεις της χέρσου έναντι της λίμνης. Οι υποχωρήσεις αυτές διαπιστώθηκαν όπως και στην προηγούμενη χρονική περίοδο, στο βόρειο και νότιο τμήμα του δέλτα του Ξηροποτάμου. Συγκεκριμένα βόρεια του δέλτα του Ξηροποτάμου το εμβαδόν της επιφάνειας που έχει υποχωρήσει είναι 328.855 τ.μ., ενώ το εμβαδόν της επιφάνειας του νότιου

τμήματος είναι 85.721 τ.μ. Οι υποχωρήσεις της χέρσου έναντι της λίμνης στο χρονικό διάστημα 1970 έως 1985, όπως προκύπτει από τις εμβαδομετρήσεις είναι περιορισμένες σε σχέση με την περίοδο 1945-1970.



Σχήμα 4. α) Τα όρια της λίμνης από το 1970 έως το 1985 και β) οι περιοχές των προσχώσεων και των υποχωρήσεων.

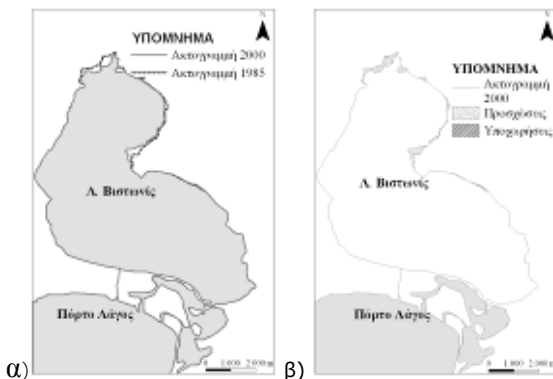
#### 4.3. Τα όρια της λίμνης από το 1985 μέχρι το 2000

Στο σχήμα 5α αποτυπώνονται οι μεταβολές των ορίων της λίμνης για τη χρονική περίοδο

1985-2000. Οι αποκλίσεις των ορίων εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λιμνοθάλασσας όπως διακρίνεται στο σχήμα 5β.

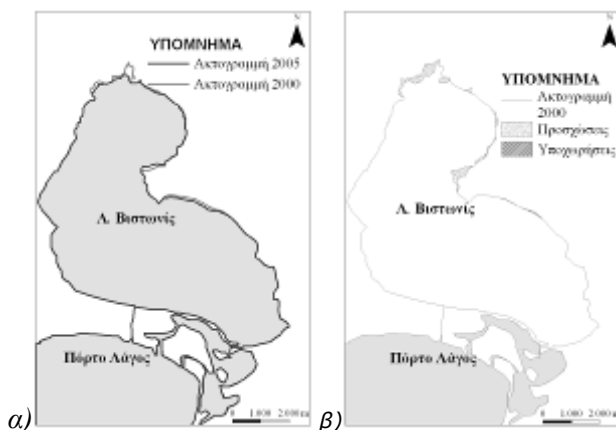
Κατά τη χρονική περίοδο 1985 έως 2000 παρατηρήθηκαν προσχώσεις στις περιοχές των δέλτα του Ξάνθη ποταμού και του Ξηροποτάμου. Έτσι το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτουν αυτή τη περίοδο οι αποθέσεις του δέλτα του Ξάνθη ποταμού είναι 317.881 τ.μ., ενώ του Ξηροποτάμου είναι 310.798 τ.μ.

Οι υποχωρήσεις της χέρσου έναντι της λιμνοθάλασσας που διαπιστώθηκαν αυτή τη χρονική περίοδο, είναι εξαιρετικά περιορισμένες και εμφανίζονται μόνο στο νότιο τμήμα του δέλτα του Ξηροποτάμου ποταμού όπως φαίνεται και στο σχήμα 5β. Το συνολικό τους εμβαδόν είναι ίσο με 30.186 τ.μ.



Σχήμα 5. α). Τα όρια της λίμνης από το 1985 έως το 2000 και β) οι περιοχές των προσχώσεων και των υποχωρήσεων.

4.4. Τα όρια της λίμνης από το 2000 μέχρι το 2005



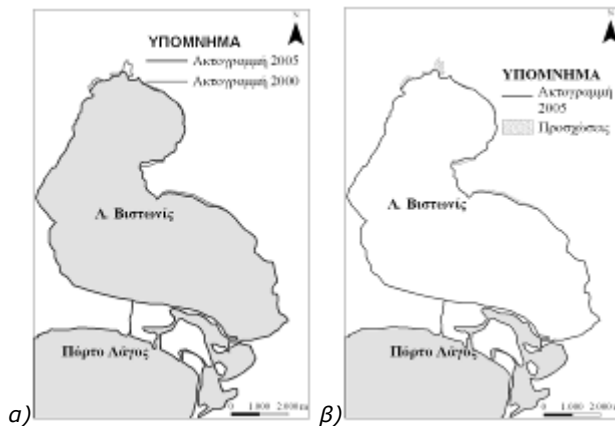
Σχήμα 6 α). Τα όρια της λίμνης από το 2000 έως το 2005 και β) οι περιοχές των προσχώσεων.

Οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στα όρια της λιμνοθάλασσας κατά το χρονικό διάστημα 2000 έως 2005 παρουσιάζονται στα σχήματα 6α και 6β. Συγκεκριμένα καταγράφονται μόνο

προσχώσεις στις περιοχές των δέλτα των ποταμών Ξάνθη και Ξηροποτάμου καθώς και βόρεια και νότια του δέλτα του Ξηροποτάμου, σε σημεία όπου σε προηγούμενες χρονικές περιόδους έχουν διαπιστωθεί υποχωρήσεις της ακτογραμμής. Το εμβαδόν των προσχώσεων είναι για τον Ξάνθη ποταμό ίσο με 244.714 τ.μ., ενώ για τον Ξηροπόταμο ίσο με 285.960 τ.μ. Οι σημαντικές παρεμβάσεις που έγιναν το χρονικό αυτό διάστημα στα βόρεια και ανατολικά τμήματα της λίμνης όπως τα έργα διευθέτησης των ποταμών, η κατασκευή αποστραγγιστικών δικτύων καθώς επίσης και οι εκτενείς αμμοληψίες από την κοίτη του Ξηροποτάμου είχαν πιθανόν ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των φερτών υλών προς την λίμνη και την κατά τόπους πρόσχωσή της.

Υποχωρήσεις της χέρσου έναντι της λιμνοθάλασσας δεν διαπιστώθηκαν αυτή τη χρονική περίοδο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6β.

#### 4.4. Τα όρια της λίμνης από το 1945 μέχρι το 2005



Σχήμα 7α). Τα όρια της λίμνης από το 2000 έως το 2005 και β) οι περιοχές των προσχώσεων.

Στα σχήματα 7α και 7β παρουσιάζονται οι ακτογραμμές του 1945 και του 2005 καθώς και οι συνολικές μεταβολές που παρατηρήθηκαν αυτή τη χρονική περίοδο προκειμένου να τεκμηριωθούν οι αλλαγές που έλαβαν χώρα στο διάστημα αυτό.

Οι προσχώσεις την χρονική αυτή περίοδο, όπως έχει αναφερθεί αναλυτικά και προηγούμενως, εντοπίζονται στο δέλτα του Ξάνθη ποταμού και του Ξηροποτάμου. Η συνολική έκταση που κάλυψαν οι αποθέσεις του δέλτα Ξάνθη είναι 3.185.107,5 τ.μ. Οι αποθέσεις του Ξηροποτάμου καλύπτουν συνολικά τη χρονική αυτή περίοδο μία έκταση μικρότερη από εκείνη του Ξάνθη ποταμού, η οποία έχει εμβαδόν 2.028.943 τ.μ. Επιπλέον, για τη χρονική αυτή περίοδο, εμβαδομετρήθηκαν οι συνολικές υποχωρήσεις της χέρσου έναντι της λίμνης (Σχήμα 7β). Η επιφάνεια του τμήματος της χέρσου που υποχώρησε έναντι της λίμνης, έχει στο βόρειο τμήμα του δέλτα του Ξηροποτάμου συνολικό εμβαδόν 676.878 τ.μ., ενώ στο νότιο τμήμα του το εμβαδόν είναι 1.310.196 τ.μ.

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι ανθρώπινες επεμβάσεις στην περιοχή, που περιλαμβάνουν τις διευθετήσεις των χειμάρρων αλλά και κατασκευές τεχνητών διόδων επικοινωνίας μεταξύ της θάλασσας και της λίμνης είχαν ως αποτέλεσμα την μεταβολή των ορίων της λίμνης κατά το χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Επίσης η αλλαγή των χρήσεων γης των παραλίμνιων περιοχών και η μετατροπή τους από δασικές σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, όπως διαπιστώθηκε από τη διαχρονική μελέτη των αεροφωτογραφιών και των δορυφορικών εικόνων επέδρασε στις μεταβολές της ακτογραμμής.

Από την παρατήρηση των χωρο-χρονικών μεταβολών των ορίων διαπιστώνεται μία τάση μετακίνησης των ορίων της λιμνοθάλασσας προς τα βόρεια και ανατολικά. Έτσι στην περίπτωση αυτή έγινε μία προσπάθεια να εκτιμηθούν οι ενδεικτικές περιοχές που μπορούν να υποχωρήσουν σε περιπτώσεις ανύψωσης υδάτων της λιμνοθάλασσας όπως για παράδειγμα σε περιόδους έντονου κυματισμού ή έντονων βροχοπτώσεων.



Σχήμα 8. Οι περιοχές της λίμνης με τάση να πλημμυρίσουν.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επικοινωνία της Βιστωνίδιας με την θάλασσα έχει ως συνέπεια την αυξημένη εισροή θαλασσινού νερού. Κατά την βροχερή περίοδο που η τροφοδοσία της λιμνοθάλασσας με γλυκό νερό από τους χειμάρους, που βρίσκονται στην λεκάνη απορροής της, είναι μεγάλη, αυξάνεται και η παροχή του νερού με αποτέλεσμα κατά περιόδους να δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι περιοχές της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Βιστωνίδιας, οι οποίες σε περιόδους ανύψωσης των υδάτων της λίμνης δύναται να κατακλισθούν από αυτά. Οι πιθανές περιοχές να πλημμυρίσουν εντοπίζονται στο βόρειο και στο ανατολικό τμήμα της λίμνης όπου παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες προσχώσεις και συμπεριλαμβάνονται οι εκβολές των ποταμών. Οι περιοχές αυτές έχουν υποστεί σημαντικές ανθρώπινες επεμβάσεις με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα.

## 5. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής εφαρμόστηκε μία σύγχρονη μέθοδος με τη συνδυασμένη χρήση συμβατικών και σύγχρονων τεχνικών τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η μέθοδος αυτή προσφέρει γρήγορα, οικονομικά και αξιόπιστα αποτελέσματα στην έρευνα των μεταβολών των ακτογραμμών των λιμνοθαλασσών και μπορεί να εφαρμοστεί για τη συνεχή διαχρονική παρακολούθηση και καταγραφή των μεταβολών των υγροτόπων αλλά και των παράκτιων ζωνών γενικότερα.

Με τη διαχρονική μελέτη των ακτογραμμών της λίμνης Βιστωνίδιας διαπιστώθηκε προέλαση της ξηράς κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1945-2005 μεγέθους 5.214.050,5 τ.μ. Οι επεκτάσεις των ορίων της ξηράς οφείλονται κυρίως στις προσχώσεις των δέλτα των ποταμών Ξάνθη και Ξηροποτάμου, λόγω απόθεσης ιλύος στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λίμνης. Συγχρόνως οι ακτές υποχώρησαν στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της λίμνης κατά 1.987.073 τ.μ.

Οι διαχρονικές μεταβολές των ορίων της λιμνοθάλασσας οφείλονται κυρίως σε ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι επεμβάσεις αυτές αφορούν τις διευθετήσεις των χειμάρρων που απολήγουν στην λιμνοθάλασσα με συνέπεια τη μεταβολή του καθεστώτος απόθεσης των ιζημάτων, την κατασκευή τεχνητών έργων που επιτρέπουν την επικοινωνία της λίμνης με τη θάλασσα και την αύξηση της εισροής θαλασσινού ύδατος καθώς επίσης και την αλλαγή των χρήσεων γης των παραλιμνίων περιοχών με αποτέλεσμα τα δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την υποχώρηση των ορίων.

Επιπλέον από την παρατήρηση των χωρο-χρονικών μεταβολών της ακτογραμμής, οι οποίες καταγράφηκαν μέχρι το 2005, διαπιστώνεται μια τάση μετακίνησης των ορίων της λιμνοθάλασσας προς βόρεια και ανατολικά. Οι περιοχές αυτές εκτιμήθηκε ότι μπορούν να υποχωρήσουν σε περιπτώσεις ανύψωσης υδάτων της λιμνοθάλασσας όπως για παράδειγμα σε περιόδους υψηλού κυματισμού ή έντονων βροχοπτώσεων.

**Βιβλιογραφία**

Δελημάνη Π. και Ξειδάκης Γ. 2004. Γεωμορφολογικές μεταβολές των ακτών της Λίμνης Βιστωνίδας τα τελευταία 170 χρόνια. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 36/2, 988-997.

Σκυλοδήμου Χ. και Γ. Μπαθρέλλος, 2002: Τεκμηρίωση μεταβολών των φυσικών χαρακτηριστικών της παράκτιας ζώνης της Νοτιοδυτικής Αττικής με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων αυτοματοποιημένης χαρτογραφίας: Εφαρμογή στις ακτές Αγίου Κοσμά, Βούλας και Λαγονησίου. 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002.

Eyles N., 1997: Environmental Geology of a Supercity: The Greater Toronto Area. In Environmental Geology of urban areas, Geological Association of Canada, publ., Newfoundland, Canada.

Gatsis I., Is. Parharidis and K. Serelis, 2001: Monitoring of coastline changes using multitemporal satellite data: the case of Messologi lagoon system and Acheloos-Evinos Deltas (W.Greece). Bull. Geol. Soc. of Greece, 35/5, 2039-2046.

Goldberg J., (1998). Remote Sensing of Wetlands: Procedures and Considerations. From: <http://www.vims.edu/rmaps/cers/tutorial/rsecol.htm>

Gunasekera R., 1996: Feasibility studies of changes in Costline, Sri Lanka. 17th Asian Conference on Remote Sensing, Sri Lanca, Refer from: <http://gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ts/ts7002pf.htm>.

Kenny F., 1997: Geographic information systems and remote sensing Techniques in environmental assessment. In Environmental Geology of urban areas, Geological Association of Canada publ, Newfoundland, Canada.

Mason D. C., C. Gurvey and M., Kennett, 2000: Beach topography mapping – a comparison of techniques. Journal of Coastal Conservation, 6, 113-124.

Shaghude Y.W., Wannas K.O., and Lunden B. Assessment of shoreline changes in the western side of Zanzibar channel using satellite remote sensing. Int. J. Remote Sensing, 24/23, 4953-4967.

Skilodimou H., M. Stefouli and G. Bathrellos, 2002: Spatio-temporal analysis of the coastline of Faliro Bay, Attica, Greece». *Estudios Geológicos*,. 58, 83-89.

Ulbricht K. A. and W. D Heckendorff., 1998: Satellite images for recognition of landscape and land use changes. Journal of Photogrammetry and remote Sensing. 53, 235-243.

Waters T. and E. Wiggins, 1999: Utilization of remote sensing methods for management of Florida's coastal zone. Refer. from: <http://csdnta.erim-int.com/CONF/marine/5thmarine.htm>.

Williams M., 1990: Wetlands: a threatened landscape. Special publications series, Institute of British Geographers. Oxford.

Winarso G., 2001. The potential application remote sensing data for coastal study. Singapore. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Singapore. Refer from: <http://gisdevelopment.net/aars/acrs/>

## **ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΥΚΟΧΩΡΙΟΥ – ΟΧΘΙΩΝ (ΚΕΝΤΡΟΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ)**

Φουντούλης Ι., Μαυρούλης Σ., Θεοχάρης Δ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας*

### **Περίληψη**

Μια τάση στις μορφοτεκτονικές αναλύσεις είναι η ποσοτικοποίηση των γεωμορφικών χαρακτηριστικών. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μια τέτοια προσέγγιση κατά μήκος των ρηξιγενών ζωνών Λευκοχωρίου και Οχθίων, που βρίσκονται στο κεντροδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου. Μελετήθηκε η γεωγραφική κατανομή των επιφανειών επιπέδωσης, που έδειξε απότομη μεταβολή των υψομέτρων τους εκατέρωθεν της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων. Κατασκευάστηκαν επιμήκεις τοπογραφικές τομές υδρορευμάτων από τη μορφή των οποίων έγιναν αντιληπτές απότομες αλλαγές στην κλίση των ρευμάτων που συνδέονται κυρίως με τεκτονικές δομές. Κατασκευάστηκαν εγκάρσιες τοπογραφικές τομές από τη μορφή των οποίων διαπιστώθηκαν κοιλάδες V μορφής στα ανερχόμενα τεμάχια και U μορφής στα κατερχόμενα. Εφαρμόστηκαν μορφομετρικοί δείκτες με σκοπό την εκτίμηση της ενεργότητας της περιοχής και ειδικότερα ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους ( $S_{mf}$ ) και ο λόγος του πλάτους του πυθμένα της κοιλάδας προς το ύψος της ( $V_f$ ). Από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν συμπεραίνεται ότι οι ρηξιγενείς ζώνες Λευκοχωρίου και Οχθίων κατατάσσονται στην 1η τάξη ενεργού/πρόσφατου τεκτονισμού, επιβεβαιώνοντας και ενισχύοντας τα νεοτεκτονικά και γεωλογικά δεδομένα.

### **MORPHOTECTONIC STUDY AND APPLICATION OF MORPHOMETRIC INDICES IN LEFKOHORI - OHTHIA AREA (CENTRAL - WESTERN PELOPONNESE)**

Fountoulis I., Mavroulis S., Theocharis D.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Dynamic Tectonic Applied Geology*

### **Abstract**

A trend in morphotectonic analysis is the quantification of geomorphologic characteristics. In this study, we apply such an approach along the Lefkohori and Ohtia fault zones that are located in the central - western Peloponnese. The study on the spatial distribution of planation surfaces showed an abrupt change in the planation surfaces elevations from both sides of Ohtia fault zone. The construction of longitudinal river profiles showed abrupt changes of channel slope that could be correlated mainly with tectonic structures. The construction of transverse profiles showed the existence of V-shaped valleys in the footwall blocks and U-shaped valleys in the hanging wall blocks. Some morphometric indices were applied in order to estimate the tectonic activity of areas with intense tectonic deformation. These indices are the mountain front sinuosity ( $S_{mf}$ ) and the valley floor width - valley height ratio ( $V_f$ ). From the synthesis of the results Lefkohori and Ohtia fault zones are classified as active and recent structures, a classification that confirms and consolidates the neotectonic and geological data.

**Λέξεις κλειδιά:** μορφοτεκτονική ανάλυση, μορφομετρικοί δείκτες, επιμήκεις τομές, εγκάρσιες τομές.

**Key words:** morphotectonic analysis, morphometric indices, longitudinal profiles, transverse profiles.

## 1. Εισαγωγή

Η μορφοτεκτονική ασχολείται με την επίδραση της τεκτονικής στις γεωμορφές και πιο συγκεκριμένα με τη μορφή του αναγλύφου, το υδρογραφικό δίκτυο και τη μορφή του, την ένταση της κατά βάθος διάβρωσης, τις επιφάνειες επιπέδωσης και την κατανομή τους, τις σημερινές και παλαιότερες ακτές και αναβαθμιδές, τις ρηξιγενείς μορφολογικές ασυνέχειες, την κατανομή χαρακτηριστικών φάσεων τεκτονοϊζηματογενούς οργάνωσης (κώνιοι κορημάτων, αλλουβιακά ριπίδια, κλπ) και τη σχέση διάβρωσης - απόθεσης (Θεοχάρης και Φουντούλης, 2002).

Οι μορφομετρικοί δείκτες είναι τεχνικές ποσοτικοποίησης των γεωμορφικών χαρακτηριστικών για την μελέτη της διατάραξης τους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μια τέτοια προσέγγιση προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός ενεργότητας των ρηξιγενών ζωνών Λευκοχωρίου και Οχθίων, που βρίσκονται στο κεντροδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου και ειδικότερα στα ανατολικά περιθώρια του βυθίσματος Πύργου - Ολυμπίας (Σχήμα 1). Οι μορφομετρικοί δείκτες, που μελετήθηκαν, είναι οι επιμήκεις και οι εγκάρσιες τομές των υδρορευμάτων, ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους (Smf) και ο λόγος του πλάτους του πυθμένα της κοιλάδας προς το ύψος της (Vf). Αυτή η μεθοδολογία έχει πρόσφατα εξεταστεί ως χρήσιμο εργαλείο σε διάφορες τεκτονικά ενεργές περιοχές, όπως στις νοτιοδυτικές Η.Π.Α. (Bull and McFadden, 1977; Rockwell et al., 1984), την Ειρηνική ακτή της Κόστα Ρίκα (Wells et al., 1988) και τη μεσογειακή ακτή της Ισπανίας (Silva et al., 2003).

## 2. Γεωλογική – Νεοτεκτονική δομή

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης απαντούν μεταλλικοί σχηματισμοί και αλπικοί σχηματισμοί των γεωτεκτονικών ενοτήτων Πίνδου και Τρίπολης και (Λαλεχός, 1974; Jacobshagen et al., 1978; Κατσιαβριάς, 1991; Λέκκας και συν., 1992; Φουντούλης, 1994; Fountoulis et al., 2007) (Σχήμα 1).

Η ενότητα Πίνδου αποτελεί κάλυμμα επωθημένο πάνω στην ενότητα Τρίπολης. Οι σχηματισμοί του καλύμματος της Πίνδου μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες, που είναι τα κλασικά ιζήματα Ανώτερου Τριαδικού, Κατώτερου Κρητιδικού και Τριτογενούς, οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι Ανώτερου Τριαδικού - Ανώτερου Κρητιδικού και οι ραδιολαρίτες s.l. κυρίως Ιουρασικής ηλικίας. Όλη η ενότητα είναι έντονα πτυχωμένη και ρηγματωμένη σχηματίζοντας διαδοχικές επιπευσεις με φορά κίνησης από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Η ενότητα Τρίπολης εμφανίζεται με τη μορφή τεκτονικών παραθύρων κάτω από το κάλυμμα της Πίνδου στα Γορτυνιακά όρη. Η στρωματογραφική της στήλη χωρίζεται σε δύο ομάδες, τη νηρητική ανθρακική ακολουθία με τη συνεχή παρουσία νηρητικών ασβεστόλιθων Τριαδικού - Ηωκαίνου και ο φλύσχης στην κορυφή, η έναρξη ιζηματογένεσης του οποίου τοποθετείται στο Ανώτερο Ηώκαινο (Παπανικολάου, 1986).

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί εμφανίζονται στο ευρύτερο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η ηλικία των μεταλλικών σχηματισμών είναι Πλειο-τεταρτογενής (Hagemann, 1977; Λέκκας και συν., 1992; Lekkas et al., 2000). Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή απαντούν:

- Οι ολοκαινικές αποθέσεις περιλαμβάνουν σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις, κώνους κορημάτων, πλευρικά κορήματα και ερυθροχώματα με διαφόρων διαστάσεων λατύπες, κυρίως της ενότητας Πίνδου.
- Ο σχηματισμός Ερυμάνθου Πλειστοκαινικής ηλικίας αποτελείται κυρίως από πολυγενή κροκαλοπαγή χερσαίας προέλευσης τα οποία συνδέονται με ένα ερυθροπυριτικό χαλαρό λεπτομερή σχηματισμό και στο σύνολό τους αποτελούν έναν τεράστιο παλαιοκώνο.

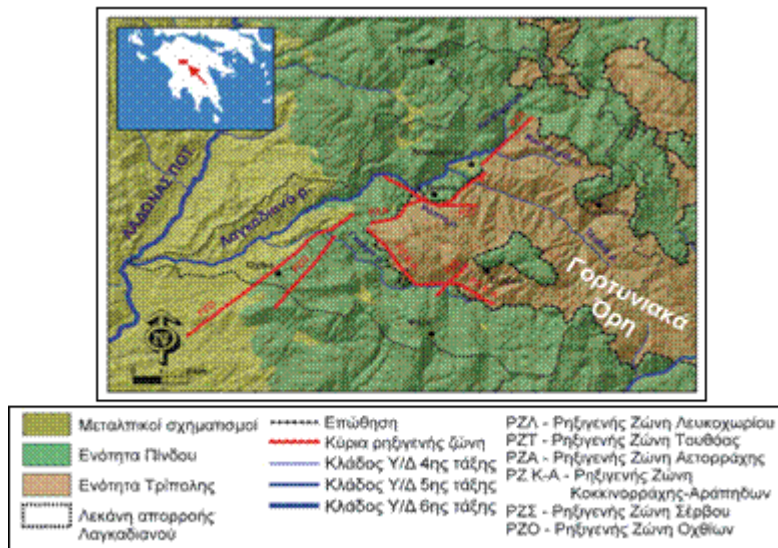


- Οι κύριες νεοτεκτονικές μακροδομές στην περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη Πύργου - Ολυμπίας και το κέρας των Γορτυνιακών ορέων, το οποίο οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες Λευκοχωρίου, Τουθόας, Αετορράχης, Κοκκινόρραχης - Αράπηδων, Σέρβου και Οχθίων (Fountoulis *et al.*, 2007).

### 3. Μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά

#### 3.1 Υδρογραφικό δίκτυο

Στην περιοχή μελέτης αναπτύσσεται η λεκάνη απορροής του Λαγκαδιανού ρέματος, που αποτελεί τμήμα του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Λάδωνα. Το Λαγκαδιανό ρέμα είναι κλάδος 5ης τάξης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και δημιουργείται από τη συμβολή δύο 4ης τάξης κλάδων, που είναι τα ρέματα Λιαπόρρεμα και Κουτσομέλι. Στο Λαγκαδιανό συμβάλλουν τρεις ακόμη 4ης τάξης κλάδοι, τα ρέματα Τουθόα, Ράπητη και Γκούρα από τα βόρεια προς τα νότια αντίστοιχα. Σε ορισμένες θέσεις οι ανωτέρω κλάδοι αναπτύσσονται εγκάρσια σε ρηξιγενείς επιφάνειες, ενώ σε άλλες ακολουθούν παράλληλη προς ρηξιγενείς επιφάνειες διεύθυνση. Για παράδειγμα, το Λιαπόρρεμα έχει αρχική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση σχεδόν εγκάρσια στη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου (PZΛ) (Σχήμα 1). Στη συνέχεια, ως Λαγκαδιανό, δημιουργεί ένα απότομο σημείο καμπής, αποκτά νέα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και ρέει παράλληλα με τη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου λόγω της μεγάλης μορφολογικής ασυνέχειας που αυτή σχηματίζει. Οι επιλεκτικές διευθύνσεις, τα σημεία καμπής και οι απότομες αλλαγές της ροής αποκαλύπτουν την επίδραση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στη διαμόρφωση της σημερινής εικόνας του υδρογραφικού δικτύου.



Σχήμα 1. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης με τις κύριες ρηξιγενείς ζώνες και τους κύριους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης.

Οι ζώνες έντονης κατά βάθος διάβρωσης είναι άμεσα και δυναμικά συνδεδεμένες με το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής και αναπτύσσονται κυρίως εγκάρσια στις ρηξιγενείς ζώνες (Σχήμα 2). Μια ζώνη έντονης κατά βάθος διάβρωσης εντοπίζεται στην περιοχή μεταξύ των οικισμών Λευκοχωρίου και Τουθόας και ειδικότερα στο ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρέμα Τουθόας. Η ζώνη αυτή είναι εγκάρσια στη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου και σχηματίζει εντυπωσιακό φαράγγι. Άλλη μια ενδιαφέρουσα ζώνη κατά βάθος διάβρωσης παρατηρήθηκε

στα ανατολικά και βορειοανατολικά των Οχθίων στο ρέμα Γκούρα που αναπτύσσεται εγκάρσια προς τη ρηξιγενή ζώνη Οχθίων. Αυτά τα γεωμορφολογικά στοιχεία είναι το αποτέλεσμα έντονων ανυψωτικών κινήσεων των τεμαχών που οριοθετούνται και ελέγχονται από τις ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής.

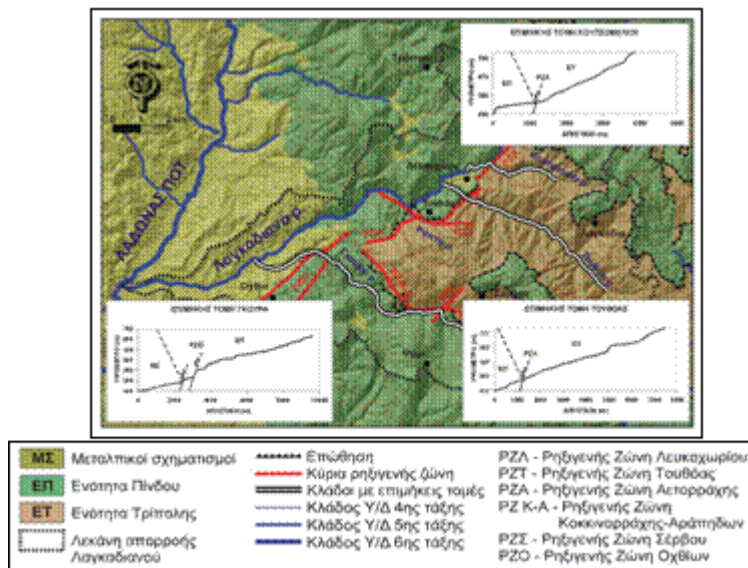
### 3.2 Επιφάνειες Επιπέδωσης

Στην περιοχή μελέτης, οι ενδογενείς τεκτονικές διεργασίες ελέγχουν τη χωρική κατανομή και το υψόμετρο των επιφανειών επιπέδωσης, που έχουν δημιουργηθεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής (Fountoulis et al., 2007). Οι επιφάνειες ισοπέδωσης αναπτύσσονται σε παράλληλες ζώνες με διεύθυνση περίπου Β-Ν με αύξηση του υψόμετρου από τα ΝΔ προς ΒΑ. Η ρηξιγενής ζώνη Οχθίων, όμως, διαταράσσει τη διαδοχική ανάπτυξη των γεωμορφολογικών αυτών δομών με την απότομη μετάβαση από την κλάση των 60-200 μέτρων στο κατερχόμενο τέμαχος στην κλάση των 600-800 μέτρων στο ανερχόμενο (Fountoulis et al., 2007).

## 4. Μορφομετρικοί δείκτες

### 4.1 Επιμήκεις και εγκάρσιες τοπογραφικές τομές

Πολλοί συγγραφείς έχουν παρουσιάσει τη χρησιμότητα των επιμήκων τομών των υδρορευμάτων στον προσδιορισμό πρόσφατης τοπικής τεκτονικής δραστηριότητας μέσω της παρατήρησης μικρής κλίμακας ανωμαλιών των επιμήκων τομών που σχετίζονται με σύγχρονες μετακινήσεις ρηξιτεμαχών (Rhea, 1989; Gomez et al., 1996). Οι επιμήκεις τομές των υδρορευμάτων είναι ευαίσθητες στις τεκτονικές ανυψωτικές κινήσεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση ενεργών τεκτονικών δομών (Seeber and Gornitz; 1983). Με σκοπό τη συσχέτιση του υδρογραφικού δικτύου και των επιμήκων τομών των υδρορευμάτων με το ρηξιγενή νεοτεκτονικό ιστό της περιοχής κατασκευάστηκαν επιμήκεις τομές με βάση τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κατά μήκος τριών 4ης τάξης κλάδων, που διαρρέουν εγκάρσια τις ρηξιγενείς ζώνες Λευκοχωρίου και Οχθίων (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Χάρτης των επιμήκων τοπογραφικών τομών των ρεμάτων Κουτσομέλι, Τουθόα και Γκούρα.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του ρέματος Κουτσομέλι έχει μήκος 3.861,1 m (Σχήμα 2). Αρχίζει στα 490 m βόρεια του Λευκοχωρίου και φτάνει μέχρι τα 810 m. Κατά μήκος της κοίτης του κλάδου γίνεται αντιληπτή η απότομη αλλαγή των κλίσεων στο σημεία τομής με το βόρειο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου που φέρνει σε επαφή φλύσχη Τρίπολης με ασβεστόλιθους Πίνδου.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του ρέματος Τουθόα έχει μήκος 7.471,6 m (Σχήμα 2). Αρχίζει στα 417m από το σημείο συμβολής του εν λόγω κλάδου με το 4ης τάξης Λιαπόρρεμα και δημιουργίας του 5ης τάξης κύριου κλάδου του Λαγκαδιανού και φτάνει μέχρι τα 810 m. Κατά μήκος της κοίτης του κλάδου γίνεται αντιληπτή απότομη αλλαγή των κλίσεων που συνδέεται κυρίως με τη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου και τοπικές ανωμαλίες που συνδέονται με λιθολογικές εναλλαγές φλύσχη και ασβεστόλιθων Τρίπολης.

Η επιμήκης τοπογραφική τομή του ρέματος Γκούρα έχει μήκος 9.655,1 m (Σχήμα 2).

Αρχίζει στα 178 m από το σημείο συμβολής του Γκούρα με τον 5ης τάξης κύριο κλάδο του Λαγκαδιανού και φτάνει μέχρι τα 710 m. Κατά μήκος της κοίτης του κλάδου είναι εμφανής η απότομη αλλαγή των κλίσεων στα σημεία τομής με το δυτικό και ανατολικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων.

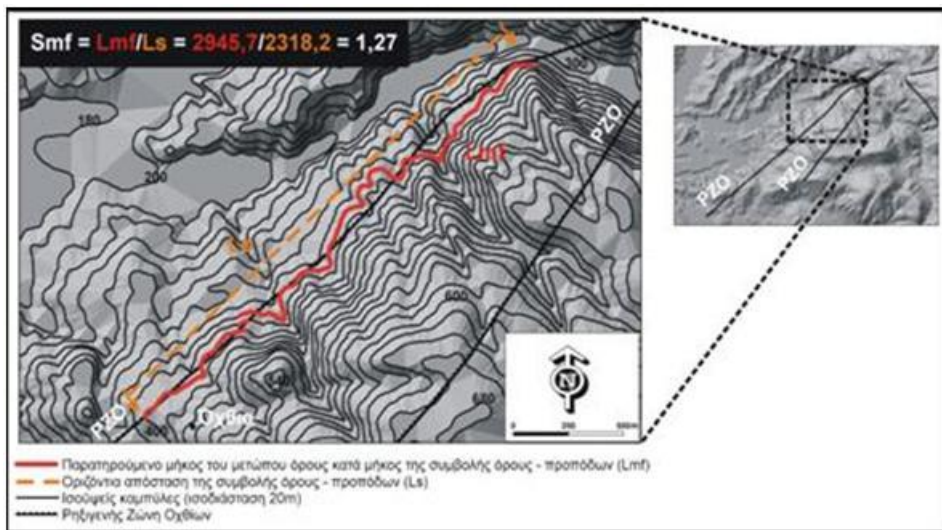
Κατασκευάστηκαν, επίσης, (α) τέσσερις εγκάρσιες τομές στο ρέμα Κουτσομέλι και ειδικότερα μία σε απόσταση 1km κατάντη και τρεις ανάντη με έναρξη από τη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου, (β) επτά εγκάρσιες τοπογραφικές τομές στο ρέμα Τουθόας και ειδικότερα μία σε απόσταση 1km κατάντη και έξι ανάντη με έναρξη από τη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου και (γ) έξι εγκάρσιες τοπογραφικές τομές στο ρέμα Γκούρα και ειδικότερα δύο σε απόσταση 1km κατάντη και πέντε ανάντη με έναρξη από το δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων (Σχήμα 5). Από τη μορφή των εγκάρσιων τοπογραφικών τομών, διαπιστώθηκαν κοιλάδες V μορφής με ρέματα που διαβρώνουν κατά βάθος λόγω έντονης τεκτονικής ανύψωσης στα ανερχόμενα τεμάχια και U μορφής στα κατερχόμενα (Σχήμα 5).

#### 4.2 Εφαρμογή του μορφομετρικού δείκτη εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους

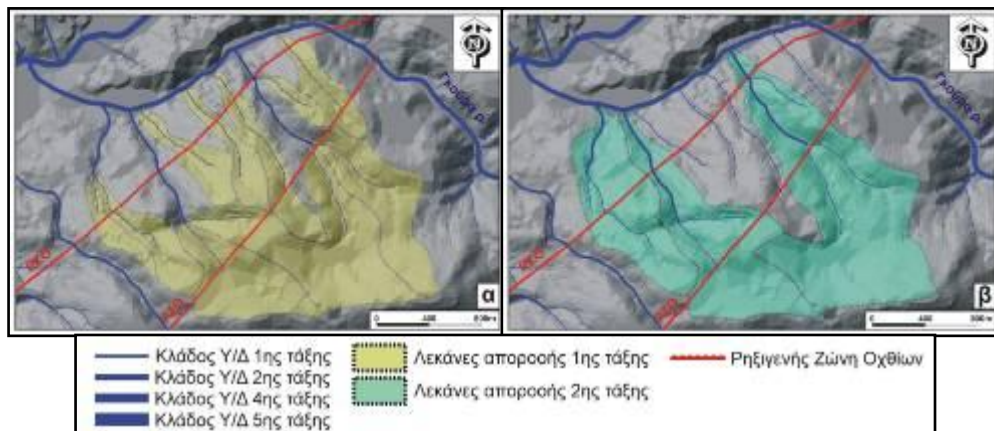
Ο δείκτης εγκάρσιας διάβρωσης μετώπου όρους ορίζεται ως ο λόγος του παρατηρούμενου μήκους του μετώπου όρους κατά μήκος της συμβολής όρους - προπόδων,  $L_{mf}$ , προς την οριζόντια απόσταση της συμβολής όρους - προπόδων,  $L_s$ , και περιγράφεται από την εξίσωση  $S_{mf} = L_{mf} / L_s$  (Bull and McFadden, 1977; Θεοχάρης και Φουντούλης, 2002). Η προσέγγιση του δείκτη  $S_{mf}$  στη μονάδα αντανακλά αυξημένη ευθύτητα του μετώπου, η οποία είναι ένδειξη ενεργότητας, αντίθετα η αυξημένη καμπυλότητα αντανακλά την επίδραση της διάβρωσης των χειμάρρων, οι οποίοι διατρέχουν το μέτωπο.

Η εφαρμογή της μεθόδου εντοπίζεται στην μέτρηση αποστάσεων στο ίχνος του όρους με τους πρόποδες του κατά μήκος της ισουΐσους όπου αλλάζουν οι μορφολογικές κλίσεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3, όπου ο δείκτης  $S_{mf}$  για το δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων ισούται με 1,27. Σύμφωνα με την ταξινόμηση των Bull and McFadden (1977), Rockwell et al. (1984), Keller (1986) και Silva et al. (2003) και τους παραπάνω υπολογισμούς, το δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων κατατάσσεται στην 1η τάξη ενεργού/πρόσφατου τεκτονισμού.

Ένα κριτήριο για τη διάκριση της σχετικής ενεργότητας περιθωριακών κανονικών ρηγμάτων είναι η εξέταση του μεγέθους και του απόκρημνου των λεκανών απορροής που γεινιάζουν με τις περιθωριακές δομές. Τα πιο ενεργά ρήγματα παρουσιάζουν την τάση για σχηματισμό μικρών, επιμηκυσμένων και απότομων λεκανών απορροής (Leeder and Jackson, 1993). Στην περιοχή μελέτης, τη ρηξιγενή ζώνη Οχθίων τέμνουν λεκάνες απορροής 7 κλάδων 1<sup>ης</sup> τάξης και 3 κλάδων 2<sup>ης</sup> τάξης, οι οποίες είναι στενές και επιμηκυσμένες (Σχήμα 4).



Σχήμα 3. Υπολογισμός του δείκτη  $S_{mf}$  στο δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων.



Σχήμα 4. Οι λεκάνες απορροής των κλάδων (α) 1ης και (β) 2ης τάξης που διαρρέουν τη ρηξιγενή ζώνη Οχθίων.

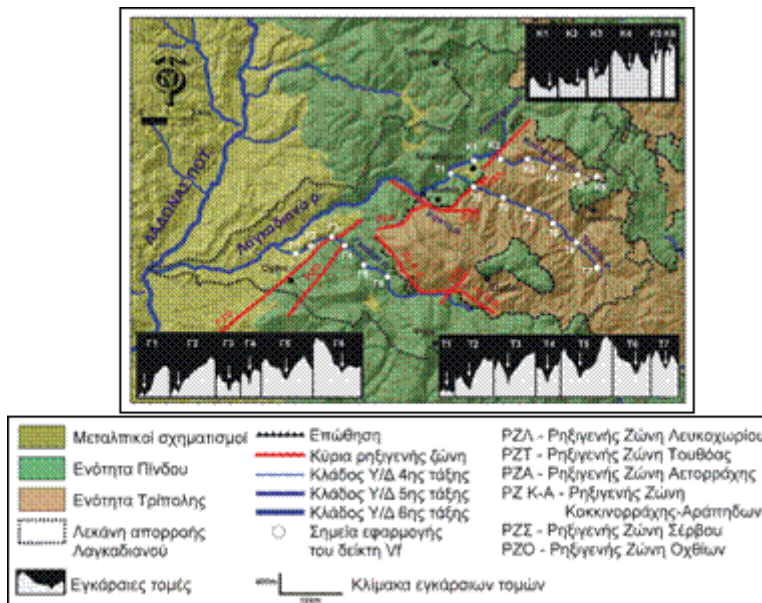
#### 4.3. Εφαρμογή του λόγου του πλάτους του πυθμένα της κοιλάδας προς το ύψος της

Σύμφωνα με τους Bull and McFadden (1977) για ορισμένη απόσταση ανάντη του μετώπου του όρους, η σύγκριση του πλάτους του πυθμένα της κοιλάδας με το μέσο ύψος της κοιλάδας δίνουν ένα λόγο ο οποίος είναι ενδεικτικός για το κατά πόσο το ρεύμα διαβρώνει κατά βάθος ή κυρίως διαβρώνει πλευρικά τις κλιθείς. Ο λόγος του πλάτους του πυθμένα της κοιλάδας προς το ύψος της ορίζεται ως:  $V_f = 2 \cdot V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$ , όπου  $V_{fw}$  το πλάτος της κοίτης,  $E_{ld}$  και  $E_{rd}$  τα υψόμετρα του αριστερού και του δεξιού υδροκρήτη αντίστοιχα προς τα κατόντη και  $E_{sc}$  το υψόμετρο της κοίτης (Bull, 1977a; Bull and McFadden, 1977; Bull, 1978).

Ο δείκτης Vf αντανακλά τη διαφορά μεταξύ V - μορφής κοιλάδων που διαβρώνουν κατά βάθος λόγω τεκτονικής ανύψωσης (χαμηλές τιμές Vf < 0,1) και U - μορφής κοιλάδων με κυρίαρχη την πλευρική διάβρωση ως αποτέλεσμα της σχετικής σταθερότητας του βασικού επιπέδου ή λόγω τεκτονικής ηρεμίας (χαμηλές τιμές Vf < 1,0) (Keller 1986; Silva et al., 2003).

Ο υπολογισμός του Vf εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη για τον προσδιορισμό του βαθμού τεκτονικής δραστηριότητας όχι μόνο της περιθωριακής ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων αλλά και στη ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου, που παρουσιάζει σημαντική μορφολογική ασυνέχεια (. Πραγματοποιήθηκε με την κατασκευή τοπογραφικών τομών εγκάρσιων σε τρεις 4ης τάξης κλάδους του υδρογραφικού δικτύου Λαγκαδιανού, που διαρρέουν τις μορφολογικές ασυνέχειες των εν λόγω ρηξιγενών ζωνών και ειδικότερα στα ρέματα Κουτσομέλι, Τουθόα και Γκούρα από βόρεια προς νότια αντίστοιχα (Σχήμα 5 - Πίνακας 1).

Επειδή απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα έως ότου οι διεργασίες μορφολογικής ταπεινώσης επεκταθούν ανάντη στο τέμαχος που ανυψώνεται, οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό του δείκτη Vf γίνονται συνήθως κοντά στο μέτωπο όρους, για παράδειγμα ανάντη του μετώπου σε απόσταση ενός χιλιομέτρου (Bull and McFadden, 1977) ή 250 μέτρων (Silva et al., 2003). Στην παρούσα εργασία, οι μετρήσεις για τον υπολογισμό του Vf κάλυψαν έκταση μεγαλύτερη του ενός χιλιομέτρου στα ανερχόμενα ρηξιτεμάχη και επεκτάθηκαν και κατάντη των μορφολογικών ασυνεχειών σε τεμάχη με παρόμοια γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά με σκοπό να διαπιστωθεί αν ο δείκτης παρουσιάζει μόνο υψηλές τιμές ανεξάρτητα από τη λιθολογία και την ενέργεια του χειμάρρου (Σχήμα 5 - Πίνακας 1).



Σχήμα 5. Χάρτης των εγκάρσιων τομών των ρεμάτων Κουτσομέλι, Τουθόα και Γκούρα.

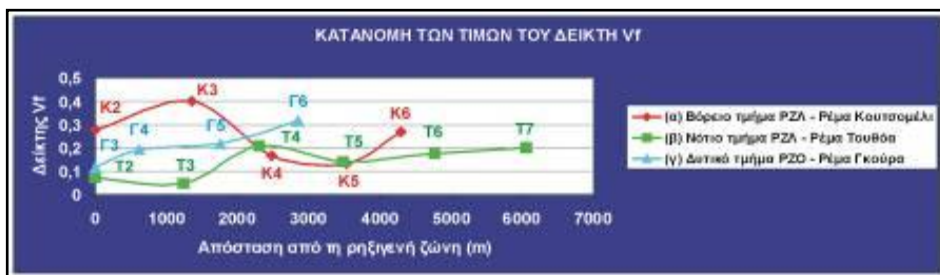
Οι τιμές του Vf για την περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη Οχθίων κυμαίνονται από 0,116 έως 0,317 στο ανερχόμενο τέμαχος και από 0,161 έως 0,416 στο κατερχόμενο. Οι τιμές του Vf για την περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη Λευκοχωρίου κυμαίνονται από 0,046 έως 0,400 στο ανερχόμενο τέμαχος και από 0,256 έως 1,875 στο κατερχόμενο. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης υπολογίστηκε και η μέση τιμή του δείκτη Vf για κάθε κοιλάδα. Πιο συγκεκριμένα, οι μέσες τιμές του δείκτη Vf για τις κοιλάδες Κουτσομελίου, Τουθόας και

Γκούρα είναι 0, 25, 0, 140 και 0, 215 αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Οι τιμές των παραμέτρων  $V_{fw}$ ,  $E_{ld}$ ,  $E_{rd}$  και  $E_{sc}$  και του δείκτη  $V_f$ .

Εγκάρσια Τομή	$V_{fw}$ (m)	$E_{ld}$ (m)	$E_{rd}$ (m)	$E_{sc}$ (m)	$V_f$
<b>K1</b> <b>PZΛ</b>	50	560	810	490	0,256
<b>K2</b>	25	680	600	550	0,277
<b>K3</b>	50	720	840	655	0,400
<b>K4</b>	50	1060	1080	770	0,167
<b>K5</b>	40	1145	1250	900	0,134
<b>K6</b>	60	1220	1340	1058	0,270
<b>T1</b> <b>PZΛ</b>	75	500	500	460	1,875
<b>T2</b>	25	960	680	480	0,073
<b>T3</b>	25	1240	924	550	0,046
<b>T4</b>	50	860	820	600	0,208
<b>T5</b>	75	1281	1080	645	0,140
<b>T6</b>	50	920	1120	735	0,175
<b>T7</b>	50	1000	1080	790	0,200
<b>Γ1</b>	100	640	240	200	0,416
<b>Γ2</b> <b>PZO</b>	50	780	320	240	0,161
<b>Γ3</b> <b>PZO</b>	25	460	530	280	0,116
<b>Γ4</b>	25	600	540	340	0,192
<b>Γ5</b>	75	810	760	440	0,217
<b>Γ6</b>	100	650	1060	540	0,317

Από τις παραπάνω τιμές του δείκτη  $V_f$  προκύπτουν τα εξής: (i) ο δείκτης  $V_f$  πλησίον των τεκτονικών δομών δίνει χαμηλές τιμές, ενώ μακριά από αυτές οι τιμές αυξάνονται, (ii) στα ανατολικά των ρηξιγενών ζωνών επικρατεί υψηλός βαθμός τεκτονικής ανύψωσης σε αντίθεση με τα δυτικά όπου λαμβάνει χώρα βύθιση, (iii) οι ρηξιγενείς ζώνες Οχθίων και Λευκοχωρίου κατατάσσονται στην 1η τάξη ενεργού/πρόσφατου τεκτονισμού σύμφωνα με την ταξινόμηση των Bull and McFadden (1977) και Silva et al. (2003), (iv) το νότιο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου παρουσιάζει τη χαμηλότερη από τις μέσες τιμές  $V_f$ , γεγονός που υπογραμμίζει ότι η τεκτονική δραστηριότητα στο νότιο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου είναι εντονότερη από τις άλλες δομές.



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα κατανομής των τιμών του δείκτη  $V_f$  σε σχέση με την απόσταση από: (α) το βόρειο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου, (β) το νότιο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου και (γ) το δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Οχθίων.

Με σκοπό την παρακολούθηση της κατανομής των τιμών του δείκτη  $V_f$  κατά μήκος των ρεμάτων που διαρρέουν τις μορφολογικές ασυνέχειες των ρηξιγενών ζωνών, κατασκευάστηκε διάγραμμα στον οριζόντιο άξονα του οποίου προβάλλεται η απόσταση από το ρήγμα και στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές του  $V_f$  (Διάγραμμα 1). Οι ανωμαλίες στην κατανομή των τιμών

του δείκτη  $V_f$  οφείλονται στην παρουσία ρηγμάτων και σε λιθολογικές εναλλαγές των γεωλογικών σχηματισμών στα ανερχόμενα τεμάχια.

## 5. Εκτίμηση σεισμικού κινδύνου

Η σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης δεν είναι τόσο έντονη όσο στο δυτικό τμήμα της λεκάνης Πύργου - Ολυμπίας. Σύμφωνα με το μικροσεισμικό πείραμα των Hatzfeld et al. (1990) και τον κατάλογο επιφανειακών σεισμών για το χρονικό διάστημα 1973-2007 (USGS) διαπιστώθηκε η παρουσία επικέντρων σεισμών με μέγεθος από 3,6 έως 4,0, που θα μπορούσαν να συσχετιστούν με τη ρηξιγενή ζώνη Οχθίων (Fountoulis et al., 2007). Είναι εμφανές, όμως, ότι δεν υπάρχουν ενόργανα σεισμικά δεδομένα, που αποδεικνύουν επαναδραστηριοποίηση των ρηγμάτων.

Με βάση εξισώσεις που συσχετίζουν το μήκος ρήγματος με το μέγεθος σεισμού (Matsuda and Kinugasa, 1991; Wells and Coppersmith, 1994; Papazachos and Papazachou, 1997; Pavlides and Caputo, 2004) τα εν λόγω ρήγματα μπορούν να δώσουν σεισμικά γεγονότα των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 4,3 έως 6,6 (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Τα υπό μελέτη ρήγματα μπορούν να δώσουν σεισμούς με μέγεθος που κυμαίνεται από 4,3 έως 6,6.

	Μήκος ρηγμάτων (m)	Μέγεθος σεισμού				Εξισώσεις συσχετισμού του μήκους ρήγματος με το μέγεθος σεισμού
		(1)	(2)	(3)	(4)	
Βόρειο τμήμα PZL	2.608	5,2	5,3	4,4	5,6	(1) Matsuda and Kinugasa (1991) $M = (\log L + 2,9) / 0,6$ (2) Wells and Coppersmith (1994) $M_w = (\log L + 3,22) / 0,69$ (3) Papazachos and Papazachou (1997) $M = (\log L + 1,85) / 0,51$ (4) Pavlides and Caputo (2004) $M_s = (\log L + 3,93) / 0,78$
Νότιο τμήμα PZL	2.151	5,4	5,2	4,3	5,5	
Βόρειο & νότιο τμήμα PZL	4.759	6	5,7	5	5,9	
Ανατολικό τμήμα PZO	3.485	5,7	5,5	4,7	5,7	
Δυτικό τμήμα PZO	7.720	6,3	6	5,4	6,2	
Ανατολικό & δυτικό τμήμα PZO	11.205	6,6	6,2	5,9	6,4	

## 6. Συμπεράσματα

Η μορφοτεκτονική ανάλυση περιελάμβανε: (α) αξιοποίηση των υπάρχοντων νεοτεκτονικών και γεωλογικών δεδομένων, (β) μελέτη της χωρικής κατανομής των επιφανειών επιπέδωσης, (γ) μελέτη της γεωμετρίας και της κατά βάθος διάβρωσης του υδρογραφικού δικτύου, (δ) κατασκευή επιμήκων και εγκάρσιων τοπογραφικών τμών, (ε) εφαρμογή μορφομετρικών δεικτών και (στ) μελέτη της σεισμικότητας της περιοχής.

Η γεωμετρία και η κατά βάθος διάβρωση του υδρογραφικού δικτύου είναι αποτέλεσμα έντονων ανυψωτικών κινήσεων των τεμαχίων που οριοθετούνται και ελέγχονται από τις ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής. Ειδικότερα, οι ζώνες έντονης κατά βάθος διάβρωσης είναι άμεσα και δυναμικά συνδεδεμένες με το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής και αναπτύσσονται κυρίως κάθετα στις ρηξιγενείς ζώνες. Οι επιλεκτικές διευθύνσεις, τα απότομα σημεία καμψής και οι απότομες αλλαγές της ροής αποκαλύπτουν την επίδραση της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στη διαμόρφωση της σημερινής εικόνας του υδρογραφικού δικτύου. Επιπλέον, οι ενδογενείς τεκτονικές διεργασίες ελέγχουν τη χωρική κατανομή και το υψόμετρο των επιφανειών επιπέδωσης που έχουν δημιουργηθεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής.

Από τη μορφή των επιμήκων τοπογραφικών τομών των υδρορευμάτων που διαρρέουν εγκάρσια τις μορφολογικές ασυνέχειες των ρηξιγενών ζωνών γίνονται αντιληπτές απότομες αλλαγές των κλίσεων κατά μήκος της κοίτης του κλάδου που συνδέονται κυρίως με τεκτονικές δομές.

Από τη μορφή των εγκαρσίων τοπογραφικών τομών διαπιστώθηκαν κοιλάδες V μορφής με ρέματα που διαβρώνουν κατά βάθος λόγω έντονης τεκτονικής ανύψωσης στα ανερχόμενα και U μορφής στα κατερχόμενα τεμάχια.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των δεικτών Smf και Vf και την ταξινόμηση των Bull and McFadden (1977), Rockwell et al. (1984), Keller (1986) και Silva et al. (2003), οι ρηξιγενείς ζώνες Λευκοχωρίου και Οχθίων κατατάσσονται στην 1η τάξη ενεργού / πρόσφατου τεκτονισμού με το νότιο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Λευκοχωρίου να παρουσιάζει εντονότερη τεκτονική δραστηριότητα.

Τα μορφομετρικά δεδομένα συμπεριλαμβανομένων των μορφομετρικών δεικτών και των επιμήκων και εγκαρσίων τομών ενισχύουν την άποψη των Fountoulis et al. (2007) υπέρ της ενεργότητας των ρηξιγενών ζωνών Λευκοχωρίου και Οχθίων.

## Βιβλιογραφία

Θεοχάρης, Δ. & Φουντούλης, Ι. 2002. Μορφομετρικοί δείκτες και ενεργές τεκτονικές δομές. Η περίπτωση της Σαλαμίνας. Πρακτικά 6ου πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, τομ. Ι σελ. 97-106.

Κατσιαβριάς, Ν., 1991. Γεωλογική δομή της περιοχής Λευκοχωρίου - Μύλων Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Διδ. Διατριβή, σ. 172, Ε.Μ.Π.

Λαλεχός, Ν., 1974. Η γεωλογική δομή της Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Διατριβή επί διδακτορίας, 94 σελ., Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λέκκας, Ε., Παπανικολάου, Δ. & Φουντούλης, Ι., 1992. Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Πύργος - Τρόπαια (κλίμακα 1/100.000). Πρόγραμμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

Παπανικολάου, Δ., 1986. Γεωλογία της Ελλάδας. 240 σελ. Αθήνα.

Φουντούλης, Ι., 1994. Νεοτεκτονική εξέλιξη της Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΓΑΙΑ 7, 386 σ.

Bull, W., 1977a. Tectonic geomorphology of the Mojave Desert. U.S. Geol. Surv. Contact Rep. 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, Calif., 188.

Bull, W., 1978. Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U. S. Geol. Surv. Contact Rep. 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, Calif., 59.

Bull, W. & McFadden, L., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, Geomorphology in Arid regions, D. O. Doehring, ed., Publications in Geomorphology, State University of New York at Binghamton, 115 - 138.

Fountoulis, I., Mavroulis, S. & Theocharis, D. 2007. The morphotectonic structure of the transitional zone between the Gortynia Mt. horst and the Pyrgos-Olympia basin (Central - Western Peloponnese, Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVII, 2007, Proceedings of the 11th International Congress, Athens, May, 2007.

Gomez, F., Barazangi, M. & Bensaid, M., 1996. Active tectonism in the intracontinental



Middle Atlas Mountains of Morocco: synchronous crustal shortening and extension. *J. Geol. Soc. London* 153, 389–402.

Hagemann, J., 1977. Stratigraphy and sedimentary history of the Upper Cenozoic of the **Pyrgos area (W. Peloponnesus, Greece)**. *Ann. Géol. Pays Hellén.*, 30/2, 441-454. XXVIII, 299-333.

Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P. & Makropoulos, K., 1990. The strain pattern in the western Hellenic arc deduced from a microearthquake survey. *Gophys. J. Int.*, 101, 181-202.

**Jacobshagen, V., Dürr, S., Kockel, F., Kopp, K.O., Kowalczyk, G., Berckhemer, H. & Büttner, D.**, 1978. Structure and geodynamic evolution of the Aegean region. In: H. Closs, D. Roeder and K. Schmidt, Editors, *Alps, Apennines, Hellenides*. - Inter. Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. Stuttgart. vol. 38 (1978), pp. 537-564.

Keller E., 1986. Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In: Wallace, R. E. (eds), *Active Tectonics studies in Geophysics*. Nat. Acad. Press, Washington, Dc, 136 – 147.

Lekkas, E., Fountoulis, I. & Papanikolaou, D., 2000. Intensity Distribution and Neotectonic Macrostructure Pyrgos earthquake data (26 March 1993, Greece). *Natural Hazards*, 21: 19-33.

Matsuda, T. and Kinugasa, Y. 1991. Active faults in Japan. *Episodes*, V14, No3, 199-204.

Papazachos, B.C. and Papazachou, C. 1997. *The Earthquakes of Greece*. Editions ZITI, Thessaloniki. 304 pp.

**Pavlidis and Caputo. 2004. Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region.** *Tectonophysics* 380 (2004) 159– 188

Rhea, S., 1989. Evidence of uplift near Charleston, South Carolina. *Geology* 17, 311-315.

Rockwell, T.K., Keller, E.A. and Johnson, D.L. 1984. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M., Hack, T.J. (Eds.), *Tectonic Geomorphology*. Publ. in *Geomorphology*, State University of New York, Binghamton, pp. 183– 207.

Seeber, L. & Gornitz, V.M., 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics* 92, 335-367.

Silva, P., Goy, J., Zazo, C. & Bardaji, T., 2003. Fault - generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology* 50, 203 – 225.

Wells S. G., Bullard T. F., Menges C. M., Drake P.G., Karas P. A., Kelson K. I., Ritter J. B., Wesling J. R. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology* 1, 239 – 265.

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84, 974– 1002.

USGS National Earthquake Information Center - NEIC: <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**  
**της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# **Παράκτια Γεωμορφολογία- Ωκεανογραφία**



## ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΗΣ ΠΑΧΙΑΣ ΑΜΜΟΥ (ΒΑ ΚΡΗΤΗ)

Αγγελόπουλος Χ.<sup>1</sup>, Αναστασάκης Γ.<sup>1</sup>, Πούλος Σ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας, Παν/πολη Ζωγράφου, Αθήνα 15784

<sup>2</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Παν/πολη Ζωγράφου, Αθήνα 15784

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις υδροδυναμικές μετρήσεις πεδίου και την προσομοίωση του ρυθμού στερεομεταφοράς στην παράλια ζώνη της Παχιάς Άμμου, μια ακτής θυλακίου (pocket beach) με μικρό εύρος παλίρροιας που βρίσκεται στο Κόλπο Μιραμπέλλου (ΒΑ Κρήτη).

Οι υδροδυναμικές μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν στην προάκτια ζώνη της ακτής με χρήση ρευματομέτρου στήλης Aquadopp από το Μάιο 2001 έως το Μάιο 2002 για ένα σύνολο 230 ημερών. Συμπληρωματικά στοιχεία για το κυματικό καθεστώς ελήφθησαν και στατιστικά συσχετίστηκαν από το πλωτό μετρητικό σταθμό του 'συστήματος Ποσειδών' που ήταν εγκατεστημένος στη θέση Αυγό (35° 37,37' Β και 25° 38,24' Α) του νότου Αιγαίου (57 km ΒΔ της παραλίας της Παχιάς Άμμου).

Ακραίες υδροδυναμικές (κυματικές) συνθήκες παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου 2001 με μέγιστο μέγεθος σημαντικού κύματος ύψους ( $H_s \max$ ) 2,4 m, κορυφαία περίοδο (Tp) 7,7 sec και κύρια κατεύθυνση περίπου προς νότον (190ο). Με τη χρήση του μοντέλου παράκτιας μηχανικής CEDAS υπολογίστηκαν τα θεωρητικά κυματικά χαρακτηριστικά στη ζώνη θραύσης καθώς και του θεωρητικού ρυθμού της επιμήκους παράκτιας στερεομεταφοράς (QI), η διεύθυνση της οποίας παρουσιάζει όχι μόνο εποχιακή αλλά και ετήσια αλλαγή τόσο στο όγκο (περί τα 700.000 m<sup>3</sup>) όσο και στη κατεύθυνσή της. Το γεγονός αυτό συνάδει με τον χαρακτηρισμό της παραλίας της Παχιάς Άμμου ως 'rocket beach', με τυχόν αλλαγές του πλάτους της να σχετίζονται με στερεομεταφορά κάθετα και όχι παράλληλα με την ακτογραμμή.

### OBSERVED HYDRODYNAMICS AND MODELLED SEDIMENT TRANSPORT RATE IN THE CASE OF PACHIA AMMOS (NE CRETE)

Angelopoulos C<sup>1</sup>, Anastasakis G.<sup>1</sup>, Poulos S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Historical Geology and Paleontology, Panepistimioupolis – Zografou, Athens 15784

<sup>2</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis – Zografou, Athens 15784

### Abstract

This paper describes the observed hydrodynamics and the modelled sediment transport rate in the coastal area of Pachia Ammos, which is a microtidal pocket beach located in the Gulf of Mirabellou (NE Crete, Greece). Hydrodynamic field data were collected from the transitional zone of the beach using an acoustic Doppler current profiler for 230 days, from May 2001 to May 2002 for 230 days. Additional wave data were interpolated and statistically correlated form a complete hydrodynamic data set, expanding from January 2001 to November 2002, obtained from the observation buoy of the 'Poseidon project', which is

located at the Avgo site st the SE Aegean Sea ( $35^{\circ} 37.37' N$  &  $25^{\circ} 38.24' E$ , 57 km NW from the study site).

Extreme conditions were observed during fall 2001 with maximum significant wave height ( $H_{s\ max}$ ) of 2.4 m, peak period ( $T_p$ ) 7.7 sec and main direction being southerly ( $190^{\circ}$ ). The model of CEDAS was used to calculate the theoretical wave parameters at the breaker zone as well as the longshore sediment transport rate ( $Q_l$ ). The direction and value of the potential longshore sediment transport ( $Q_l$ ) changes not only seasonally (winter and summer is eastward and spring and autumn is westward) but also from one year to the other; the estimated difference in the annual rate of transport accounts  $730 \times 10^3 \text{ m}^3$  between the years 2001 and 2002 presenting also a reverse direction, being eastward during the year 2001 and westward during the year 2002. This is in accordance to the geomorphological/sedimentological characterisation of the Pachia Ammos beach, as a 'pocket beach', which means that any exchange of sediment is at an off/on-shore direction.

**Λέξεις κλειδιά:** Νήσος Κρήτη, ακτή θυλακίου, παράκτια στερεομεταφορά, Παχιά Άμμος.

**Key words:** Crete Island, 'pocket beach', longshore transport, Pachia Ammos.

## 1. Εισαγωγή



Σχήμα 1. Θέση περιοχής μελέτης (Παχιά Άμμος)

Η παραλία της Παχιάς Άμμου βρίσκεται στην νότια πλευρά του κόλπου του Μιραμπέλλου (Σχήμα 1) και το μέγιστο ανάπτυγμα ανέμου είναι της τάξης των 400 km με διεύθυνση Βόρεια με Βορειοανατολική. Το μέγιστο μέγεθος σημαντικού κύματος ύψους ( $H_{s\ max}$ ) σύμφωνα με το παραπάνω ανάπτυγμα ανέμου είναι 6,1 m, ενώ η κορυφαία περίοδος ( $T_p$ ) είναι 12,9 sec. Το εύρος της παλίρροιας στο Αιγαίο Πέλαγος είναι πολύ μικρό και μειώνεται γραμμικά από τον βορά προς το νότο, έχοντας τιμές ολίγων εκατοστών στις ακτές της βόρειας Κρήτης (Andriatsanos *et al.*, 2000). Η ακτή της Παχιάς Άμμου αποτελεί ανεξάρτητο ιζηματολογικό κελί σύμφωνα με τη θεώρηση του Sanderson and Elliot (1999), έχοντας μια αλιευτική μαρίνα στο

δυτικό άκρο της και απότομη βραχώδη ακτή στο ανατολικό της. Το συνολικό μήκος της ακτογραμμής είναι περί τα 1500 m.

## 2. Μεθοδολογία

Για την συλλογή των δεδομένων που αφορούν τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα σε διαφορετικά βάθη της θαλάσσιας στήλης χρησιμοποιήθηκε ο μετρητής προφίλ ρεύματος Aquadopp Current Profiler της εταιρείας Nortek (Idier *et al.*, 2002). Η θέση και οι περίοδοι μέτρησης δίνονται στον Πίνακα 1. Το όργανο έπερνε μετρήσεις κάθε 4 ώρες για χρονικό διάστημα 30 min αποθηκεύοντας το μέσο όρο κάθε φορά.

Συμπληρωματικές μετρήσεις κύματος προέρχονται από τον πλωτό ωκεανογραφικό μετρητικό σταθμό (buoy) του δικτύου ΠΟΣΕΙΔΩΝ, του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.Κ.Θ.Ε.) που βρισκόταν στο νοτιοανατολικό Αιγαίο (θέση Αυγό, συντεταγμένες  $35^{\circ} 37,37' B$  και  $25^{\circ} 38,24' A$ ) και σε απόσταση 57 km ΒΔ της παραλίας της Παχιάς Άμμου. Η συχνότητα συλλογής δεδομένων ήταν ανά 3 ώρες (Soukissian *et al.*, 1999).

Για τη συσχέτιση των δύο χρονοσειρών χρησιμοποιήθηκε γραμμική συσχέτιση (linear regression) καθώς και άλλες στατιστικές παράμετροι όπως ο συντελεστής σφάλματος  $R$  (root

mean square error – R) και ο δείκτης διασποράς ΔΔ (scatter index) που υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$R = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i,Ποσειδών} - X_{i,ΠαχιάΆμμος})^2} \quad (1)$$

$$\Delta\Delta = \frac{R}{\bar{X}_{ΠαχιάςΆμμου}} \quad (2)$$

Τα κυματικά χαρακτηριστικά στη ζώνη θραύσης υπολογίστηκαν με βάση τις μετρήσεις των κυμάτων σε συνθήκες βαθιών νερών και τη χρήση του λογισμικού RCPWAVE (μοντέλο προσομοίωσης πεπερασμένων στοιχείων σε δύο διαστάσεις), το οποίο έχει διαμορφωθεί από το Αμερικάνικο Σώμα Μηχανικών (US Army Corps of Engineers) και χρησιμοποιεί τις παρακάτω παραμέτρους της γραμμικής κυματικής θεωρίας: διάθλαση, θραύση κύματος, ρήχνηση και διάθλαση λόγω αλλαγής της βυθομετρίας. Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η βυθομετρία που είχε συλλεχθεί σε ψηφιακή μορφή για δε τη δημιουργία του κανάβου εργασίας χρησιμοποιήθηκε η 'ρουτίνα' GRIDGEN.

Τέλος, για τον υπολογισμό του θεωρητικού ρυθμού στερεομεταφοράς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

$$Q_l = \frac{k}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \left( \frac{\rho g H_s^2}{8} \right) \sqrt{gd} \sin a_b \cos a_b \quad (3)$$

όπου  $k$ = ο αριθμός κύματος,  $\rho$ = πυκνότητα του νερού,  $\rho_s$ =  $\eta$  πυκνότητα του ιζήματος,  $g=9.81m/sec^2$ ,  $H_s$ = το σημαντικό ύψος κύματος,  $d$ = το βάθος νερού στη ζώνη θραύσης και  $a_b$ = η γωνία του προσπώμενου κύματος στη ζώνη θραύσης.

### 3. Ανάλυση δεδομένων - Αποτελέσματα

#### 3.1 Δεδομένα ρευματομέτρου στήλης

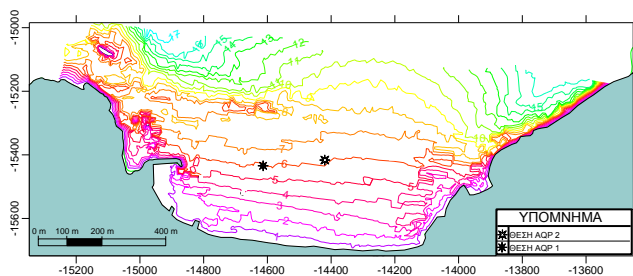
Με το ρευματομέτρο μέτρησης στήλης συλλέχθηκε μία σειρά δεδομένων συνολικής χρονικής διάρκειας σχεδόν οκτώ μηνών μέσα από το Μάιο 2001 έως το Μάιο 2002 (Πίνακας 1) σε δύο διαφορετικές θέσεις (Σχήμα 2).

Πίνακας 1. Πληροφορίες για τη λειτουργία του ρευματομέτρου στήλης στην Παχιά Άμμο (η ακριβής θέση πόντισης των οργάνων AQP1&2 φαίνεται στο σχήμα 2)

α/α χρονικών περιόδων μέτρησης	Θέση	Ημερομηνία έναρξης	Ώρα έναρξης	Συνολικός χρόνος μέτρησης (h)
1	AQP 1	4/5/2001	22:00:00	442
2	AQP 1	24/5/2001	11:00:00	1104
3	AQP 1	17/7/2001	22:00:00	748
4	AQP 1	6/10/2001	16:00:00	665
5	AQP 1	5/11/2001	18:00:00	332
6	AQP 2	11/12/2001	17:00:00	92
7	AQP 1	11/12/2001	17:00:00	92
8	AQP 1	26/4/2002	20:19:14	359

Οι μετρήσεις καλύπτουν το χρονικό διάστημα από την Άνοιξη του 2001 έως και την Άνοιξη του 2002. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές θέσεις (Σχήμα 2) και σε συνθήκες ενδιάμεσου βάθους.

Οι τιμές των μέγιστων τιμών του σημαντικού ύψους κύματος ( $H_s \max$ ) στην περιοχή παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου 2001. Ειδικότερα υπήρξαν δύο επεισόδια έντονων υδροδυναμικών συνθηκών διάρκειας επτά και τριών ημερών, με το πρώτο να εκδηλώνεται από την 24/10/2001 και το δεύτερο, την 16/11/2001. Καθόλη τη διάρκεια του πρώτου έντονου επεισοδίου τα σημαντικά ύψη κύματος ( $H_s$ ) ήταν  $>1,2$  m έχοντας μέση τιμή της κύριας κατεύθυνσης  $185^\circ$  (Νότια). Επιπλέον η διασπορά της κατεύθυνσης ήταν σχετικά μικρή με τιμές που κυμάνθηκαν από  $15^\circ$  έως  $20^\circ$ . Η μέση τιμή της περιόδου μηδενικής συνάντισης ( $T_0$ ) για τα αντίστοιχα  $H_s$  σε αυτό το χρονικό διάστημα είχε τιμές από 5 sec έως 6 sec, ενώ η κορυφαία περίοδος ( $T_p$ ) κυμάνθηκε στα 7 sec.



Σχήμα 2. Βαθυμετρικός χάρτης της ακτής της Παχιάς Άμμου και θέσεις ποντίσεως των οργάνων

Ακόμα εντονότερες υδροδυναμικές συνθήκες παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του δεύτερου επεισοδίου. Η κορύφωση σε αυτή την περίπτωση διάρκεσε δύο ημέρες (17 & 18/11/2001) με τιμές  $H_s > 1,3$  m για όλη τη διάρκεια της κορύφωσης, ενώ από τις 18:00 της 17/11/2001 έως 02:00 της 18/11/2001 καταγράφηκαν οι μέγιστες τιμές του  $H_s \max$  που παρατηρήθηκαν στην περιοχή ( $H_s = 2,2-2,4$  m) για ολόκληρη την περίοδο των μετρήσεων. Η μέση κατεύθυνση των κυμάτων είχε τιμές από  $185^\circ-190^\circ$ , ενώ το εύρος τιμών της κύριας κατεύθυνσης ήταν  $182^\circ-188^\circ$  (Νότια). Η διασπορά κατεύθυνσης και στις δύο περιπτώσεις ήταν λίγο μεγαλύτερη από αυτή του πρώτου επεισοδίου με τιμές από  $16^\circ$  έως  $21^\circ$ . Η μέση  $T_0$  κυμάνθηκε από 5 sec έως 6 sec, ενώ η  $T_p$  από 7 sec έως 8 sec.

### 3.2 Δεδομένα πλωτού σταθμού Ποσειδώνα

Η διεύθυνση προέλευσης κύματος χωρίστηκε σε 12 ομάδες με διαφορά  $30^\circ$  μεταξύ τους και σε 8 κλάσεις ανάλογα με την τιμή του  $H_s$  (Πίνακας 2). Οι πιο συχνές διευθύνσεις προέλευσης κύματος ήταν οι  $290^\circ$ ,  $310^\circ$ ,  $330^\circ$  και  $10^\circ$ . Οι κλάσεις χωρίστηκαν με διαφορά 0,5 m και η τιμή της κάθε κλάσης αποτελεί την αντιπροσωπευτική τιμή, ενώ όλες οι μετρήσεις της κλάσης έχουν μέγεθος  $\pm 0,25$  m της χαρακτηριστικής μέσης τιμής. Παρόλο που μερικές από τις διευθύνσεις κύματος ( $290^\circ$ ,  $310^\circ$  και  $330^\circ$ ) δεν επηρεάζουν άμεσα τις περιοχές μελέτης, μέσα από το φαινόμενο της περιθλάσης των κυμάτων στο ακρωτήριο Αγ. Ιωάννη, καταφέρνουν τελικά να τις επηρεάσουν. Η συνολική συχνότητα αυτών των διευθύνσεων φτάνει το 90 % του συνόλου για το καλοκαίρι του 2001, ενώ είναι πάνω από το 43 % για όλο το υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Η κλάση με το μέγιστο ύψος σημαντικού κύματος ( $H_s \max = 4,0$  m) είχε διεύθυνση προέλευσης  $310^\circ$  και  $330^\circ$  και εμφανίστηκε μόνο κατά τη χρονική περίοδο του χειμώνα 2002 με συγκεντρωτική συχνότητα 0,8% (0,4% για την προέλευση  $310^\circ$  και 0,4% για την προέλευση  $330^\circ$ ). Κατά την ίδια περίοδο (χειμώνας 2002) παρατηρήθηκε και η επόμενη μεγαλύτερη κλάση  $H_s$  (3,5 m) με συνολική συχνότητα εμφάνισης 3,6%. Η κατεύθυνση προέλευσης των κυμάτων αυτής της κλάσης ήταν από  $310^\circ$  (0,6%),  $330^\circ$  (2,4%) και  $10^\circ$  (0,6%). Η συχνότερη κλάση που μετρήθηκε στο σταθμό του Ποσειδώνα ήταν η 1,0 m με συγκεντρωτική εμφάνιση 40,6% κατά τη διάρκεια του

καλοκαιριού 2001. Ειδικότερα, η κλάση αυτή είχε συχνότητα εμφάνισης 23,1% για διεύθυνση προέλευσης 310° και 17,5% για προέλευση από 330° για αυτή την περίοδο.

Η περίοδος του  $H_s$  που μετρήθηκε στον πλωτό σταθμό είχε γενικά σταθερές τιμές. Ειδικότερα η μέση τιμή της  $T_o$  ήταν 3,9 sec ενώ η μέση τιμή της  $T_p$  ήταν 5,1 sec. Η τυπική απόκλιση της  $T_o$  ήταν 0,7 sec ενώ της  $T_p$  ήταν 1,4 sec. Οι μέγιστες τιμές ήταν 7,5 sec και 12,3 sec αντίστοιχα, ενώ οι ελάχιστες 2,3 sec και 2,0 sec.

Ακολουθώς έγινε συσχέτιση των τιμών των χαρακτηριστικών των κυμάτων μεταξύ των δυο χρονοσειρών των κυματικών παραμέτρων (βλέπε ενότητα Μεθοδολογίας), δηλαδή αυτών που προέρχονται από την ανοικτή θάλασσα (σταθμός Ποσειδώνα) και αυτών που μετρήθηκαν μέσα στον Κόλπου Μιραμπέλλου. Ο συνολικός αριθμός των στοιχείων που συγκρίθηκαν ήταν  $N=1.701$  από σύνολο 1.846 καθώς στη σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι περιπτώσεις των κυμάτων που επηρεάζουν τη περιοχή μελέτης, δηλαδή ΒΑ, Β και ΒΔ προέλευσης.

Πίνακας 2. Αναλυτικά αποτελέσματα εποχιακών  $H_s$  (% του συνόλου) του πλωτού σταθμού Ποσειδώνα για τις κυριότερες διευθύνσεις προέλευσης.

Διεύθυνση	$H_s$ (m) (συγκεντρωτική συχνότητα %)								Εποχή
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
290°	14,9	5,7	5,3	3,6	1,3	0,2	0,0	0,0	Άνοιξη 2001
290°	12,9	10,8	0,6	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2001
290°	8,5	5,5	2,3	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2001
290°	4,1	3,9	7,1	1,9	1,7	0,0	0,0	0,0	Χειμώνας 2002
290°	8,3	6,6	3,2	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2002
290°	14,7	7,7	0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2002
290°	11,5	3,8	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2002
310°	7,8	2,4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2001
310°	11,6	23,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2001
310°	5,6	3,3	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2001
310°	0,4	1,7	2,4	1,1	0,2	0,6	0,6	0,4	Χειμώνας 2002
310°	5,3	2,9	1,1	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2002
310°	7,8	5,7	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2002
310°	3,5	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2002
330°	4,9	4,1	3,7	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2001
330°	8,1	17,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2001
330°	6,5	8,8	5,2	1,9	1,2	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2001
330°	4,1	4,5	3,5	3,5	0,9	2,8	2,4	0,4	Χειμώνας 2002
330°	3,9	8,4	5,2	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2002
330°	7,7	12,2	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2002
330°	6,9	3,2	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2002
10°	4,5	1,0	0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2001
10°	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2001
10°	2,9	0,4	1,0	0,4	0,7	0,1	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2001
10°	0,9	0,6	1,1	0,2	0,0	0,9	0,6	0,0	Χειμώνας 2002
10°	5,8	1,3	0,6	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	Άνοιξη 2002
10°	1,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Καλοκαίρι 2002
10°	6,2	1,5	0,3	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	Φθινόπωρο 2002



Η σύγκριση ολόκληρης της χρονοσειράς έχει συντελεστή  $R = 0,66$  και  $\Delta\Delta = 0,85$  για το σημαντικό ύψος κύματος,  $R = 0,55$  και  $\Delta\Delta = 0,30$  για την  $T_p$  και  $R = 0,54$  και  $\Delta\Delta = 0,29$  για την  $T_m$ . Με την εφαρμογή διαφορετικών φίλτρων υστέρησης μεταξύ των χρονοσειρών παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα στις στατιστικές παραμέτρους. Η καλύτερη συσχέτιση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας υστέρηση μίας ώρας στα δεδομένα της Παχιάς Άμμου (Πίνακας 3). Η συσχέτιση αυτή βελτιώνεται με τη χρήση κυμάτων με προέλευση μόνο  $\pm 45^\circ$  από το Βορά καθώς και με πολυωνυμική συσχέτιση, αλλά για λόγους απλότητας η γραμμική συσχέτιση παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και ευκολία χρήσης.

Πίνακας 3. Στατιστικοί παράμετροι συσχέτισης κυματικών δεδομένων πλωτού σταθμού Ποσειδώνια και Παχιάς Άμμου.

Χρονοσειρά	R	$\Delta\Delta$	$\alpha$	$\beta$	N
<b><math>H_s</math></b>					
Υστέρηση 0 ώρες	0,66	0,85	-0,002	1,058	1701
Υστέρηση 1 ώρα	0,69	0,86	-0,01	1,109	1701
<b><math>T_p</math></b>					
Υστέρηση 0 ώρες	0,55	0,30	-0,003	5,442	1701
Υστέρηση 1 ώρα	0,56	0,23	-0,012	4,058	1701
<b><math>T_m</math></b>					
Υστέρηση 0 ώρες	0,54	0,29	-0,004	5,358	1701
Υστέρηση 1 ώρα	0,57	0,22	-0,015	3,958	1701

### 3.3 Θεωρητικός ρυθμός στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτογραμμής

Ο κάναβος που δημιουργήθηκε είχε μέγεθος 94 x 137 κελιά (x-y άξονες αντίστοιχα) και το μέγεθος των κελιών ήταν 10 x 10 m. Το αζιμούθιο της ακτογραμμής σύμφωνα με το μοντέλο ήταν 181 μοίρες και οι τοπικές συντεταγμένες των σταθμών που υπήρχαν ήταν (i, j) 62, 27 για τον σταθμό 1 και 65, 58 για τον σταθμό 2 (θέσεις AQP 1 & 2 του Σχήματος 2). Οι κύριες διευθύνσεις προέλευσης κυμάτων είναι 270°, 290°, 310°, 330° και 10°. Δημιουργήθηκαν πέντε ομάδες προσομοίωσης, μία για κάθε διεύθυνση και η κάθε ομάδα είχε εννέα προσομοιώσεις με αρχικό  $H_s$  0,5 m και βήμα αύξησης του μεγέθους του 0,5 m. Η περίοδος ήταν 5,0 sec για όλες τις προσομοιώσεις, τιμή κοντά στην μέση  $T_p$  που παρατηρήθηκε.

Χρησιμοποιώντας την κύρια ρουτίνα RCPWAVE του μαθηματικού μοντέλου CEDAS βρέθηκαν οι παρακάτω φυσικές παράμετροι για ολόκληρη την παράλια ζώνη της Παχιάς Άμμου ( $\alpha$ ) το  $H_s$ , ( $\beta$ ) η τοπική διεύθυνση του (γωνία  $\theta_0$ ), ( $\gamma$ ) ο αριθμός κύματος ( $k$ ) και ( $\delta$ ) το ύψος ( $H_b$ ) και η γωνία  $\alpha_b$  του  $H_s$  στη ζώνη θραύσης.

Οι κυματικές παράμετροι του μοντέλου συσχετίστηκαν με τις πραγματικές που είχαν μετρηθεί κατά τη χρονική περίοδο Μαρτίου 2001 έως Μαΐου 2002. Η ομαδοποίηση των πραγματικών δεδομένων των σταθμών 1 και 2 έγινε χρησιμοποιώντας διασπορά  $\pm 0,25$  m για την κεντρική τιμή  $H_s$  και  $\pm 10^\circ$  για τη διεύθυνση των δεδομένων του πλωτού σταθμού Ποσειδώνια. Οι τιμές αυτές της διασποράς επιλέχθηκαν ώστε να δημιουργηθεί ένας ικανοποιητικός αριθμός στοιχείων για κάθε ομάδα, χωρίς όμως να υπάρχει μεγάλη διασπορά και αποκλίσεις τιμών.

Οι διαφορές που παρουσιάζει το μοντέλο σε σχέση με τις πραγματικές μετρήσεις βρίσκονται στο αναμενόμενο επίπεδο βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας (Maa et al., 2000). Η απόκλιση της διεύθυνσης του θεωρητικού σημαντικού κύματος από το μοντέλο έχει διακύμανση από 47,3ο έως 1,3ο σε σχέση με τις τιμές που παρατηρήθηκαν στον σταθμό 1. Αντίστοιχα, στον σταθμό 2 η διακύμανση της απόκλισης αυτής έχει μέγιστη τιμή 40,9ο και

ελάχιστη 0. Αυτές οι αποκλίσεις παρουσιάζουν την ακόλουθη κλιμάκωση. Όσο η κατεύθυνση προέλευσης του εισερχόμενου κύματος πλησιάζει το Βορά, η απόκλιση μειώνεται σημαντικά και στους δύο σταθμούς. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο αφού η ακρίβεια του μοντέλου αυξάνει όσο το προσπίπτον κύμα πλησιάζει να είναι κάθετο στην ακτογραμμή. Ειδικά στην περίπτωση της κατεύθυνσης 10° η διακύμανση είναι μόνο  $\pm 6,6^\circ$ . Η διακύμανση αυτή της διαφοράς προέλευσης του κύματος δεν επηρεάζεται από τη θέση του σταθμού. Δηλαδή τόσο στον σταθμό 1 που είναι κοντά στο λιμάνι, όσο και στον σταθμό 2 που βρίσκεται στο κέντρο της παράκτιας ζώνης οι διαφορές είναι της ίδιας τάξης μεγέθους.

Οι διαφορές που παρατηρούνται στο σημαντικό ύψος κύματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι η συσχέτιση με τις μέγιστες τιμές που παρατηρήθηκαν ενώ η δεύτερη είναι με την μέση τιμή. Όσον αφορά τη διαφορά σε σχέση με την μέγιστη τιμή υπάρχει μια διακύμανση από  $-0,8^\circ$  σε σχέση με την τιμή που μετρήθηκε έως  $+14^\circ$ . Οι μέγιστες διαφορές παρατηρούνται στον σταθμό 1 για τη διεύθυνση 10°. Η βασική αιτία για αυτό το γεγονός είναι ότι οι πραγματικές τιμές έχουν μικρό πληθυσμό, της τάξης των 1 έως 3 μετρήσεων. Γενικότερα για τον σταθμό 1 στις μικρές τιμές αρχικού  $H_s$ , δηλαδή έως και 1,5 m, το μοντέλο κάνει υποεκτίμηση ενώ στις μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζεται μια υπερεκτίμηση. Αντίστοιχα στον σταθμό 2 αυτό συμβαίνει μόνο για τις διευθύνσεις 290° και 310°, ενώ για τις διευθύνσεις 330° και 10° υπάρχει μια μόνιμη υπερεκτίμηση. Ανάλογα αποτελέσματα έχει και η σύγκριση με τις μέσες τιμές. Η διαφορά στη περίπτωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η υποεκτίμηση είναι μικρότερη ενώ η υπερεκτίμηση μεγαλύτερη. Η διακύμανση είναι από  $-0,4^\circ$  έως  $+15^\circ$  για το σταθμό 1 και  $-0,7^\circ$  έως  $+2,6^\circ$  για το σταθμό 2.

Στη σύγκριση του  $k$  (αριθμού κύματος) χρησιμοποιήθηκε τόσο η μέγιστη τιμή όσο και η μέση τιμή. Στον σταθμό 1 παρατηρείται μια διαφορά με διακύμανση στο μέγεθος από  $-0,38$  έως  $0,48$  για τη μέγιστη τιμή, ενώ για τη μέση τιμή η διακύμανση είναι από  $-0,16$  έως  $0,52$  (η διακύμανση αναφέρεται στο μέγεθος του  $k$ ). Αντίστοιχα στον σταθμό 2 η διακύμανση κυμαίνεται από  $-0,44$  έως  $-0,08$  για τη μέγιστη τιμή και  $-0,39$  έως  $-0,01$  για τη μέση τιμή. Η πρόβλεψη του μοντέλου ανταποκρίνεται αρκετά στην παρατηρούμενη μέση τιμή  $k$ . Οι μέγιστες αποκλίσεις παρουσιάζονται και πάλι στην περίπτωση που ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι πολύ μικρός.

Από την κατανομή των κυματικών παραμέτρων στις προσομιώσεις παρουσιάζεται μια έντονη ζώνη σύγκλισης και απόκλισης κυμάτων στην βορειοανατολική περιοχή για τις αρχικές διευθύνσεις 290° και 310°. Η διαφορά αυτή στο  $H_s$  μεταξύ γειτονικών κελιών ξεκινάει από 0,3 m με τιμή  $H_{s\ max} = 0,5$  m και φτάνει στα 2,1 m με τιμή  $H_{s\ max} = 5,2$  m. Στην ζώνη θραύσης του κύματος για τις δύο αυτές αρχικές διευθύνσεις παρατηρείται μια ζώνη απόκλισης της κυματικής ενέργειας που είναι σχεδόν ταυτόσημη και για τις δύο κατευθύνσεις. Η απόκλιση αυτή παρατηρείται περίπου 180 m από το δυτικό άκρο της ακτής (λιμάνι) και η κυματική κατεύθυνση είναι προς τα δυτικά (προς το λιμάνι). Η θέση του σημείου απόκλισης είναι σχεδόν σταθερή ανεξάρτητα από το αρχικό  $H_s$  και κυμαίνεται από 180 m έως 160 m, από το δυτικό της άκρο.

Ο εποχιακός ρυθμός στερεομεταφορά παράλληλα προς την ακτή ( $Q_l$ ) στην περιοχή της Παχιάς Άμμου παρουσιάζει εναλλαγή στη διεύθυνση κάθε εποχή (Πίνακας 4). Την άνοιξη και το φθινόπωρο έχει φορά προς τη δύση (περιοχή του λιμανιού), ενώ το καλοκαίρι και το χειμώνα προς την ανατολή. Το μέγεθος επίσης έχει διακύμανση από ελάχιστη τιμή  $0,46 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/day το φθινόπωρο του 2001 έως  $3,29 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/day το φθινόπωρο του 2002. Ενδιαφέρον, τέλος παρουσιάζει το γεγονός ότι ο ρυθμός της μέσης ετήσιας τιμής της δυνητικής παράκτιας στερεομεταφοράς ( $Q_l$ ) για μεν τη περίοδο Άνοιξη 2001 – Χειμώνας 2002 (μέχρι Φεβρ. 2002) είναι  $1,2 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/day με κατεύθυνση ανατολική, ενώ ακολούθως για το χρονικό διάστημα Χειμώνας 2002 – Φθινόπωρο 2002 έχει κατεύθυνση προς τα δυτικά και τιμή  $3,2 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/day.

Πίνακας 4. Εποχιακός θεωρητικός ρυθμός στερεομεταφοράς ( $Q_i$ ) στην περιοχή της Παχιάς Άμμου

Εποχή	$Q_i$ ( $\times 10^3$ m <sup>3</sup> /day)	Κατεύθυνση
Άνοιξη 2001	1,22	Δύση
Καλοκαίρι 2001	1,13	Ανατολή
Φθινόπωρο 2001	0,46	Δύση
Χειμώνας 2002	1,35	Ανατολή
Άνοιξη 2002	2,14	Δύση
Καλοκαίρι 2002	0,89	Ανατολή
Φθινόπωρο 2002	3,29	Δύση

#### 4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Με τη χρήση γραμμικής συσχέτισης και με φίλτρο υστέρησης μίας ώρας οι υδροδυναμικές μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν στην μεταβατική ζώνη της ακτής της Παχιάς Άμμου συγκρίθηκαν με ανάλογες μετρήσεις του πλωτού μετρητικού σταθμού Ποσειδώνα, στη θέση Αυγό, που βρίσκεται έξω από το Κόλπο Μιραμπέλλου. Η συσχέτιση των δύο χρονοσειρών παρουσίασε στο σύνολο της πολύ καλή συσχέτιση ( $R$  0,7 και  $\Delta\Delta = 0,2$ ) για το σημαντικό ύψος των προσερχόμενων κυμάτων. Με βάση τις μετρήσεις εντός του Κόλπου Μιραμπέλλου, σε βάθη περί τα 5 μέτρων, και εκείνων του σταθμού του Ποσειδώνα (για τα χρονικά διαστήματα που δεν είχαμε μετρήσεις εντός του Κόλπου), η διεύθυνση της δυναμικής (θεωρητικά υπολογιζόμενης) παράκτιας στερεομεταφοράς ( $Q_i$ ) στη παραλία της Παχιάς Άμμου εμφανίζει όχι μόνο εποχιακή αλλά διαχρονική αναστροφή ως προς την κατεύθυνσή της και μεταβολή της μέσης ετήσιας τιμής που είναι της τάξης των  $2 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/day ( $730 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/year). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι στη περίπτωση της Παχιάς Άμμου, για ασφαλή συμπεράσματα περί της παράκτιας στερεομεταφοράς απαιτούνται μακροχρόνιες μετρήσεις, ενώ με βάση το γεγονός ότι αποτελεί ένα ανεξάρτητο ιζηματολογικό κελί τα ιζήματα αναμένονται να είναι εγκλωβισμένα και απλά να μεταφέρονται τότε προς τα δυτικά τότε προς τα ανατολικά (εποχιακά και διαχρονικά) μεταβάλλοντας και το πλάτος της παραλίας. Για τυχόν δε μεταβολές του πλάτους της παραλιακής ζώνης της Παχιάς Άμμου θα πρέπει να διερευνηθεί η στερεομεταφορά με διεύθυνση κάθετα στην ακτογραμμή.

#### Βιβλιογραφία

- Andritsanos, V. A., D. Arabelos, S.D. Spatalas, I.N. Tziavos, 2000: Mean Sea Level Studies in the Aegean Sea. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*. 25, 53-56.
- Idier, D., A. Ehrhold, T. Garlan, 2002: Morphodynamique d'une dune sous-marine du Detroit du pas de Calais: Morphodynamics of an undersea sandwave of the Dover Straits. *Comptes Rendus Geosciences*. 334(15), 1079-1085.
- Maa J.P.Y., T. W. Hsu, C.H. Tsai, W.J. Juang, 2000: Comparison of wave refraction and diffraction models. *Journal of Coastal Research*. 16 (4), 1073-1082.
- Sanderson, P. G., I. Eliot, 1999: Compartmentalisation of beachface sediments along the southwestern coast of Australia. *Marine Geology*. 162, 145-164.
- Soukissian, T., G. Chronis, K. Nittis, 1999: POSEIDON: Operational marine monitoring system for Greek Seas. *Sea Technology*. 40(7), 31-37.

## ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΜΗΛΟΥ

Ανδρής Π., Πούλος Σ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολη-Ζωγράφου, Αττική 15784.*

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή διερευνώνται οι γεωμορφολογικοί, ιζηματολογικοί και ωκεανογραφικοί παράμετροι οι οποίοι διαμορφώνουν το γεωπεριβάλλον των τουριστικών παραλιακών ζωνών της Νήσου Μήλου, ενώ γίνεται προσπάθεια μέσω της αλληλοσυσχέτισής των και να προσδιοριστούν οι σημαντικότεροι αυτών. Ακόμη έμφαση δίνεται στη χρησιμότητα των παραλιών. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής πραγματοποιήθηκαν τοπογραφικές τομές και δειγματοληψίες ιζημάτων, μελέτη του ανεμολογικού και του κυματικού καθεστώτος του νησιού και στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Κατά μήκος λοιπόν της ακτογραμμής της Μήλου αναγνωρίστηκαν 30 κύριες παραλιακές ζώνες με μήκη από 55 έως 1210m και πλάτη έως 60 m. Γενικά, οι περισσότερες παραλιακές ζώνες χαρακτηρίζονται ως αμμώδεις με μικρό ποσοστό χαλικιών τα οποία συναντώνται κυρίως στο μέτωπό τους. Με εξαίρεση τις παραλίες Θειορυχεία (12%) και Αγ. Κυριακή (11%) το υποθαλάσσιο ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από κλίσεις  $\leq 9\%$ . Τα συχνότερα κύματα προσεγγίζουν από Β με συνήθη ύψη μικρότερα του 1,5 m ενώ τα μεγαλύτερα κύματα από ΝΔ με ύψη μεγαλύτερα των 6m. Η στατιστική επεξεργασία, με μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης, έδειξε πολύ καλή (θετική) συσχέτιση του πλάτους του χερσαίου τμήματος της παραλίας με την μέγιστη απόσταση ανάπτυξης κυματισμού και του μήκους της ακτογραμμής με το μέγιστο υψόμετρο της παραλίας και την παρουσία θινών. Οι περισσότερα τουριστικά αναπτυγμένες παραλίες είναι οι Νότια προσανατολισμένες γιατί είναι προστατευμένες από το επικρατούντες Β ανέμους, όπως και οι παραλίες Παπάφραγκας, Σαρακίνο, Φυροπόταμος, Αχιβαδολίμνη και Παπικινού. Η πρόσβαση από στεριά είναι αδύνατη μόνο στη περίπτωση των παραλιών Κλέφτικο και Αγ. Δημήτριος και ιδιαίτερα δύσκολη στη περίπτωση των Δυτικά προσανατολισμένα παραλιών και της παραλίας Θειορυχεία.

### GEOENVIRONMENTAL STUDY OF THE TOURISTIC BEACH ZONES OF THE MILOS ISLAND

Andris P., Poulos Σ.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis-Zografou, Attiki, 15784.*

### Abstract

The present work aims to investigate the geomorphological, sedimentological and oceanographic parameters that form the geoenvironment of the touristic beaches of the Milos Island. Furthermore, through their cross-correlation is attempted to be identified the most important parameters, whilst the analysis involves data concerning also the use of Milos' beaches. For the needs of the present investigation, in-situ topographic sections, collection and laboratory analyses of sediment samples have been carried out together with the collection and interpretation of meteorological and oceanographic data. Along the coastline of Milos Island 30 principal beach zones have been recognised with lengths from 50 m up to 1210 m and widths (subaerial part) up to 60 m. Generally, they consist of sand with the presence of some granules especially along their beach-faces. With the exception of the beach zones at Theiorichia and Ag. Kiriaki, they present subaqueous slopes  $< 9\%$ . The most frequent waves come from the north having usual heights  $< 1,5$  m, whilst the biggest

waves approach from SW with heights >6 m. Statistical correlation of the parameters considered show a positive and good correlation between the subaerial beach width with fetch distance, the maximum elevation of the backshore zone and the presence of sand dunes. The most touristically utilised beaches are those being located along the south coast, as they are not exposed to the dominant north winds during the summer and Papafragas, Sarakiniko, Firopotamos, Achivadolimni and Papikinou. The access from the land is difficult only in the case of the West facing beaches and the beach of Theiorichia whilst the beaches Kleftiko and Ag. Dimitrios can be visited only from the sea.

**Λέξεις κλειδιά:** Μήλος, παραλιακές ζώνες, κύματα.

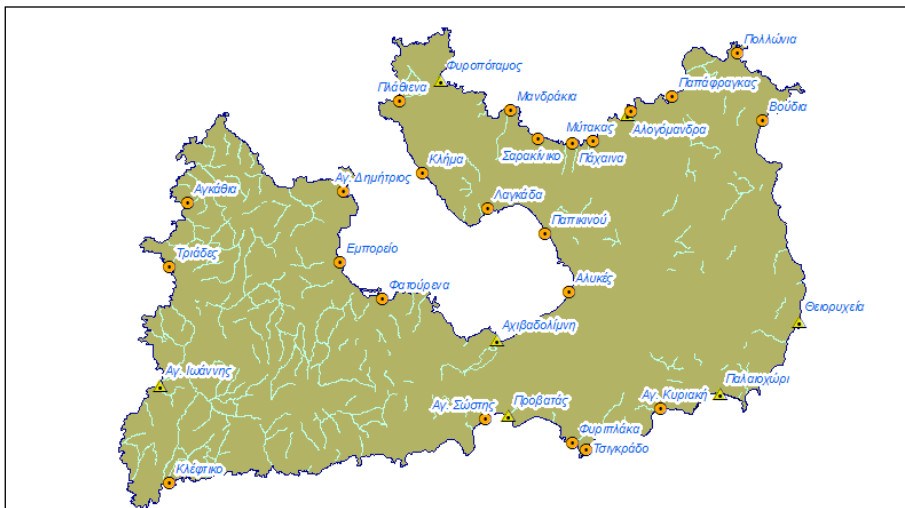
**Key words:** Milos, beach zones, waves.

**1. Εισαγωγή**

Η Μήλος βρίσκεται στα ΝΔ του πλατό των Κυκλάδων, έχοντας συνολική έκταση 151 km<sup>2</sup>, αποτελούμενη σχεδόν εξ ολοκλήρου από ηφαιστειακά πετρώματα με ελάχιστες εμφανίσεις ιζηματογενών και μεταμορφωμένων ενώ από γεωτεκτονικής άποψης ανήκει στην Πελαγονική ζώνη.

Το μήκος των ακτών της Μήλου είναι 125 km με πολυσχιδή ακτογραμμή, η οποία φιλοξενεί περισσότερες των 30 σημαντικών παραλιακών ζωνών (Σχήμα 1), οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικό γεωλογικό, γεωμορφολογικό περιβάλλον, έχοντας διαφορετική ιζηματολογική σύσταση όντας εκτεθειμένες σε διαφορετικό κυματικό καθεστώς. Επίσης, λόγω του ιδιαίτερου γεωλογικού υποβάθρου της Μήλου υπάρχει έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα (S&B, TITAN) με αποτέλεσμα ορισμένες από τις παραλίες να σχετίζονται με την παρουσία τους με τις μεταλλευτικές (εξορυκτικές) δραστηριότητες.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνηθεί το γεωπεριβάλλον όλων των σημαντικών (από κοινωνικό-οικονομικής σκοπιάς) παραλιών ζωνών της Ν. Μήλου και να προσδιοριστούν και συσχετιστούν οι παράγοντες εκείνοι οι οποίοι είναι οι περισσότεροι σημαντικοί στη διαμόρφωση των. Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία δίνεται και στις χρηστικές των ιδιότητες όπως είναι η πρόσβαση, η ύπαρξη τουριστικών εγκαταστάσεων, επικινδυνότητα στη κολύμβηση κ.α.



Σχήμα 1. Χάρτης όπου διακρίνονται οι υπό μελέτη παραλίες. Με τρίγωνο διακρίνουμε τις παραλίες όπου έγιναν τοπογραφικές τομές και δειγματοληψίες ιζημάτων χερσαίου και υποθαλάσσιου τμήματός ενώ με κύκλο φαίνονται οι παραλίες που έγιναν τοπογραφικές τομές και δειγματοληψίες ιζημάτων του χερσαίου τμήματός.

## 2. Μεθοδολογία

Για την τοπογραφία της Μήλου αποκτήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. (φύλλα Μήλος και Κίμωνος), 17 αεροφωτογραφίες 1:10.000 του Οργανισμού Κτηματολογίου, ορθοφωτοχάρτες του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. ενώ συμπληρωματικές πληροφορίες εξήχθησαν από το Google Earth.

Για την γεωλογία χρησιμοποιήθηκε γεωλογικός χάρτης 1:25.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Μήλος) ενώ για την κλιματολογία αποκτήθηκαν στοιχεία της Ε.Μ.Υ., τα οποία αφορούν θερμοκρασία, ανεμολογικό καθεστώς, σχετική υγρασία και ολικό ύψος υετού.

Για την ιζηματολογική κοκκομετρία και τοπογραφική αποτύπωση των παραλιών έγιναν τοπογραφικές τομές και δειγματοληψίες ιζημάτων τον Αύγουστο του 2006 και τον Μάιο του 2007 σε 30 παραλίες, από τις οποίες περισυλλέγησαν 190 δείγματα ιζήματος, έγιναν 45 τομές και πάρθηκαν >200 φωτογραφίες.

Η κοκκομετρική ανάλυση έγινε με ξηρό κοσκίνισμα σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Folk (1974) και κάνοντας χρήση τη σειρά κόσκινων της εταιρίας REINTZ με διαμέτρους σπών (σε mm): 16-8- 4-3,15-2-1,4-1-0,8-0,5-0,4-0,315-0,2-0,1-0,08 και 0,0625.

Το κυματικό καθεστώς υπολογίστηκε με βάση τις παρακάτω εξισώσεις. Για κάθε διεύθυνση και ένταση ανέμου υπολογίζεται το φασματικό σημαντικό ύψος κύματος  $H_{m0}$  στο τέλος του αναπτύγματος πνοής και η περίοδος που αντιστοιχεί στην κορυφή του κυματικού φάσματος (peak spectral period)  $T_m$  βάσει των εξισώσεων (CERC, 1984):

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 0.0016 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 0.2433 \quad (4)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 0.2857 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8.1134 \quad (5)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 6.88 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 71500 \quad (6)$$

Όπου,  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,  $F$  και  $t$  το μήκος αναπτύγματος πνοής και η διάρκεια πνοής του ανέμου αντίστοιχα και  $U_A$  ο συντελεστής τάσης ανέμου.

Τα υπολογισμένα με βάση τις εξισώσεις (1), (2) και (3) κυματικά χαρακτηριστικά αφορούν τις συνθήκες περιορισμένης ανάπτυξης του κυματισμού (fetch limited) ενώ τα χαρακτηριστικά της πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας (fully developed sea) δίνονται από τις εξισώσεις (4), (5) και (6). Ακολούθως, τα αποτελέσματα των (1), (2), (3) συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των (4), (5), (6) και αν τα υπολογισμένα κυματικά χαρακτηριστικά είναι μεγαλύτερα, τότε μειώνονται ώστε να γίνουν ίσα με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της πλήρως ανεπτυγμένης θάλασσας, που είναι τα μέγιστα δυνατά. Σημειώνεται δε, ότι τα προβλεπόμενα με την παραπάνω μέθοδο χαρακτηριστικά κύματος έχουν απόκλιση από τις πραγματικές τιμές μικρότερη από 20% στα δύο τρίτα των περιπτώσεων (CERC, 1984).

Για την ψηφιοποίηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arc-GIS 9.1 και για την στατιστική επεξεργασία και τον συσχετισμό των παραγόντων που διαμορφώνουν κάθε παραλία έγινε παραγοντική ανάλυση με χρήση του λογισμικού STATISTICA.

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Οι παραλίες της Ν. Μήλου χωρίζονται σύμφωνα με τον προσανατολισμό τους και την έκθεση τους στον κυματισμό σε Βόρεια προσανατολισμένες (Β-πρ) (10 παραλίες), Νότια προσανατολισμένες (Ν-πρ) (7), Ανατολικά προσανατολισμένες (Α-πρ) (2), Δυτικά προσανατολισμένες (Δ-πρ) (3) και σε αυτές που βρίσκονται μέσα στον Κόλπο της Μήλου (ΚΜ) (8). Οι παραλίες Σαρακίνικο, Παπάφραγκας, Κλέφτικο και Αγ. Κωνσταντίνος χαρακτηρίζονται ως παραλίες ειδικής μορφής καθώς δεν έχουν τα τυπικά χαρακτηριστικά μιας παραλιακής ζώνης (Σχήμα 2). Παρόλα αυτά λόγω της μεγάλης τουριστικής τους σημασίας και του ιδιαίτερου φυσικού κάλλους συμπεριλήφθηκαν στις μετρήσεις. Αναλυτικά όλα τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω αναφέρονται στους Πίνακες 1 και 2.



Σχήμα 2. Παραλίες ειδικής μορφής (Σαρακίνικο και Κλέφτικο)

#### 3.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Το μήκος ακτογραμμής των παραλιών κυμαίνεται από 74 έως 760 m. Εξάιρεση αποτελεί η παραλία Αχιβαδολίμνη με μήκος ακτογραμμής 1210 m, ενώ γενικά οι Β-πρ παραλίες δεν ξεπερνούν σε μήκος τα 271 m (Πίνακας 1).

Το πλάτος του χερσαίου τμήματος των παραλιών κυμαίνεται από 2,5 έως 60 m ενώ του υποθαλάσσιου τμήματος (μέχρι το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα) είναι από 29 έως 862 m. Μεγάλα πλάτη παρατηρούμε στις Δ-πρ και Ν-πρ παραλίες, λόγω της μεγάλης απόστασης ανάπτυξης κυματισμού στην κύρια διεύθυνση ανέμου. Για τον ίδιο λόγο, οι παραλίες ΚΜ παρουσιάζουν μικρά χερσαία πλάτη (<35m) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μορφομετρικά, Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά, έργα υποδομής και παράκτια γεωμορφολογία των παραλιών.

Παράλια	Μορφομετρικά χαρακτηριστικά							Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά		Έργα υποδομής		Παράκτια γεωμορφολογία		
	Μήκος ακτογραμμής (m)	Πλάτος χερσαίου τμήματος (m)	Μέση κλίση χερσαίου τμήματος (%)	Πλάτος υποθαλάσσιου τμήματος (m)	Μέση κλίση υποθαλάσσιου τμήματος (0-5m) (%)	Μέγιστο υψόμετρο χερσαίου τμήματος (m)	Διαεύθυνση ακτογραμμής	Απόσταση ακτογραμμής από ισοβαθή 2m	Κοκκομετρικός χαρακτήρας ιζημάτων κατά Folk (1974)	Mz (mm)	Εγκατάσταση υποδομής **	Πρόσβαση από χερσαίο ενδοχώρας	Εγκατάσταση υποδομής	Παράκτια γεωμορφολογία
<b>Βόρεια</b>														
<b>Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Κωνσταντίνος*	7	5	12	2	438	3	0.1	338	60	αS	0.19	M	Ευκαλή	Κοιλώδα
Ανατολικά*	212	26	301	4	601	2	1.7	308	85	αS	2.14	Z	Ευκαλή	Κοιλώδα
Ανατολικά	106	115	390	4	390	4	0.9	331	52	αS	0.59	T	Ευκαλή	Απότομος Υκρεμώδης
Παραθαλάσσια*	159	39	354	3	354	4	1.7	321	42	αS	0.58	B	Ευκαλή	Κοιλώδα
Παραθαλάσσιες*	171	25	662	3	662	2	1.0	271	72	αS	0.89	Z	Ευκαλή	Απότομος Υκρεμώδης
Παραλία	138	20	852	2	852	2	1.0	308	122	αS	0.84	B	Ευκαλή	Κοιλώδα
Παραλία*	271	24	192	6	192	6	0.9	324	32	αS	0.84	Ξ(T)M	Ευκαλή	Πεδιβάδα
Παραλία*	12	10	219	4	219	7	0.2	341	48	αS	1.55	Z	Ευκαλή	Κοιλώδα
Φαραγγισιάς	74	13	225	4	225	4	0.8	311	43	αS	0.82	Β(OM)	Ευκαλή	Κοιλώδα
<b>Νοτια</b>														
<b>Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Κυριακή	356	18	143	5	143	11	1.0	159	19	α(S)	0.54	B	Μέτρια	Κοιλώδα
Αν. Σωτήρας	80	13.5	391	4	391	4	0.4	196	52	S	0.29	T	Ευκαλή	Απότομος Υκρεμώδης
Παραθαλάσσια	510	23	105	9	105	9	1.1	162	14	αS	1.91	Ξ(B)T	Ευκαλή	Απότομος Υκρεμώδης
Προβάτας	165	20	827	2	827	2	1.3	185	110	α(S)	0.28	Ξ(B)T	Ευκαλή	Ομβρικός Υκρεμώδης
Τσιγκρόφο	55	10	218	7	218	7	1.1	189	29	α(S)	1.06	Z	Μέτρια	Απότομος Υκρεμώδης
Φυρπιλάκα	412	7	241	6	241	6	0.3	185	32	α(S)	0.50	B	Μέτρια	Απότομος Υκρεμώδης
Κλέφτικο*												Z	Αδυνατή	Απότομος Υκρεμώδης
<b>Ανατολικά</b>														
<b>Προσανατολισμένες</b>														
Βαυδα	720	30	163	3	163	9	1.5	123	22	αG	3.95	Z	Ευκαλή	Ομβρικός Υκρεμώδης
Σεραφεία	93	23	78	4	78	12	1.3	67	13	αG	2.69	Z	Δυσκολή	Κοιλώδα
<b>Δυτικά</b>														
<b>Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Ιωάννης	220	20	389	4	389	4	0.7	304	55	αS	1.03	Z	Δυσκολή	Ομβρικός Υκρεμώδης
Αγκάβια	149	60	434	3	434	3	0.5	219	60	S	0.45	Z	Δυσκολή	Κοιλώδα
Τριπόδες	99	25	470	2	470	3	0.6	231	65	S	0.96	Z	Δυσκολή	Ομβρικός Υκρεμώδης
<b>Εντός κόλπου</b>														
Αν. Δημήτριος	79	12	29	6	29	8	0.9	63	24	αG	3.87	Z	Αδυνατή	Ομβρικός Υκρεμώδης
Αλυκές	760	23	570	2	570	2	1.2	304	86	αS	2.10	Z	Ευκαλή	Πεδιβάδα
Ανιβαρόμνη	1210	25	450	3	450	3	1.6	320	68	α(S)	0.82	Ξ(B)	Ευκαλή	Κοιλώδα
Εμπροσθί	195	2.5	61	5	61	5	0.2	55	40	αS	1.29	T(OM)	Μέτρια	Ομβρικός Υκρεμώδης
Κνήμα	106	4	59	5	59	5	0.4	245	40	αG	4.46	Ξ(OM)	Ευκαλή	Κοιλώδα
Καναδά	145	9	69	4	69	4	0.5	171	46	αS	0.82	Ξ(B)	Ευκαλή	Πεδιβάδα
Πατικισά	616	20	168	2	168	2	1.0	247	105	α(S)	0.67	Ξ(B)M	Ευκαλή	Πεδιβάδα
Φατορένα	247	35	174	2	174	2	1.9	340	95	α(S)	0.95	Z	Μέτρια	Πεδιβάδα

\* Ειδικής κατηγορίας παραλίες

\*\* Ξ: Ξενδοχείο, Β: Βαρ, Τ: Ταβέρνα, Ο: Οικισμός, Μ: Μερμένα, Ζ: Δεν υπάρχει καμία εγκατάσταση



Πίνακας 2. Ανεμολογικά και κυματικά χαρακτηριστικά των παραλιών

Παραλία	ΑΝΕΜΟΣ				Κύμα				Σταθμικό Μέσο $S_b$ (W)***					
	Κύριος άνεμος που είναι εκτεθειμένη η παραλία	Ποσοστό έκθεση παραλίας σε άνεμο (που δημιουργεί κυματισμό)		Μη έκθεση παραλίας σε άνεμο	Απόσταση κυματισμού στη κύρια διεύθυνση ανέμου (km)	Μέγιστο		$H_c$ (W)**		$d_b$ (W)**				
		ετήσιο (%)	θερινό (%)			ετήσιο (%)	θερινό (%)				$H_s$ (m)**	$h_c$ (m)**		
<b>Βόρεια Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Κωνσταντίνος*	B	58	69		31	85	6,43	14,60	8,24	247	1,87	4,26	2,40	72
Αιολογολάνδρα	ΒΑ	57	68	42	31	122	6,22	14,14	7,97	339	1,39	3,17	1,79	76
Μαυλοβράσια	B	58	69	42	31	85	6,43	14,60	8,24	214	1,87	4,26	2,40	62
Μυτιλάκης	B	58	69	42	31	85	6,43	14,60	8,24	202	1,87	4,26	2,40	59
Πατάραγαλακας*	B	58	69	42	31	85	6,43	14,60	8,24	115	1,87	4,26	2,40	34
Πάχονα	B	58	69	42	31	85	6,43	14,60	8,24	317	1,87	4,26	2,40	92
Πλάθινα	ΒΑ	57	68	43	32	122	6,22	14,14	7,97	486	1,39	3,17	1,79	109
Πολωνία	A	20	15	80	85	58	5,31	12,06	6,80	109	0,95	2,16	1,22	20
Σφακιανικό*	B	58	69	42	31	85	6,43	14,60	8,24	124	1,87	4,26	2,40	36
Φαρματιστάσιος	ΒΑ	51	55	49	45	39	4,12	9,36	5,28	127	1,03	2,35	1,33	32
<b>Νότια Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Κυριακή	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	81	1,69	3,85	2,17	21
Αν. Σύστης	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	441	1,69	3,85	2,17	56
Παλασχωρή	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	59	1,69	3,85	2,17	15
Προβάσι	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	466	1,69	3,85	2,17	119
Πονκρόδο	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	123	1,69	3,85	2,17	31
Ραμπίλακα	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48	136	1,69	3,85	2,17	35
Σέβρινα	N	22	12	78	88	138	6,62	15,04	8,48					
<b>Ανατολικά Προσανατολισμένες</b>														
Βούδια	ΝΑ	13	5	87	95	368	6,51	14,80	8,34	92	2,39	5,44	3,07	34
Θεορρυχία	A	20	15	80	85	58	5,31	12,06	6,80	44	0,95	2,16	1,22	8
<b>Δυτικά Προσανατολισμένες</b>														
Αν. Ιωάννης	ΒΑ	57	68	43	32	80	6,23	14,16	7,99	220	1,13	2,57	1,45	40
Αγκάθια	ΝΑ	25	18	75	82	655	6,35	14,45	8,14	244	4,05	9,22	5,19	156
Τριπόδες	ΝΑ	25	18	75	82	655	6,35	14,45	8,14	265	4,05	9,22	5,19	169
<b>Εντός κόλπου</b>														
Αν. Δημήτριος	ΒΑ	51	55	49	45	2,3	1,06	2,39	1,36	16	0,27	0,60	0,34	4
Αλυκές	ΒΑ	57	68	43	32	70	5,83	13,25	7,48	321	1,05	2,40	1,35	58
Αχιβάδα/Μυη	ΒΑ	51	55	49	45	70	5,83	13,25	7,48	254	1,05	2,40	1,35	46
Ευτροπέο	ΒΑ	51	55	49	45	3,7	1,34	3,04	1,72	34	0,34	0,76	0,43	9
Κάλη	ΝΑ	25	18	75	82	3,5	1,30	2,96	1,67	33	0,30	0,67	0,38	8
Λαγκαδά	N	22	12	78	88	2,2	0,88	2,00	1,70	39	0,27	0,62	0,35	8
Παπικάνο	N	22	12	78	88	2,2	0,88	2,00	1,70	39	0,27	0,62	0,35	8
Φαειούρα	ΒΑ	57	68	43	32	4,1	1,41	3,20	1,81	95	0,32	0,73	0,41	22

\* Ειδικής κατηγορίας παραλίες

\*\*  $H_s$ : Σημαντικό ύψος κύματος σε συνθήκες βαθιών νερών,  $h_c$ : Μέγιστο βάθος κινητοποίησης τζημάτων πυθμένα (closer depth),  $d_b$ : Βάθος θραύσης κυμάτων

\*\*\*  $S_b$ : Απόσταση ζώνης θραύσης από ακτογραμμή

Η μέση κλίση του χερσαίου τμήματος των παραλιών είναι από 1% έως 6%. Εξαιρέση αποτελεί η παραλία Τσιγκράδο (8%) η οποία όμως βρίσκεται μπροστά από απότομο γκρεμό τροφοδοτούμενη περιοδικά από ορυχείο της S&B. Το μέγιστο υψόμετρο του χερσαίου τμήματος των παραλιών κυμαίνεται από 0,3 έως 1,9 m. Η δε μέση κλίση του υποθαλάσσιου τμήματος των παραλιών κυμαίνεται από 2% έως 12%, με τις Α-πρ παραλίες να έχουν τις μεγαλύτερες κλίσεις (9%-12%). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η απόσταση της ακτογραμμής από την ισοβαθή των 2m. ("τα άπατα") να κυμαίνεται από 13 έως 122 m. Όπως είναι φυσικό, οι Α-πρ παραλίες είναι οι πλέον βαθιές, με αποστάσεις 13-22 m (Πίνακας 1).

Από ακτογραφικής σκοπιάς 5 από τις παραλίες της Μήλου είναι προέκταση παράκτιων αλλουβιακών πεδιάδων, οι 12 σχετίζονται με κοιλάδες ποταμοχειμάρρων, οι 6 βρίσκονται μπροστά από ομαλούς κρημνούς (κλίσεις <40°), ενώ οι 7 αναπτύσσονται στον πόδα απότομων κρημνών (κλίσεις >80°). Χαρακτηριστικό είναι ότι οι Ν-πρ παραλίες βρίσκονται μπροστά από κρημνούς, ενώ οι Β-πρ χαρακτηρίζονται από ήπιο ανάγλυφο της ενδοχώρας. Οι παραλίες Φυριπλάκα, Τσιγκράδο, Αγκάθια, Βούδια και Θειορυχία αναπτύσσονται και επηρεάζονται από μεταλλευτικές δραστηριότητες του νησιού. Ιδιαίτερα η παραλία Φυροπόταμος δημιουργήθηκε το 1983 από υλικά εκμετάλλευσης (κυρίως περλίτη) τα οποία προσήλθαν μαζί με ύστερα από πλημμύρα του ποταμοχειμάρρου που καταλήγει στη παραλία αλλά και από περιοδικές κατολισθήσεις του παρακείμενου κρημνού στο Νότιο άκρο της (Πίνακας 1).

Από τις εξεταζόμενες παραλιακές ζώνες, εμφάνιση παράκτιων θινών έχουμε στις Β-πρ παραλίες: Αλογόμανδρα, Μύτακας, Πάχαινα, Πλάθινα και Πολλώνια, στις ΚΜ παραλίες: Αλύκες, Αχιβαδολίμνη, Παπικινού και Φατούρενα, στις Ν-πρ παραλίες έχουμε μόνο στην παραλία Αγ. Κυριακή, ενώ στις Α-πρ και Δ-πρ παραλίες δεν έχουμε σαφή εμφάνιση θινών (Πίνακας 1).

### 3.2 Ιζηματολογικά χαρακτηριστικά

Σχετικά ομοιόμορφη κοκκομετρική σύσταση παρουσιάζουν οι Β-πρ παραλίες έχοντας χαλικούχο άμμο (gS), οι Ν-πρ παραλίες με ελαφρά χαλικούχο άμμο ((g)S), οι Δ-πρ παραλίες, όπου επικρατεί η άμμος (S) και οι Α-πρ παραλίες οι οποίες συνίστανται κυρίως από χαλικούχο (G) υλικό. Αντίθετα, οι παραλίες μέσα στο Κόλπο της Μήλου (ΚΜ) χαρακτηρίζονται από ποικιλία κοκκομετρικών μεγεθών (από 0,6-3.9mm) (Πίνακας 1).

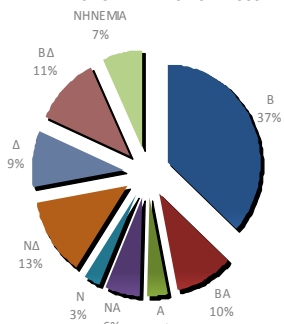
### 3.3 Ανεμολογικά - κυματικά χαρακτηριστικά

Η συχνότητα της εντάσεως των ανέμων (%) σε ετήσια και θερινή περίοδο από παρατηρήσεις το χρονικό διάστημα 1955-2001 δίνεται στο σχήμα 3. Σε ετήσια κλίμακα επικρατούν οι Β άνεμοι με ποσοστό 37% και ακολουθούν οι ΝΔ, ΒΔ και ΒΑ άνεμοι με ποσοστά 13%, 11% και 10% αντίστοιχα. Οι άνεμοι των υπόλοιπων διευθύνσεων εμφανίζονται με ποσοστό <10%, ενώ οι νηνεμίες καλύπτουν ποσοστό 7%. Τη θερινή (τουριστική) περίοδο επικρατούν οι Β άνεμοι με ποσοστό 43% και ακολουθούν οι ΒΔ και ΒΑ άνεμοι με ποσοστά 16% και 10% αντίστοιχα, με τους ανέμους των υπόλοιπων διευθύνσεων να εμφανίζονται με ποσοστά <10% και τις νηνεμίες να καλύπτουν ποσοστό 8%. Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι κατά τους θερινούς μήνες οι Ν-πρ παραλίες είναι οι ασφαλέστερες για κολύμβηση ενώ οι Β-πρ είναι καταλληλότερες για θαλάσσια σπορ (π.χ. ιστιοσανίδα) (Πίνακας 2).

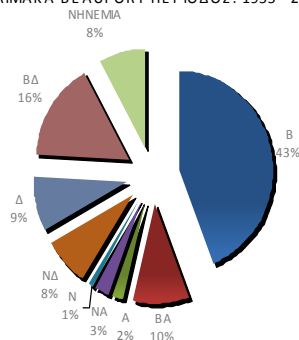
Η απόσταση ανάπτυξης κυματισμού (fetch) στη κύρια διεύθυνση ανέμου κυμαίνεται από 35 έως 655 km εξαιρέση αποτελούν οι ΚΜ παραλίες, όπου η τιμή του 'fetch' είναι φυσικά πολύ μικρότερη (2,3-5,4 km) εκτός από τις παραλίες Αλυκές και Αχιβαδολίμνη, όπου η τιμή του 'fetch' φτάνει τα 70 km, καθώς είναι προσανατολισμένες (ΒΔ) προς το ανοιχτό μέρος του κόλπου της Μήλου. Η μέγιστη τιμή των 655 km αφορά τις παραλίες Αγκάθια και Τριάδες, όπου όντας στη Δυτική πλευρά του νησιού έχουν ΝΔ προσανατολισμό με το (fetch) νάα φτνει έως η Λιβύη (Πίνακας 2).

Σε περιπτώσεις μέγιστου κυματισμού το σημαντικό ύψος κύματος σε συνθήκες βαθιών νερών ( $H_s(m)$ ) ξεπερνά τα 6 m, φθάνοντας το μέγιστο ύψος κύματος που έχει εμφανιστεί στο Αιγαίο. Προφανώς, στις ΚΜ παραλίες η τιμή του  $H_s(m)$  είναι σαφώς μικρότερη, κυμαινόμενη μεταξύ 1,1 και 1,6 m. Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης ιζημάτων πυθμένα από τη κυματική δράση (closer depth,  $h_c$ ) είναι μεταξύ 2,4m και 15 m, ενώ το βάθος θραύσης κυμάτων ( $d_b$ ) σε όλες τις παραλίες εκτός του Κόλπου της Μήλου και των παραλιών του Κόλπου Αλικές και Αχιβαδολίμνη είναι 6,80 - 8,5 m. Στις υπόλοιπες ΚΜ παραλίες είναι της τάξης των 2 m. Αναλογικά, η απόσταση της ζώνης θραύσης των υψηλότερων κυμάτων από την ακτογραμμή κυμαίνεται από 16 m (στις βαθιές) μέχρι και 466 m (στις πολύ ρηχές) (Πίνακας 2).

ΕΤΗΣΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (%) ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΒΕΑUFORT ΠΕΡΙΟΔΟΣ: 1955 - 2001



ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (%) ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΘΕΡΙΝΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΑΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΒΕΑUFORT ΠΕΡΙΟΔΟΣ: 1955 - 2001



Σχήμα 3. Συχνότητα εντάσεως ανέμων ανά διεύθυνση

Σε συνθήκες μέσου σημαντικού ύψους κύματος (εκφρασμένου από το σταθμικό των μέσο) το σημαντικό ύψος κύματος σε συνθήκες βαθιών νερών ( $H_s(w)$ ) δεν ξεπερνάει τα 4,05m με το μέγιστο βάθος κινητοποίησης ιζημάτων πυθμένα ( $h_c$ ) να είναι μεταξύ 0,60m και 9,2m, το βάθος θραύσης κυμάτων ( $d_b(w)$ ) στις εξωτερικές παραλίες (B-N-A-Δ πρ.) και σε Αλικές και Αχιβαδολίμνη να είναι από 1,2m μέχρι 5,2 m και στις ΚΜ παραλίες <0,60 m. Αντίστοιχα, η απόσταση ζώνης θραύσης των από την ακτογραμμή ( $S_b(w)$ ) κυμαίνεται από 4m έως 169m. Σημειώνεται δε ότι οι μέγιστες τιμές σε όλες τις προαναφερόμενες παραμέτρους παρουσιάζονται στις παραλίες Αγκάθια και Τριάδες (Πίνακας 2).

3.4 Στατιστική επεξεργασία χαρακτηριστικών των παραλιών

Η στατιστική των επεξεργασία των επιμέρους χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων παραλιακών ζωνών με τη μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης έδειξε ότι 5 είναι οι κύριοι παράγοντες που ερμηνεύουν το 77,18% της ολικής μεταβλητότητας (Πίνακας 3).

Σύμφωνα με τον παράγοντα 1 έχουμε θετική συσχέτιση του πλάτους του χερσαίου τμήματος της παραλίας με την μέγιστη απόσταση ανάπτυξης κυματισμού, ενώ με βάση τον παράγοντα 2 έχουμε θετική συσχέτιση του πλάτους του υποθαλάσσιου τμήματος της παραλίας με την απόσταση της ακτογραμμής από την ισοβαθή των 2m και τη ζώνη θραύσης του μέγιστου κύματος. Οι παραπάνω παράγοντες συσχετίζονται αρνητικά, όπως αναμενόταν, με την μέση κλίση του υποθαλάσσιου τμήματος της παραλίας. Σύμφωνα με τον παράγοντα 3 έχουμε θετική συσχέτιση του μήκους της ακτογραμμής με το μέγιστο υψόμετρο του χερσαίου τμήματος της παραλίας που συνδέεται και με την παρουσία αμμοθινών. Ο παράγοντας 4 μας δείχνει θετική συσχέτιση των παραγόντων που αφορούν το σημαντικό ύψος κύματος (σε συνθήκες βαθιών νερών) το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα, όπως και με τα αντίστοιχα βάθη θραύσης των κυμάτων να τα μέγιστα προσερχόμενα κύματα.

Τέλος, σύμφωνα με τον παράγοντα 5 βλέπουμε καλή συσχέτιση μεταξύ των ποσοστών έκθεσης των παραλιών σε ανέμους στη κύρια διεύθυνσης της ετήσιας και θερινής περιόδου (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης (factor analysis) με 5 κύριους παράγοντες

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Μήκος ακτογραμμής (m)	-0.09	-0.09	0.70	0.11	0.12
Πλάτος χερσαίου τμήματος (m)	0.73	0.07	0.50	-0.02	-0.15
Μέση κλίση χερσαίου τμήματος (%)	-0.31	0.05	-0.07	0.13	0.57
Πλάτος υποθαλάσσιου τμήματος (m)	0.22	0.82	0.12	0.40	-0.20
Μέση κλίση υποθαλάσσιου τμήματος (0-5m) (%)	-0.04	-0.81	-0.06	0.21	0.32
Μέγιστο υψόμετρο χερσαίου τμήματος (m)	-0.01	0.10	0.76	0.19	-0.21
Διεύθυνση ακτογραμμής	0.07	0.44	0.58	-0.08	-0.01
Απόσταση (m) ακτογραμμής από ισοβαθή 2m	0.01	0.86	0.25	-0.18	-0.22
Κοκκομετρικός χαρακτηρισμός ιζήματος κατά Folk (1974)	0.27	0.37	0.02	0.15	0.04
Mz (mm)	-0.05	-0.22	-0.01	-0.19	0.05
Γεωμορφές ενδοχώρας	-0.04	-0.16	-0.54	0.59	0.17
Θίνες	-0.14	0.22	0.75	-0.03	-0.33
Κύριος άνεμος που είναι εκτεθειμένη η παραλία	0.12	0.42	0.41	0.19	-0.51
ετήσιο (%)	-0.23	0.32	0.07	-0.01	-0.86
θερινό (%)	-0.21	0.31	0.10	0.00	-0.87
fetch	0.95	0.07	-0.09	0.12	0.19
$H_s$ (m)	0.39	0.10	0.11	0.89	0.00
$h_c$ (m)	0.39	0.10	0.11	0.89	0.00
$d_b$ (m)	0.39	0.10	0.11	0.89	0.00
$S_b$ (m)	0.18	0.81	0.04	0.44	-0.12
$H_s$ (w)	0.90	0.08	-0.10	0.39	0.05
$h_c$ (w)	0.90	0.08	-0.10	0.39	0.05
$d_b$ (w)	0.90	0.08	-0.10	0.39	0.05
$S_b$ (w)	0.73	0.61	-0.08	0.19	-0.10
Expl.Var	5238326	4007389	2870965	3827262	2581314
Prp.Totl	0.22	0.17	0.12	0.16	0.11

### 3.5 Χρησιμότητα παραλιών

Από τις 30 παραλιακές ζώνες που μελετήθηκαν, οι περισσότερες τουριστικές είναι όλες οι Ν-πρ παραλίες με εξαίρεση την παραλία του Αγ. Σώστη και οι παραλίες Παπάφραγκας, Σαρακινικό, Φυροπόταμος, Αχιβαδόλιμνη και Παπικινού (βλέπε Σχ. 1).

Το οδικό δίκτυο της Μήλου καλύπτει όλες τις παραλίες του νησιού εκτός από τις παραλίες Αγ. Δημήτριος και Κλέφτικο, όπου η πρόσβαση είναι δυνατή μόνο από τη θάλασσα. Πλήρως ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο καλύπτει όλες τις Β-πρ παραλίες, όπως και τις παραλίες Αγ. Σώστης, Παλαιοχώρι, Προβατάς, Βούδια, Αλυκές, Αχιβαδόλιμνη, Κλήμα, Λαγκάδα και Παπικινού. Μερικώς ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο διαθέτουν οι παραλίες Αγ. Κυριακή, Τσιγκράδο, Φυριπλάδα, Εμπορείο και Φατούρενα. Ειδικά δε για την παραλία Τσιγκράδο πρέπει να αναφέρουμε ότι η πρόσβαση στην παραλία δυσκολεύει περισσότερο αφού απαιτείται κατάβαση σε απότομο κρημνό με τη χρήση ανεμόσκαλας. Η πρόσβαση σε όλες τις Δ-πρ παραλίες και για την παραλία Θειορυχεία είναι πολύ δύσκολη μέσω των υφιστάμενων χωματόδρομων.

Οι παραλίες που βρίσκονται πλησίον οικισμού είναι οι Πολλώνια, Φυροπόταμος, Εμπορείο, Κλήμα και Παπικινού, ενώ η παραλία Λαγκάδα βρίσκεται δίπλα από το λιμάνι του Αδάμαντα.

Ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις υπάρχουν στις παραλίες Πολλώνια, Παλαιοχώρι, Προβατάς, Αχιβαδολίμνη (camping), Κλήμα, Λαγκάδα και Παπικινού. Χώρους εστίασης και αναψυχής διαθέτουν οι παραλίες Μανδράκια, Μύτακας, Πάχαινα, Πολλώνια, Φυροπόταμος, Αγ. Κυριακή, Αγ. Σώστης, Παλαιοχώρι, Προβατάς, Φυριπλάκα, Αχιβαδολίμνη, Εμπορείο και Παπικινού. Τέλος, μαρίνες διαθέτουν οι παραλίες Αγ. Κωνσταντίνος, Πολλώνια, Φυροπόταμος, Εμπορείο, Κλήμα, Λαγκάδα και Παπικινού (Πίνακας 1).

#### 4. Συμπεράσματα

Κατά μήκος της ακτογραμμής της Μήλου αναγνωρίστηκαν 30 κύριες παραλιακές ζώνες με μήκη από 55 έως 1210m. και πλάτη έως 60m. Γενικά, οι περισσότερες παραλιακές ζώνες χαρακτηρίζονται ως αμώδεις με μικρό ποσοστό χαλικιών τα οποία συναντώνται κυρίως στο μέτωπό τους. Με εξαίρεση τις παραλίες Θειουρχεία (12%) και Αγ. Κυριακή (11%) το υποθαλάσσιο ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από κλίσεις  $\leq 9\%$ . Τα συχνότερα κύματα προσεγγίζουν από Β με συνήθη ύψη μικρότερα του 1,5 m ενώ τα μεγαλύτερα κύματα από ΝΔ με ύψη μεγαλύτερα των 6m. Η στατιστική επεξεργασία με τη μέθοδο της παραγοντικής ανάλυσης έδειξε θετική συσχέτιση του πλάτους του χερσαίου τμήματος της παραλίας με την μέγιστη απόσταση ανάπτυξης κυματισμού και του μήκους της ακτογραμμής με το μέγιστο υψόμετρο της παραλίας (χερσαίο τμήμα) που συνδυάζεται και με την παρουσία αμμοθινών. Οι περισσότερο τουριστικά αναπτυγμένες παραλίες είναι οι Νότια προσανατολισμένες γιατί είναι προστατευμένες από το επικρατούντες Β ανέμους, όπως και οι παραλίες Παπάφραγκας, Σαρακίτικο, Φυροπόταμος, Αχιβαδολίμνη και Παπικινού. Η πρόσβαση από στεριά είναι αδύνατη μόνο στη περίπτωση των παραλιών Κλέφτικο και Αγ. Δημήτριος και ιδιαίτερα δύσκολη στη περίπτωση των Δυτικά προσανατολισμένα παραλιών και της παραλίας Θειουρχεία.

#### Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς και ιδιαίτερα ο κ. Σ. Πούλος επιθυμεί να εκφράσει τις ευχαριστίες του στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Καποδίστριας του ΕΚΠΑ (70/4/7818) για κάλυψη μέρους των εξόδων συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων.

#### Βιβλιογραφία

- Λεοντάρης, Σ.Ν., 1995: *Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Πούλος Σ.Ε., 2001: *Εφαρμοσμένη ωκεανογραφία και περιβάλλον*. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας- Κλιματολογίας.
- Folk P.L., 1974: *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas.
- <http://www.milos-island.gr/index.gr.html>

## ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΟΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΠΟΥ ΕΚΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ

Γουρδουμπάς Ι., Πούλος Σ., Νάστος Π., Μαρουκιάν Χ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, Αθήνα 15487.*

### Περίληψη

Η υδρολογική λεκάνη της Βόρειας Πελοποννήσου που αποστραγγίζεται στο Κορινθιακό Κόλπο περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής 15 κύριων ποταμών έχοντας συνολική έκταση 1754km<sup>2</sup>. Στο σύνολό της αποτελείται κυρίως από Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις (54,28%) και από ασβεστολίθους της ζώνης Ωλονού-Πίνδου άνω Τριαδικής ηλικίας (20,47%) ενώ υπόκειται σε έντονη νεοτεκτονική ρηξιγενή δραστηριότητα, με μεγάλης κλίμακας ενεργά, κανονικά ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης. Το κλίμα της χαρακτηρίζεται ως θαλάσσιο μεσογειακό με μέση ετήσια θερμοκρασία ατμόσφαιρας 16,7°C και μέσο ετήσιο ύψος βροχής περί τα 800mm.

Το σύνολο των υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης της Βόρειας Πελοποννήσου όπως αυτό προκύπτει με την μέθοδο των πολυγώνων Thiessen είναι  $P=1473,38 \cdot 10^6 \text{m}^3$ , η εξάτμιση είναι  $E=43,3 \cdot 10^6 \text{m}^3$  (2,94%), η επιφανειακή απορροή  $R=990,87 \cdot 10^6 \text{m}^3$  (67,25%) με τη κατείσδυση (I) να αντιπροσωπεύει το εναπομείναν 29,81%. Η δε μέση στερεοπαροχή του συνόλου της υδρολογικής λεκάνης της Β. Πελοποννήσου εκτιμήθηκε ότι είναι της τάξης των  $0,3-1,9 \cdot 10^6$  τόνων ετησίως.

### A STUDY OF THE WATER AND SEDIMENT FLUXES OF THE RIVERS OF THE NORTH PELOPONNESOS WHICH DISCHARGE INTO KORINTHIAKOS GULF

Gourdoumpas I., Poulos S., Nastos P., Maroukian X.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis – Zografou, Athens 15784*

### Abstract

The hydrologic basin of Northern Peloponnesus, which drain into Korinthiakos Gulf, includes the catchments of 15 major rivers (Aspropotamos, Asopos, Sithas, Fonissa, Skoupeikos, Dervenios, Krios, Krathis, Pountas, Vouraikos, Kerinitis, Selinountas, Meganitis, Foinix, Bolinaios) having a total area of 1754 km<sup>2</sup>. It consists mainly of Pleio-Pleistocene deposits Pt (54,3%) and limestones (Kpo) of Upper Triassic age (20,5%). Its climate is of marine Mediterranean type with a mean annual temperature and precipitation of 16,7°C and 792,2mm, respectively. The total volume of rainwater (P) which falls annually on the hydrologic basin of the Northern Peloponnesus, estimated with the use of Thiessen polygonal, accounts 1473,4·10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, with the evaporation (E) to be 43,3·10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> (2,9%). The surface river flow (R) is estimated to be 990,87·10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> per year (67,2%), whilst the infiltration (I) represents the remaining 29,8% of the rainwater (P). The annual flux of suspended sediment is estimated to be in between 0,3 and 1,9 million tones per year.

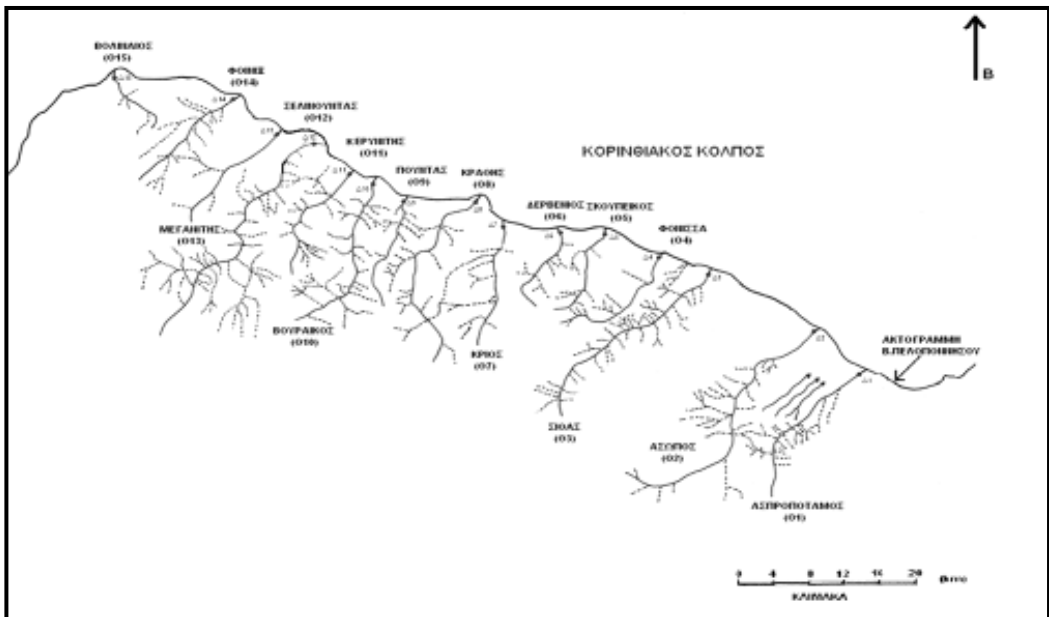
**Λέξεις κλειδιά:** υδρολογικός κύκλος, στερεοπαροχή, ποτάμια Β. Πελοποννήσου.

**Key words:** water budget, sediment flux, rivers of N. Peloponnesos.

### 1. Εισαγωγή

Η γεωλογική δομή της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής της Βόρειας Πελοποννήσου ανήκει στην ενότητα Ωλονού-Πίνδου που σαν τυπικό τεκτονικό κάλυμμα υπέρκειται της ενότητας Γαβρόβου-Τριπόλεως, ενώ κατά μήκος των ακτών της περιοχής μελέτης κυριαρχούν μεταλλικοί σχηματισμοί οι οποίοι έχουν καλύψει τις παραπάνω τεκτονικές ενότητες. Οι Βόρειες ακτές της Πελοποννήσου χαρακτηρίζονται από έντονη νεοτεκτονική ρηξιγενή δραστηριότητα με μεγάλης κλίμακας ενεργά κανονικά ρήγματα διεύθυνσης περίπου παράλληλη προς την ακτογραμμή ΔΒΔ-ΑΝΑ τα οποία σχετίζονται με ανοδικές κινήσεις που έχουν ρυθμό που υπερβαίνει το 1mm/year (Armiijo et al. 1996, Zelelidis, 2000).

Η γεωμορφολογία της Βόρειας Πελοποννήσου χαρακτηρίζεται από συμπαγές ορεινό ανάγλυφο με περιορισμένες πεδινές εκτάσεις και πολύ πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο το οποίο όμως έχει την ιδιαιτερότητα να μην σχηματίζονται μεγάλοι ποταμοί αλλά πάρα πολλά εποχιακά ρέματα. Ειδικότερα, η υδρολογική λεκάνη της Βόρειας Πελοποννήσου που αποστραγγίζεται στο Κορινθιακό Κόλπο περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής 15 κύριων ποταμών (Σχήμα 1), των οποίων τα βασικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά δίνονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 1. Το υδρογραφικό δίκτυο της Βόρειας Πελοποννήσου.

Πίνακας 1. Επιφάνεια απορροής (Α), μήκος κύριου κλάδου (L), μέγιστο υψόμετρο (Υ) και μέση κλίση της λεκάνης απορροής των 15 ποταμών της Βόρειας Πελοποννήσου που εκβάλλουν στον Κορινθιακό Κόλπο.

α/α	Όνομα	A (km <sup>2</sup> )	L(km)	Υ(m)	S
1	Ασπροπόταμος	123,13	24,0	1000	0,04
2	Ασωπός	243,75	34,5	1600	0,05
3	Σίθας	151,25	27,0	2375	0,09
4	Φόνισσα	46,88	18,5	1600	0,09
5	Σκουπέικος	62,50	13,5	1600	0,12
6	Δερβένιος	56,25	12,0	1200	0,10
7	Κριός	87,50	17,5	1600	0,09
8	Κράθης	143,75	29,5	2350	0,08
9	Πούντας	43,75	16,0	1600	0,10
10	Βουραϊκός	215,61	28,0	1600	0,06
11	Κερυνίτης	73,75	21,0	1600	0,08
12	Σελινούντας	325,00	37,5	2200	0,06
13	Μεγανίτης	67,19	16,0	1400	0,09
14	Φοίνιξ	85,16	18,0	1925	0,11
15	Βολινάιος	28,59	10,0	1400	0,14
		<b>1754,06</b>			

Το κλίμα στο νομό είναι εύκρατο Μεσογειακό (ύφυγρο) χωρίς σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα στις παράκτιες περιοχές επικρατεί ο θαλάσσιος μεσογειακός τύπος, στο μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού ο χερσαίος Μεσογειακός, ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα ο ορεινός τύπος κλίματος (Παγώνης, 1990). Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στα πεδινά και παράκτια τμήματα είναι περί τους 17-18 βαθμοί °C, ενώ είναι αισθητά χαμηλότερη στα ορεινά συγκροτήματα. Η μέση ετήσια τιμή της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται μεταξύ 67% και 70%, η δε ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 703 mm (παράκτια) μέχρι και τα 878 mm στα ορεινά.

Με βάση το γεγονός ότι για τα περισσότερα ποτάμια της Β. Πελοποννήσου δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις τόσο της υδατοπαροχής των όσο και της στερεοπαροχής των, στην εργασία αυτή επιχειρείται μια εκτίμηση του ετήσιου όγκου του επιφανειακά ρέοντος νερού με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα, όπως επίσης και του όγκου των φερτών υλικών των ποταμών μέσω υφιστάμενων εξισώσεων συσχέτισης της βροχόπτωσης και του εμβαδού της λεκάνης απορροής.

## 2. Μεθοδολογία

Τοπογραφικές πληροφορίες προέκυψαν από την επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. (τοπογραφικά φύλλα Αίγιο, Δερβένιο, Ξυλόκαστρο, Κόρινθος, Ναύπακτος, Αμυγδαλέα, και Περαχώρας), ενώ η επιφανειακή λιθολογία εξήχθη από τον Σεισμοτεκτονικό Χάρτη του ΙΓΜΕ (έκδοσης 1989), κλίμακας 1:500.000.

Για τη μελέτη του υδρολογικού ισοζυγίου της υδρολογικής λεκάνης της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα 19 σταθμών της Βόρειας Πελοποννήσου (Πίνακας 2). Οι τιμές είναι οι μέσες μηνιαίες για το διάστημα 1965-1994 με εξαίρεση το σταθμό στα Σκουπέικα που αφορά το διάστημα 1974-1994.



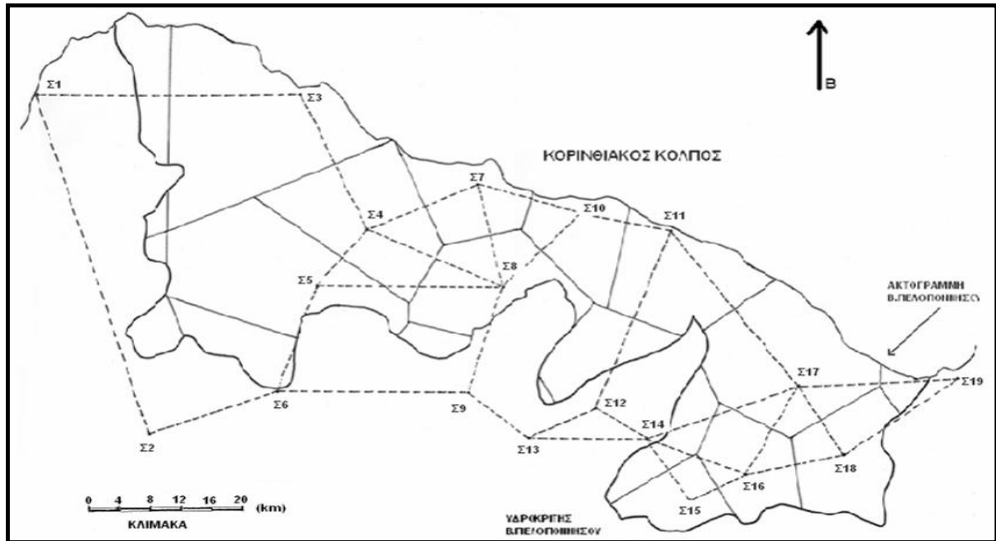
Πίνακας 2. Γεωγραφική θέση, υψόμετρο, ύψος βροχόπτωσης και υπεύθυνος φορέας των βροχομετρικών σταθμών της Βόρειας Πελοποννήσου.

ΟΝΟΜΑ	Γεωγρ. μήκος	Γεωγρ. πλάτος	Υψόμετρο (Μ)	Ύψος βροχής (ΜΜ)	Φορέας
Πάτρα	21°44'	38°15'	1	666,1	ΕΜΥ
Τριτοπόταμος	21°54'	37°52'	550	1058,0	ΥΠΔΕ
Αίγιο	22°05'	38°15'	64	673,5	ΕΜΥ
Κ.Ζαχλωρούς	22°10'	38°06'	663	1372,0	ΥΠΔΕ
Καλάβρυτα	22°06'	38°02'	731	892,7	ΕΜΥ
Καστέλι	22°03'	37°55'	817	1246,0	ΥΠΔΕ
Ακράτα	22°19'	38°09'	160	867,6	ΥΠΔΕ
Περιθώρι	22°21'	38°02'	940	946,5	ΔΕΗ
Φενεός	22°18'	37°55'	850	905,8	ΥΠΔΕ
Σκουπέικα	22°27'	38°07'	90	534,8	ΥΠΓΕ
Καμάρι	22°34'	38°06'	10	469,9	ΥΠΓΕ
Μπουζί	22°28'	37°54'	1000	907,9	ΥΠΔΕ
Καστανιά	22°23'	37°52'	989	921,0	ΥΠΔΕ
Ψαρί	22°32'	37°52'	821	703,5	ΥΠΔΕ
Λεόντιο	22°36'	37°48'	320	741,3	ΥΠΔΕ
Νεμέα	22°40'	37°50'	289	639,4	ΥΠΔΕ
Χάλκειο	22°44'	37°53'	250	584,7	ΥΠΔΕ
Σπαθοβούνι	22°48'	37°51'	140	488,0	ΥΠΔΕ
Κόρινθος	22°57'	37°56'	15	434,5	ΕΜΥ

ΕΜΥ: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία ΥΠΔΕ: το Υπουργείο Δημοσίων Έργων, ΔΕΗ: Δημόσια Υπηρεσία Ηλεκτρισμού και ΥΠΓΕ: Υπουργείο Γεωργίας

Το υδρολογικό ισοζύγιο δίνεται από την εξίσωση:  $P=E+R+I$ , όπου, P είναι η βροχόπτωση, E η εξατμισοδιαπνοή, R η επιφανειακή απορροή και I η κατείσδυση.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (P) υπολογίστηκαν από τις τιμές της βροχόπτωσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των πολυγώνων του Thiessen (Ward & Elliot, 1995). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή υπολογίζεται ένας συντελεστής επιρροής για κάθε βροχομετρικό σταθμό, που είναι ανάλογος προς την έκταση της περιοχής που είναι πλησιέστερη προς τον συγκεκριμένο σταθμό. Ενώθηκαν οι γειτονικοί βροχομετρικοί σταθμοί με ευθείες γραμμές και χαράχθηκε η μεσοκάθετος τους. Στην συνέχεια, τα σημεία επαφής των μεσοκαθέτων μεταξύ τους και με τον υδροκρίτη της Βόρειας Πελοποννήσου σχημάτισαν πολύγωνα τα οποία αντιπροσωπεύουν την έκταση "επιρροής" καθενός σταθμού ξεχωριστά (Σχήμα 2). Δηλαδή σύμφωνα με την μέθοδο αυτή θεωρούμε ότι το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτει σε ολόκληρη την έκταση κάθε πολυγώνου αντιπροσωπεύεται από τις τιμές που δίνονται από τον αντίστοιχο σταθμό "επιρροής". Τα πολύγωνα αυτά εμβαδομετρήθηκαν και στην συνέχεια υπολογίστηκε ο όγκος του νερού σε κάθε πολύγωνο ξεχωριστά, πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν του με τα ετήσια ύψη βροχής του αντίστοιχου βροχομετρικού σταθμού "επιρροής".



Σχήμα 3. Χάρτης πολυγώνων Thiessen της υδρολογικής λεκάνης της Βόρειας Πελοποννήσου

Η δυνητική εξατμισοδιαπονή (E) δίνεται από την εξίσωση του Thornthwaite:  $E_p = 1,62[10T/I]^a$ ,

όπου  $a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} \times I - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 675 \times 10^{-9} \times I^3$  ενώ η παράμετρος I (το άθροισμα των μηνιαίων δεικτών της δυναμικής εξατμισοδιαπονής) δίνεται από τη σχέση:  $I = (T/5)^{1,514}$  στην οποία T είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα. Οι τιμές της θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Μέσες ετήσιες θερμοκρασίες από σταθμούς της ΕΜΥ.

Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Θερμοκρασία (°C)	Περίοδος μετρήσεων
Αίγιο	64	18,1	1974-1997
Καλάβρυτα	731	12,5	1975-1997
Πατρών	1	17,9	1955-1997
Κορίνθου	15	18,2	1970-1984

Η επιφανειακή απορροή, (R) υπολογίστηκε με βάση τη συσχέτιση των μετρημένων τιμών της ετήσιας υδατοαπορροής επιμέρους λεκανών της Β. Πελοποννήσου ως προς τα αντίστοιχα εμβαδά των (βλέπε ενότητα αποτελεσμάτων). Η δε κατείσδυση (I) προέκυψε ως η διαφορά P-(E+R).

Η ετήσια δυνητική στερεομεταφορά (G) υπολογίστηκε με βάση τη σχέση των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1986):  $G = 15\gamma e^{3P}$ , όπου: G= μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση ( $t/km^2$ ), P= μέσο ετήσιο ύψος βροχής (m) και  $\gamma$  ένας γεωλογικός συντελεστής, όπως ορίζεται από την σχέση  $\gamma = k_1\rho_1 + k_2\rho_2 + k_3\rho_3$  ( $k_1, k_2, k_3$  οι συντελεστές διαβρωσιμότητας και  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  τα αντίστοιχα ποσοστά των). Οι συντελεστές  $k_1, k_2, k_3$  διαμορφώνονται ως εξής:

$k_1 = 1,0$ : υψηλή διαβρωσιμότητα (αλλούβια, φλύσχης)

$k_2 = 0,5$ : μέτρια διαβρωσιμότητα (μάργες, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι)

$k_3 = 0,1$ : χαμηλή διαβρωσιμότητα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορφωμένα, εκρηξιγενή).

Επίσης, ο υπολογισμός του μέσου ετήσιου φορτίου αιωρούμενου ιζήματος της υδρογραφικής λεκάνης της Βόρειας Πελοποννήσου, υπολογίστηκε και με τη χρήση της σχέσης των Roulos et al. (1996), η οποία στηρίζεται σε μετρήσεις από 35 ποτάμια της Ανατολικής Μεσογείου:  $S = 1954 \cdot A^{0.88}$  ( $r^2 = 0,84$ ), όπου S, η ετήσια παροχή αιωρούμενου ιζήματος (σε τόνους t) και A το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε  $km^2$ .

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

#### 3.1 Εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου

Με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία των σταθμών του Πίνακα 2 και με τη χρήση των τριγώνων του Thiessen (Σχήμα 2) υπολογίστηκαν οι ετήσιοι όγκοι νερού κάθε πολυγώνου (Πίνακας 4). Ακολούθως, υπολογίστηκε ο ετήσιος όγκος νερού για τη λεκάνη απορροής των ποταμών της Β. Πελοποννήσου (Πίνακας 5), όπως και ο συνολικός όγκος νερού που δέχεται ετησίως ( $1473,38 \cdot 10^6 m^3$ ).

Πίνακας 4. Ετήσιο ύψος βροχής και όγκος νερού για την περιοχή επιρροής κάθε σταθμού, με βάση τα τρίγωνα Thiessen (βλέπε Σχ. 2).

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΕΜΒΑΔΑ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN (km <sup>2</sup> )	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ (m <sup>3</sup> )
Πάτρα (Σ1)	68,75	666,1	45,79
Τριτοπόταμος (Σ2)	32,50	1058,0	34,39
Αίγιο (Σ3)	306,25	673,5	203,99
Κάτω Ζαχλωρού (Σ4)	187,50	1372,0	257,25
Καλάβρυτα (Σ5)	234,38	892,7	209,23
Καστέλι (Σ6)	71,88	1246	89,56
Ακράτα (Σ7)	92,50	867,6	80,25
Περιθώρι (Σ8)	121,88	946,5	115,35
Φενεός (Σ9)	21,88	905,8	19,81
Σκουπέικα (Σ10)	93,75	534,8	50,14
Καμάρι (Σ11)	148,13	469,9	69,60
Μπούζι (Σ12)	81,25	907,9	73,77
Καστανιά (Σ13)	3,13	921,0	2,88
Ψαρί (Σ14)	62,50	703,5	43,97
Λεόντιο (Σ15)	59,38	741,3	44,01
Νεμέα (Σ16)	96,88	639,4	61,94
Χάλκειο (Σ17)	211,25	584,7	123,52
Σπαθοβούνι (Σ18)	121,88	488,0	59,48
Κόρινθος (Σ19)	12,50	434,5	5,43

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Πίνακας 5) βρέθηκε να κυμαίνεται ετήσια από 1,4 mm/m<sup>2</sup> (Μεγανίτης) μέχρι και 3,7 mm/m<sup>2</sup> (Πούντας), όταν για το σύνολο της υδρολογικής λεκάνης της Β. Πελοποννήσου υπολογίστηκε να είναι 23 mm/m<sup>2</sup> που αντιστοιχεί σε όγκο ίσο με  $44,98 \cdot 10^6 m^3$ .

Ό όγκος του ρέοντος νερού για το σύνολο της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε με βάση τις μετρημένες τιμές 5 ποταμών της Β και ΒΔ Πελοποννήσου (Πίνακας 3) και με τη χρήση της εξίσωσης  $R=0,5649 \cdot A$  ( $10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ ) που προέκυψε από τη συσχέτιση της απορροής ( $R$   $10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  και εμβαδού  $A$  σε  $10^6 \text{ m}^2$ ) (Σχήμα 4). Έτσι προκύπτει ότι ο συνολικός ετήσιος όγκος νερού για τις επιμέρους λεκάνες (Πίνακας 5) των ποταμών και για το σύνολο της λεκάνης απορροής της Β. Πελοποννήσου (περί τα  $991 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ).

Συνολικά, τα  $1754,1 \text{ km}^2$  της λεκάνης απορροής της Β. Πελοποννήσου που αποστραγγίζεται στον Κορινθιακό Κόλπο δέχεται  $1473,38 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  νερού από τη βροχόπτωση, από τα οποία το 2,94% ( $43,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) χάνονται λόγω της εξατμισοδιαπνοής, τα 67,25% ( $990,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) ρέουν επιφανειακά, ενώ το υπόλοιπο 29,8% ( $439,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) αποδίδεται στην κατείσδυση.

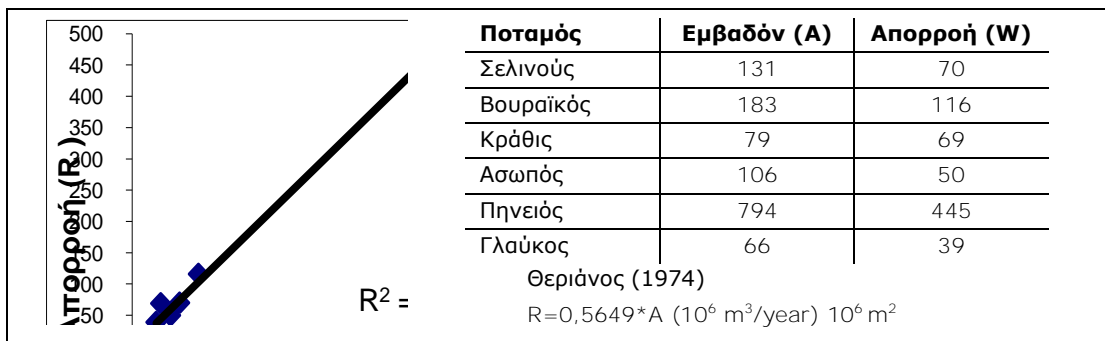
### 3.2. Εκτίμηση της στερεοπαροχής

Η εκτίμηση της παροχής σε αιωρούμενο υλικό του συνόλου της λεκάνης απορροής των ποταμών της Β. Πελοποννήσου με βάση τη εξίσωση των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1986) και έγινε από τον προσδιορισμό του συντελεστή ( $\gamma$ ) της λιθολογίας (βλέπε ενότητα μεθοδολογίας) με βάση τα ποσοστά των λιθολογικών σχηματισμών της (Πίνακας 6).

Την μεγαλύτερη εμφάνιση παρουσιάζει ο σχηματισμός **Pt** που αποτελείται από λιμναίες και θαλάσσιες αποθέσεις (άμμοι, κροκαλοπαγή, άργιλοι, στρώματα τύρφης και λιγνίτη, παράκτιες αναβαθμίδες), ενώ περιλαμβάνονται και ποταμολιμναίες αποθέσεις και ο οποίος καλύπτει έκταση  $884,27 \text{ km}^2$  καταλαμβάνοντας το 54,28% της υδρολογικής λεκάνης της Βόρειας Πελοποννήσου. Τη δεύτερη μεγαλύτερη εμφάνιση έχει σχηματισμός **Kpo** που αποτελείται από ασβεστολίθους της Ζώνης Ολονού-Πίνδου, με  $412,81 \text{ km}^2$  και ο οποίος καταλαμβάνει το 20,47% της Βόρειας Πελοποννήσου.

Πίνακας 5. Οι όγκοι νερού ( $10^6 \text{ m}^3$ ) που αντιστοιχούν στη βροχόπτωση ( $P$ ), την εξατμισοδιαπνοή ( $E$ ) και την επιφανειακή απορροή ( $R$ ) των ποταμών της Βόρειας Πελοποννήσου, που εκβάλλουν στον Κορινθιακό Κόλπο

Ποτάμι	P	E	R
Ασπροπόταμος	85,81	3,05	69,56
Ασωπός	165,75	6,05	137,69
Σίθας	107,39	3,75	85,44
Φόνισσα	37,51	1,16	26,48
Σκουπέικος	49,51	1,55	35,31
Δερβένιος	37,68	1,18	31,78
Κριός	80,85	2,17	49,43
Κράθης	149,07	3,57	81,20
Πούντας	53,73	1,09	24,71
Βουραϊκός	239,33	5,35	121,80
Κερυνίτης	72,28	1,83	41,66
Σελινούντας	273,0	8,06	183,59
Μεγανίτης	45,25	1,67	37,96
Φοίνιξ	57,06	2,11	48,11
Βολιναίος	19,16	0,71	16,15
<b>Σύνολο</b>	<b>1473,38</b>	<b>43,30</b>	<b>990,87</b>



Σχήμα 4. Συσχέτιση μεταξύ εμβαδού και μετρημένων τιμών επιφανειακής απορροής ποταμών της Β και ΒΔ Πελοποννήσου.

Πίνακας 6. Το ποσοστό των λιθολογικών σχηματισμών που καλύπτουν τη λεκάνη απορροής της Βόρειας Πελοποννήσου.

Ποσοστό (%)	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ (ΙΓΜΕ, 1989)								
	Q	F	Pt	Kpo	Ra	N	ph	KTG	Sh
	12,2	3,85	54,28	20,47	3,46	0,51	0,54	4,58	0,03
	7								

**Υπόμνημα:** **Q:** Παράκτιες αναβαθμίδες, προσχώσεις, υλικά του αλλουβιακού μανδύα, ποτάμιες αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα, ριπίδια, θίνες (Αν Πλειστόκαινο-Ολόκαινο), **Pt:** Λιμναίες, θαλάσσιες και ποταμολιμναίες αποθέσεις: άμμοι, κροκαλοπαγή, άργιλοι, παράκτιες αναβαθμίδες (Πλειο-Πλειστόκαινο), **N:** Μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αργιλούχες μάργες, άργιλοι, άμμοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή Νεογενούς και κατά θέσεις Πλειστοκαινικής ηλικίας, **F:** Σχηματισμοί του φλύσχη κυρίως αργιλικό σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τοπικά ενστρώσεις ασβεστολίθων μικρού πάχους, **Kpo:** Ασβεστόλιθοι της Ζώνης Ολονού-Πίνδου, **Ra:** Κερατόλιθοι, σχιστοψαμμίτες, **Sh:** Σχιστοκερατόλιθοι, σχιστοψαμμίτες με οφιολίθους, **KTG:** Σχηματισμοί της Ζώνης Τρίπολης, **KP:** Σχηματισμοί της Υποπελαγονικής Ζώνης, **ph:** Φυλλίτες, χαλαζίτες, παλαιοζωικοί σχιστοψαμμίτες.

Η ετήσια στερεοπαροχή της λεκάνης απορροής του συνόλου των ποταμών που αποστραγγίζουν τη Βόρεια Πελοπόννησο με τη χρήση της εξίσωσης συσχέτισης των Κουτσογιάννης και Τάρλα (1987), η οποία λαμβάνει υπόψη τη λιθολογία και τη βροχόπτωση, εκτιμάται σε 0,3·10<sup>6</sup> τόνους ενώ η εξίσωση των Ρουλος et al. (1996), η οποία λαμβάνει υπόψη της μόνο το εμβαδόν, δίνει 1,9·10<sup>6</sup> τόνους. Μάλιστα οι τιμές αυτές κανονικοποιημένες ως προς το εμβαδόν δίνουν τιμές αντιστοιχώντας σε 144,8 t/km<sup>2</sup> και 1077,5 t/km<sup>2</sup>. Οι τιμές αυτές είναι ανάλογες με αυτές που μετρήθηκαν σε λεκάνες απορροής άλλων Ελληνικών ποταμών (Αλιάκμονας, Άραχθος, Αχελώος, Αώος, Εύηνος, Καλαμάς και Νέστος) και βρέθηκαν να κυμαίνονται μεταξύ 65 t/km<sup>2</sup> και 3950 t/km<sup>2</sup> (Roulos and Chronis, 1997), ενώ οι Milliman and Syvitski (1992) για τα ορεινά ποτάμια της ΝΑ Ευρώπης υπολόγησαν ένα μέσο ετήσιο δυναμικό ιζήματος ίσο με 1.100 t/km<sup>2</sup>. Οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί διάβρωσης ευνοούνται από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες (εύκρατες, υγρές ηπειρωτικές) την σχετικά εύκολη στην διάβρωση λιθολογία, το απότομο ανάγλυφο, και την ιδιαίτερα αραιή φυτοκάλυψη (Roulos et al., 1996). Μάλιστα πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω ποσά αφορούν το εν αιωρήσει υλικό το οποίο για τα ελληνικά ποτάμια αντιπροσωπεύει περίπου τα 2/3 της συνολικής στερεοπαροχής με το υπόλοιπο 1/3 να αντιπροσωπεύει το φορτίο πυθμένα και το εν διαλύσει υλικό (Roulos & Chronis, 1997). Σημειώνεται δε ότι για τα ορεινά ποτάμια

το φορτίο πυθμένα μπορεί να ξεπεράσει και το 30% (Qian and Dai, 1980). Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι η στερεοπαροχή των ποταμών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της ακτογραμμής καθώς διαμορφώνει το ιζηματολογικό ισοζύγιο της παράκτιας ζώνης.

#### 4. Συμπεράσματα

Η υδρολογική λεκάνη της Βόρειας Πελοποννήσου που εκβάλλει στον Κορινθιακό Κόλπο συντίθεται από τις λεκάνες 15 κύριων ποταμών με εποχιακή απορροή, οι οποίες σε μέγεθος κυμαίνονται από 28,6 μέχρι 243,8 km<sup>2</sup>, έχοντας μέγιστα υψόμετρα από 1000 έως και 2375 m με αντίστοιχες κλίσεις από 0,04 (4%) έως και 0,12 (12%). Η συνολική της έκταση ανέρχεται σε 1754,06 km<sup>2</sup>, ενώ σε ετήσια βάση δέχεται περί τα 1473,38·10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> νερού από τη βροχόπτωση από τα οποία εκτιμάται ότι το 2,94% εξατμισοδιαπνέεται, το 67,25% ρέει επιφανειακά και το υπόλοιπο 29,7% κατεισδύει. Η δε παροχή της σε ίζημα (αιωρούμενη φάση) εκτιμάται να είναι της τάξης των 0,3-1,9 10<sup>6</sup> τόνων ανά έτος, τιμές οι οποίες αντιστοιχούν σε μια μέση επιφανειακή διάβρωση 144,5-1077 t/km<sup>2</sup>. Για δε τη συνολική στερεοαπορροή οι τιμές αυτές θα πρέπει να αυξηθούν κατά περίπου το 1/3 των για να συμπεριλάβουν τα ιζήματα που μεταφέρονται κυρίως ως φορτίο πυθμένα και δευτερευόντως, λόγω των μεγάλων τοπογραφικών κλίσεων και του ευδιάβρωτου της λιθολογίας, εν διαλύσει.

#### Βιβλιογραφία

Κουτσογιάννης Δ. και Τάρλα Κ., 1987. Εκτιμήσεις στερεοπαροχής στην Ελλάδα. Τεχνικά Χρονικά Α, Τόμος 7(3): 128-152.

Παγώνης Κ., 1998. Συμβολή στη μελέτη των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Armijo R., Meyer B., King G., Rigo A. and Papanastassiou D., 1996. Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implication for the late Cenozoic evolution of the Aegean. *Geophysical Journal International*, 126 (1): 11-53.

Ward. A.D. & Elliot W.J., 1995. *Environmental Hydrology*, Lewis Publishers, 462 pp.

Milliman J. and Syvitski P., (1992). Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *The Journal of Geology*, 100: 525-544.

Poulos S.E., Collins M., Evans G., 1996. - Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern Alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact. *Z. Geomorphology*, 40(2): 243-261

POULOS, S. & CHRONIS, G., 1997. The Importance of the Greek River Systems in the Evolution of the Greek coastline - In: BRIAND F. & MALDOLADO A. (eds): Transformations and evolution of the Mediterranean coastline. CIESM Science Series no 3, Bulletin de l'Institut oceanographique, Monaco, no 18: 75-96;

Qian N., Dai D.Z., 1980. - The problems of river sedimentation and the present status of its research in China.- *Proc. Int. River Sedimentation*, Chinese Soc. Hydraul. Eng. 1: 1-39.

Therianos A.D., 1974. - The geographical distribution of the river water supply in Greece.- *Bull. Geol. Soc. Greece*, 11: 28-58 (in Greek).

Zeledidis A., 2000. Drainage evolution in a rifted basin, Corinth graben, Greece. *Geomorphology* 35, 69-85.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Καραγιώργος Κ.<sup>1</sup>, Αναστασιάδης Σ.<sup>2</sup>, Μάρης Φ.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Δασολόγος, Μεταπτυχιακός Φοιτητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 193 Πανταζίδου, 68200, Νέα Ορεστιάδα, Ελλάδα, [kkaragio@fmenr.duth.gr](mailto:kkaragio@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup>Δασολόγος, Μεταπτυχιακός Φοιτητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 193 Πανταζίδου, 68200, Νέα Ορεστιάδα, Ελλάδα, [sanastas@fmenr.duth.gr](mailto:sanastas@fmenr.duth.gr)

<sup>3</sup>Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 193 Πανταζίδου, 68200, Νέα Ορεστιάδα, Ελλάδα, [fmaris@fmenr.duth.gr](mailto:fmaris@fmenr.duth.gr)

### Περίληψη

Η προστασία της τεχνηκής λίμνης Πλαστήρα απαιτεί την διατήρηση της υψηλής ποιότητας του φυσικού τοπιού, της ικανοποιητικής ποιότητας νερού και τη διευθέτηση των χρήσεων νερού με ορθολογικές αρχές διευθέτησης. Η δημιουργία του ταμιευτήρα έγινε μετά την κατασκευή τοξωτού φράγματος από σκυρόδεμα στον παραπόταμο Ταυρωπό (Μεγδόβα) του Αχελώου ποταμού κατά την περίοδο 1956-1962. Σκοπός της έρευνας αυτής είναι η εκτίμηση της εδαφικής απώλειας των λεκανών απορροής της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα με βάση την παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation) και τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ) καθώς και η αξιολόγηση της λειτουργίας της λίμνης. Η εδαφική απώλεια στις σημαντικότερες ορεινές λεκάνες απορροής της λίμνης είναι περίπου 55500 tn/a και επηρεάζουν άμεσα την εύρυθμη λειτουργία της.

### SOIL LOSS EVALUATION IN THE WATERSHED OF PLASTIRA USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

Karagiorgos K.<sup>1</sup>, Anastasiadis S.<sup>2</sup>, Maris F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Forester, Democritus University of Thrace. Department of Forestry and Environmental Management and Natural Resources, 193 Pantazidou, 68200, Orestiada, Greece, [kkaragio@fmenr.duth.gr](mailto:kkaragio@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup>Forester, Democritus University of Thrace. Department of Forestry and Environmental Management and Natural Resources, 193 Pantazidou, 68200, Orestiada, Greece, [sanastas@fmenr.duth.gr](mailto:sanastas@fmenr.duth.gr)

<sup>3</sup>Assistant Professor, Democritus University of Thrace. Department of Forestry and Environmental Management and Natural Resources, 193 Pantazidou, 68200, Orestiada, Greece, [fmaris@fmenr.duth.gr](mailto:fmaris@fmenr.duth.gr)

### Abstract

The protection of the artificial lake Plastira requires the conservation in high degree of the quality of natural landscape, satisfactory quantity and quality of water, regulation of contradictory demands and uses of water with national regulations regulation. The Plastira lake formed after the construction of the arch (concrete) dam in the Tauropo (Megdoba) river 1956-1962, which is one of the main tributaries of the Achelooos river. The aim of this research is to estimate the soil loss from the basins drained into the artificial lake of Plastira, with the use of the world equation of soil loss (Universal Soil Loss Equation) and the appropriate tools of GIS. The soil lose of the major mountain watersheds of the Plastira lake

is approximately 55500 tn/a and directly affect the proper functioning of the lake.

**Λέξεις κλειδιά:** Λεκάνη απορροής, φράγμα, παγκόσμια εξίσωση εδαφικής απώλειας, επιφανειακή διάβρωση, σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας.

**Key words:** Watershed, dam, Universal soil loss equation, Geographical Information System, surface erosion.

## 1.Εισαγωγή

Η τεχνητή λίμνη «Πλαστήρα» δημιουργήθηκε με την κατασκευή τοξωτού φράγματος από σκυρόδεμα στον παραπόταμο Ταυρωπό (Μεγδόβα) του ποταμού Αχελώου κατά την περίοδο 1956-1962. Η λίμνη ονομάστηκε επισήμως τεχνητή λίμνη «Ταυρωπού», ενώ αναφέρεται κατά τόπους και ως λίμνη Μένδοβα, αλλά επικράτησε σιγά-σιγά η ονομασία λίμνη «Πλαστήρα», η οποία τελικά επικράτησε και στα δημόσια έγγραφα.

Η λίμνη έχει μέγιστο μήκος 14 km, μέγιστο πλάτος 4 km, μέγιστο βάθος 60 m και χωρητικότητα 400000000 m<sup>3</sup> σε συνολική επιφάνεια 24.000 m<sup>2</sup>. Με ειδικό αγωγό, το νερό της λίμνης μεταφέρεται από το υψόμετρο των 700 m χαμηλά προς τον κάμπο δίνοντας κίνηση στο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο της ΔΕΗ, ισχύος 40 MWH την εβδομάδα.

Στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης των λεκανών απορροής της λίμνης απαιτείται η αξιολόγηση του συνόλου των δασοτεχνικών έργων κατά λεκάνη απορροής και η εκτίμηση της επιφανειακής διάβρωσης με την εξίσωση USLE και την ενσωμάτωση των γεωγραφικών δεδομένων μέσα από την συνεργασία τους με Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ) σε κάθε μια από αυτές. Η χρήση των ΣΓΠ δίνει την δυνατότητα προσομοίωσης στοιχείων του γεωγραφικού χώρου. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται η σύνδεση της γεωγραφικής πληροφορίας με βάση δεδομένων και η ποσοτική εκτίμηση της χωρικής κατανομής όλων των μεταβλητών, που εμπλέκονται στην εκτίμηση της επιφανειακής διάβρωσης.

Σκοπός της εργασίας, είναι η εκτίμηση της επιφανειακής διάβρωσης από υδρομετεωρολογικά και γεωγραφικά δεδομένα, καθώς και ο επιμερισμός της διάβρωσης στις ανάντη υπολεκάνες. Για το σκοπό αυτό συνδυάστηκε η παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation) με τα Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας.

Η περιοχή εφαρμογής του μοντέλου είναι οι πέντε σημαντικότερες λεκάνες απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων της τεχνητής λίμνης «Πλαστήρα». Η συνολική λεκάνη έχει έκταση 92,4 km<sup>2</sup> και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς υδατικών πόρων.

## 2.Περιοχή Έρευνας

Η Περιοχή μελέτης ορίζεται από τη λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης «Πλαστήρα», η οποία βρίσκεται 18 km δυτικά της πόλης Καρδίτσας και δημιουργήθηκε με την κατασκευή τοξωτού φράγματος από σκυρόδεμα στον παραπόταμο Ταυρωπό (Σχήμα 1). Το υδρογραφικό δίκτυο της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα περιλαμβάνει πέντε σημαντικά χειμαρρικά ρεύματα (Πίνακας 1, Χάρτης 2).

*Πίνακας 1. Τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής*

α/α	Όνομασία ρεύματος	χειμαρρικού	H <sub>min</sub>	H <sub>max</sub>	DH	L	F
						(km)	(km <sup>2</sup> )
1	Καριτσιώτης		800	1900	1100	11,69	51,5
2	Νεοχώριο		800	1200	400	2,85	3,47
3	Μπεζάγιας		800	1300	500	3,65	4,2
4	Μεγ. Ποτάμι		800	1800	1000	9,81	26,49
5	Κερασιώτη		800	1300	500	4,48	6,74



Όπου  $H_{min}$ : το ελάχιστο υψόμετρο κεντρικής κοίτης,  $H_{max}$ : το μέγιστο υψόμετρο κεντρικής κοίτης,  $DH$ : η υψομετρική διαφορά κεντρικής κοίτης,  $L$ : το συνολικό μήκος κεντρικής κοίτης,  $F$ : το εμβαδόν υπολεκάνης



Σχήμα 1. Η περιοχή έρευνας στην Ελλάδα

### 3. Δεδομένα - Υλικά

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν, για την υλοποίηση της εφαρμογής διακρίνονται σε γεωγραφικά και υδρομετεωρολογικά. Στα γεωγραφικά περιλαμβάνονται η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου της λεκάνης απορροής (Digital Terrain Model – DTM), η θέση του μετεωρολογικού σταθμού, οι χρήσεις γης, η γεωλογία της λεκάνης και το υδρογραφικό δίκτυο των ορεινών λεκανών απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα. Τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν τις μηνιαίες τιμές κατακρήμνισης του μετεωρολογικού σταθμού Μούχα, ο οποίος βρίσκεται κοντά στο νότιο άκρο της λίμνης σε υψόμετρο 870 m και γεωγραφικό πλάτος 39°18', γεωγραφικό μήκος 21°78'. Ο σταθμός λειτουργεί από το 1965, υπό την εποπτεία της Δημόσιας Υπηρεσίας Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) και μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικός λόγω της γεινίαση του σταθμού με την τεχνητή λίμνη (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής Μ.Σ. Μούχας για την περίοδο 1961-1981

Μήνας	Ύψος βροχής	Μήνας	Ύψος βροχής
Ιανουάριος	188.9	Ιούλιος	13.8
Φεβρουάριος	148.0	Αύγουστος	25.2
Μάρτιος	143.6	Σεπτέμβριος	61.9
Απρίλιος	115.0	Οκτώβριος	150.0
Μάιος	67.7	Νοέμβριος	171.9
Ιούνιος	39.2	Δεκέμβριος	215.2
<b>Μέσο ετήσιο ύψος βροχής</b>		<b>1340.40 mm</b>	

### 4. Μέθοδος Έρευνας

#### 4.1. Γενικά - Η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας

Η παγκόσμια εξίσωση εδαφικής απώλειας εφαρμόζεται συνήθως, όπου θέλουμε να εκτιμήσουμε την εδαφική απώλεια λόγω επιφανειακής διάβρωσης και δεν υπάρχουν στοιχειά μετρήσεων. Σαν εδαφική απώλεια ονομάζουμε την διαφορά του εδαφικού υλικού, που διαβρώθηκε, μείον την ποσότητα, που αποτέθηκε στην ίδια θέση και όλα αυτά σε

συγκεκριμένο χρόνο.

Η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας έχει ως εξής (Wischmeier , Smith, 1978) :

$$A = R * K * LS * C * P$$

όπου :

- A : Εδαφική απώλεια σε t/ha/έτος
- R : Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής
- K : Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους
- LS : Συντελεστής ανάγλυφου
- C : Συντελεστής φυτοκάλυψης
- P : Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης

Με την εξίσωση αυτή δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση η μέση ετήσια εδαφική απώλεια σε καλλιεργήσιμες ή μη εκτάσεις.

## 5. Αποτελέσματα έρευνας

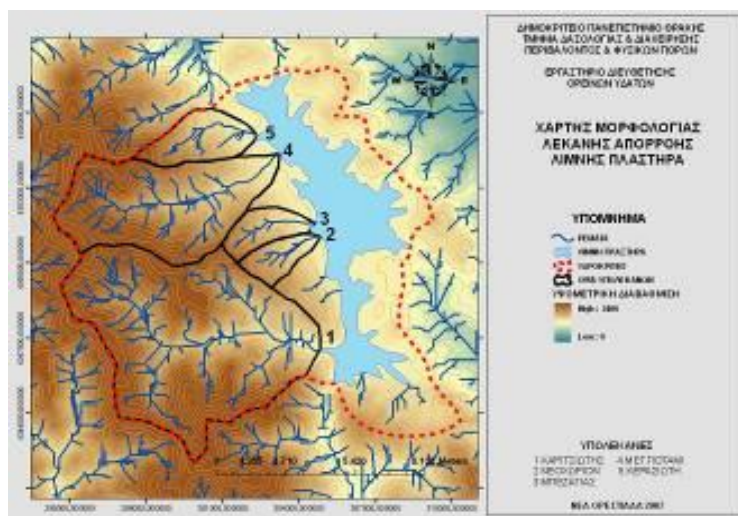
### 5.1. Εφαρμογή της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας στην λεκάνη απορροής

#### 5.1.1. Εμβαδομέτρηση της λεκάνης απορροής

Η συνολική λεκάνη απορροής, όπως υπολογίστηκε με τη χρήση της εντολής Areas, έχει εμβαδόν 92,4 km<sup>2</sup>. Περιλαμβάνει τις υπολεκάνες πέντε χειμαρρικών ρεμάτων. Το σημαντικότερο από αυτά είναι ο χειμαρρος Καριτσιώτης . Με αντίστοιχο τρόπο καθορίστηκαν τα μήκη της κεντρικής κοίτης των ρεμάτων (πίνακας 1).

Τέλος, έγινε ψηφιοποίηση των χαρτών με το ArcGIS και υπολογίστηκε η μέση κλίση των μισαγγειών (πίνακας 3) συμφωνά με τον τύπο :  $J = \frac{\Delta H \cdot \Sigma I}{F}$ , όπου J : κλίση μισαγγειών ,

ΔΗ: ισοδιάσταση χωροσταθμικών καμπύλων, ΣΙ: το άθροισμα των μηκών όλων των χωροσταθμικών καμπύλων, F: εμβαδόν υπολεκάνης.



Χάρτης 1. Χάρτης Υδρογραφικού Δικτύου Λεκάνης Απορροής Λίμνης Πλαστήρα

Πίνακας 3. Κλίσεις των Λεκανών απορροής της Λίμνης Πλαστήρα

7,5	Ονομασία χειμαρρικού ρεύματος	Κλίση ( %)
1	Καρισιώτης	57,56
2	Νεοχώριο	12,63
3	Μπεζάγιας	16,13
4	Μεγάλο Ποτάμι	44,67
5	Κερασιώτη	31,84

5.1.2. Υπολογισμός συντελεστή φυτοκάλυψης C

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης στις πέντε υπολεκάνες απορροής της περιοχής έρευνας καθορίστηκαν με βάση το χάρτη χρήσεων γης του έτους 2000.

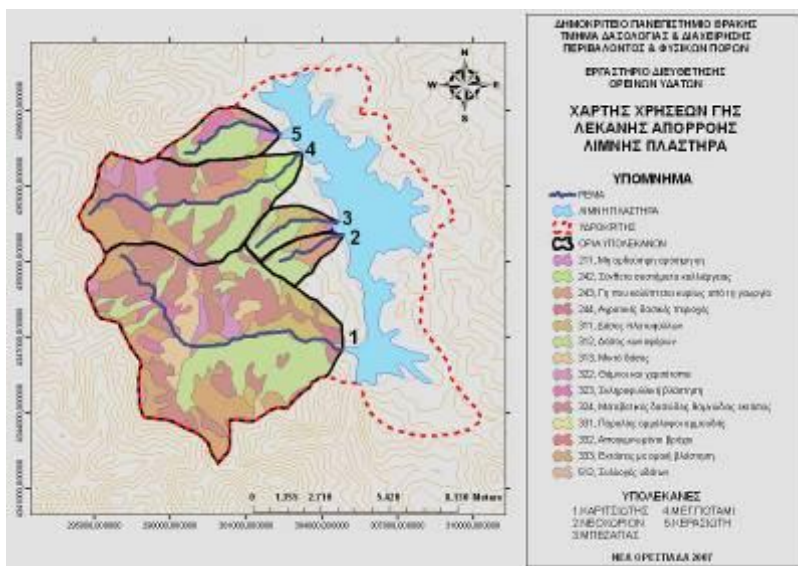
Οι τιμές του συντελεστή εδαφοκάλυψης των πέντε λεκανών απορροής δίνονται στον πίνακα 4.

5.1.3. Υπολογισμός συντελεστή αναγλύφου LS

Με χρήση του προγράμματος ArcGis υπολογίσαμε τον συντελεστή αναγλύφου για κάθε υπολεκάνη (πίνακας 4). Ο συντελεστής τοπογραφίας του εδάφους είναι διαφορετικός για κάθε λεκάνη και υπολογίζεται σύμφωνα με το τύπο των Mitchell και Bubbenzer, 1980.

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m * (0,065 + 0,045 * S + 0,065 * S)$$

Όπου λ: το μήκος κλιτύος, S: η κλίση της κλιτύος, m: ο εκθέτης ανάλογος της κλίσης (0,5 για τις υπό μελέτη περιοχές).



Χάρτης 2. Χάρτης Χρήσεων Γης Λεκάνης Απορροής Λίμνης Πλαστήρα

5.1.4. Υπολογισμός συντελεστή διαβρωτικότητας βροχής R

Από τα στοιχεία, που προκύπτουν από το μετεωρολογικό σταθμό της Δ.Ε.Η., που βρίσκεται στην περιοχή Πλαστήρα προκύπτει, ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 1340,40 mm.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή R (σαν συνάρτηση της έντασης και της κινητικής ενέργειας των μεμονωμένων βροχών ενός έτους, που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση στο έδαφος) είναι απαραίτητη η χρήση των βροχογραφήματων. Επειδή δεν υπήρχαν διαθέσιμα βροχογραφήματα, χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική εξίσωση παλινδρόμησης (Schwertmann et al. ,1990):

$$R=0,083*N - 1,77$$

Όπου R: σε (N/hour) , N: το μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε (mm)

Έτσι υπολογίστηκε R=109,48

5.1.5. Υπολογισμός συντελεστή διαβρωσιμότητας εδάφους K

Με χρήση του προγράμματος ArcGis υπολογίσαμε τον συντελεστή διαβρωσιμότητας για κάθε υπολεκάνη (πίνακας 4). Στην περιοχή έρευνας κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι και οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί.

5.1.6. Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P

Ο συντελεστής P ονομάζεται συντελεστής ελέγχου διάβρωσης και εκφράζει το μέτρο της ανθρώπινης παρέμβασης για την προστασία από την διάβρωση. Για την παρούσα εργασία ο συντελεστής P λαμβάνεται ίσος με 0,85 διότι έχουν υλοποιηθεί μέτρα προστασίας από την αξονική διάβρωση φραγμάτων στερέωσης στις κεντρικές κοίτες των υπολεκανών απορροής.

5.2. Υπολογισμός της εδαφικής απώλειας με την χρήση της USLE

Μετά την εφαρμογή της εξίσωσης της USLE με την βοήθεια των συντελεστών της, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα 4, προέκυψε η απώλεια του εδάφους στις πέντε σημαντικότερες υπολεκάνες της λεκάνης απορροής της τεχνητής λίμνης (πίνακας 5).

Στην συνολική διάβρωση της λεκάνης απορροής θα πρέπει να προσθέσουμε και την διάβρωση των οχθών των χειμάρρων, η οποία εκτιμάται εμπειρικά σαν ποσοστό 20% της επιφανειακής διάβρωσης (Roehl, 1962).

Τελικά η διάβρωση της λεκάνης απορροής είναι το άθροισμα της επιφανειακής διάβρωσης και της διάβρωσης των υδατορευμάτων (πίνακας 5), δηλαδή:

$$\Sigma A_{\text{ολ}} = \Sigma A + 0,2 * \Sigma A \text{ (σε t/a)}$$

Πίνακας 4. Πίνακας τιμών συντελεστών USLE

α/α	Όνομασία χειμαρρικού ρεύματος	R	K	C	LS	P
1	Καριτσιώτης	109,48	0,325	0,001147	57,56	0,85
2	Νεοχώριο	109,48	0,425	0,005449	12,63	0,85
3	Μπεζάγιας	109,48	0,385	0,0049831	16,13	0,85
4	Μεγάλο Ποτάμι	109,48	0,363	0,001083	44,67	0,85
5	Κερασιώτη	109,48	0,352	0,0084452	31,84	0,85

Πίνακας 5. Πίνακας τιμών απώλειας εδάφους σύμφωνα με την εξίσωση της USLE

α/α	Όνομασία χειμαρρικού ρεύματος	F (km <sup>2</sup> )	F (0,1*ha)	A (t/0,1*ha/a)	A (t/a)	ΣΑ (t/a)
1	Καριτσιώτης	51,5	51 500	1,99	102833	123399
2	Νεοχώριο	3,47	3 470	2,72	9444	11333
3	Μπεζάγιας	4,2	4 200	2,87	12094	14513
4	Μεγάλο Ποτάμι	26,49	26 490	1,63	43290	51948
5	Κερασιώτη	6,74	6 740	8,80	59366	71239

5.3. Υπολογισμός βαθμού στερεοπαροχής DR

Το ποσοστό των παραγόμενων φερτών υλών που φθάνει σε ετήσια βάση στην έξοδο της λεκάνης απορροής λέγεται βαθμός στερεοπαροχής .

Σύμφωνα με την εφαρμογή της μεθόδου υπολογισμού του βαθμού στερεοπαροχής DR υπολογίστηκαν οι τιμές DR<sub>1</sub>, DR<sub>2</sub> και τελικά DR για κάθε χειμαρρικό ρεύμα, οι οποίες παρατίθενται στον πίνακα 6, που ακολουθεί.

Τελικά ο βαθμός DR στερεοπαροχής δίνεται από τον τύπο:

$$DR = (DR_1 + DR_2) / 2$$

Στην συνέχεια έγινε εφαρμογή της εξίσωσης.

Πίνακας 6. Πίνακας τιμών βαθμού στερεοπαροχής DR κάθε χειμαρρικού ρεύματος

Όνομασία χειμαρρικού ρεύματος	H <sub>min</sub>	H <sub>max</sub>	DH	L (km)	F (km <sup>2</sup> )	DR <sub>1</sub> %	DR <sub>2</sub> %	DR %	DR
Καριτσιώτης	800	1900	1100	11,69	51,5	35,48	0,04	17,76	0,17
Νεοχώριο	800	1200	400	2,85	3,47	52,03	0,05	26,04	0,26
Μπεζάγιας	800	1300	500	3,65	4,2	50,64	0,05	25,34	0,25
Μεγ. Ποτάμι	800	1800	1000	9,81	26,49	38,99	0,04	19,51	0,19
Κερασιώτη	800	1300	500	4,48	6,74	47,35	0,04	23,70	0,23

Οι υπολογισμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα σημαντικοί, διότι θα μας δώσουν την εκτίμηση του όγκου φερτών υλών που θα μεταφερθούν στην έξοδο της λεκάνης απορροής κάθε χειμαρρικού ρεύματος (πίνακας 7). Ο όγκος αυτός των φερτών υλών είναι αυτός, που δημιουργεί, και πιθανόν να δημιουργήσει προβλήματα στην ομαλή λειτουργία της λίμνης.

Πίνακας 7. Πίνακας τιμών βαθμού στερεοπαροχής DR κάθε χειμαρρικού ρεύματος

α/α	Όνομασία χειμαρρικού ρεύματος	ΣΑ(t/a)	DR	Σύνολο (t/a)
1	Καριτσιώτης	123399	0,17	21918
2	Νεοχώριο	11333	0,26	2951
3	Μπεζάγιας	14513	0,25	3678
4	Μεγάλο Ποτάμι	51948	0,19	10139
5	Κερασιώτη	71239	0,23	16883

## 6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η τεχνητή λίμνη του φράγματος Πλαστήρα εμφανίζει σημαντικά προβλήματα πρόσχωσης λόγω διάβρωσης στις ορεινές λεκάνες απορροής της (Κουτσογιάννης Δ., 1986, Μιμίκου Μ., 1982). Οι σημαντικές κλίσεις και οι συμπαγείς πετρολογικοί σχηματισμοί, που κυριαρχούν στις ορεινές λεκάνες απορροής της λίμνης δημιουργούν συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την επιφανειακή διάβρωση και εδαφική απώλεια παρά το αρκετά καλό ποσοστό δάσωσης.

Τρεις χειμάρροι στην δυτική ακτή της λίμνης εμφανίζουν σημαντική παραγωγή φερτών υλών. Αυτά είναι τα χειμαρρικά ρέματα Καρισιώτης με παραγωγή 21918 tn/a, Κερασιώτης 16883 tn/a και Μεγάλο Ποτάμι 10139 tn/a,. Στους χειμάρρους αυτούς έχουν υλοποιηθεί έργα διευθέτησης και σταθεροποίησης σε μικρή κλίμακα. Πρέπει να κατασκευαστούν συμπληρωματικά, όπου απαιτούνται, τόσο τεχνικά επί της κεντρικής κοίτης αλλά και φυτοτεχνικά για την σταθεροποίηση των πρανών στο σύνολο της ορεινής τους λεκάνης. Ταυτόχρονα πρέπει να διατηρηθεί το καλό ποσοστό δασοκάλυψης του συνόλου των λεκανών και να αυξηθεί όπου αυτό είναι εφικτό.

Καταλήγοντας συμπεραίνουμε, ότι η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα δεν απειλείται άμεσα από την δράση των χειμάρρων της, με απαραίτητη προϋπόθεση, όμως τη διατήρηση των σημαντικών ποσοστών δασοκάλυψης των ορεινών λεκανών απορροής της. Η χωρητικότητα όμως του ταμιευτήρα έχει μειωθεί σε σημαντικό βαθμό λόγω της πρόσχωσης. Απαιτούνται λοιπόν συνεχείς και συστηματικές βυθομετρήσεις έτσι ώστε να σχηματιστεί σαφής εικόνα για την μελλοντική εύρυθμη λειτουργία του.

## Βιβλιογραφία

Γιακουμάκης Σ. και Τσακίρης Γ., 1992: «Μοντελοποίηση της εδαφικής διάβρωσης στο βόρειο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του Μόρνου», 5ο Πανελλήνιο συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Λάρισα, Νοέμβριος 1992.

Κωτούλας Δ., 2001: Διευθετήσεις Χειμαρρικών Ρευμάτων Ι. Υψηρεσία Δημοσιευμάτων. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Σακκάς Ιωάννης Γ., 2004: «Τεχνική υδρολογία» τεύχος 1, Υδρολογία Επιφανειακών υδάτων, Θεσσαλονίκη 2004.

Date C.J., 1990: An Introduction to Database Systems. Addison-Wesley, New York.

Engelund F. and Hansen E., 1967: «A monograph on sediment transport in alluvial streams», Teknisk Forlag, Copenhagen Forest Service: Bioclimatic stores and characteristics of the Mediterranean climate for the prefectures of Thrace. (In the vegetation maps 1:200.000).

Giakoumakis S., Tsakiris G. and Efremides D: "On the rainfall runoff modeling in a Mediterranean island environment" Advantages in water resources technology, Balkema 1991.

Giakoumakis S., Tsakiris G. and Efremides D., 1991: "On the rainfall runoff modelling in a Mediterranean island environment" Advantages in water resources technology, Balkema, Rotterdam.

Milliman J.D & Syvitski 1992: Geomorphic/Tectonic Control of sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers.- J. Geol., 100: 525-544.

Mimikou M., 1982: An investigation of suspended sediment rating curves in western and northern Greece Journal of Hydrological Science, 27(8-9), 369-383.

Morgan R.P.C., Quinton J.N. and Rickson R.J., 1991: "EUROSEM – A user guide" Sisloe college, MK 45 4DT, UK.

Kotoulas D., 1973: The torrential problem in Greece. Report Nr. 47. Laboratory of Silviculture and Mountainous Water Science. School of Agriculture and Forestry. Thessaloniki.

Kotoulas D., 1986: Natuerliche Entwicklung der Laengen- und Querprofilform der Fluesse, ein Beitrag zum Naturnahen Flussbau. Veroeff. d. Inst. Siedl. wass. wirtsch. 12, T.U. Graz.

Κουτσογιάννης, Δ. Τάρλα. Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στην Ελλάδα. Τεχν. Χρον, Αθήνα(1986). Τόμος 7, Τεύχος 3.

Nielsen S. A., Storm B. and Styzen M., 1986: "Development of distributed soil erosion component for the SHE hydrological modelling system", International conference on eater quality modelling in island natural environment", Bournemouth, England, p. 1-13

Poesen J., 1985: "An improved splash transport model", Zeitschrift fur Geomorfologie, 29,2, p. 193-211.

Poulos S.E., Collins M., and Evans G., 1996. Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern Alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact. Z. Geomorph., 40(2):243-261

Schwertmann U. Vogel W., Kainz M., 1987: «Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmassnahmen». Stuttgart.

Wischmeier W. H. and Smith D., 1978: "Predicting rainfall erosion losses. A guide to conversation planning", US Department of Agriculture, Handbook no 537.

Williams J.R. and Berndt. HD., 1972: "Sediment yield computed with universal equation" (Proceedings ASCEm journal of the Hydraulics division, vol. 98, 2087-2098).

Williams J.R., 1975: "Sediment routing for agricultural watersheds", water resources bulletin, vol. 11, no 5, p. 965-974.

Williams J.R., 1997: "Sediment delivery ratio determined with sediment ant runoff models", proceedings of the Paris Symposium, IAHS publication No. 122, p.168-179 Beasley D.B., Huggins L.F. and Monke E.J., 1980. "Answers: A model for watershed planning", transactions of the ASAE, 23: 938-944.

Woolhiser , DA., Smith R.E. and Goodrich D.C., 1990. "A cinematic run off and erosion model" Documentation and user manual. USDA, Agricultural research service, ARS-77.

Van Vuuren W. E, 1982: "Prediction of sediment yield for mountainous basins in Colombia, South America" proceedings of the Exeter symposium: "Recent developments in explanation and prediction of erosion and sentiment yield", IAHS publication No. 137, p. 313-325 Harper and Raw, Publishers, New York, Cambridge, San Fransisco, London.

Viessman Jr. W. Levis G.L., Knappt J.W. , 1989: Introduction to Hydrology.

Yang C.T. and Stall J. B., 1976: "Applicability of unit stream power equation", "Journal of the hydraulics division", ASCE, vol. 102, no HY5, p. 559-568.

## ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ

Μάρης Φ.<sup>1</sup>, Αναστασιάδης Στ.<sup>2</sup>, Καραγιώργος Κ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 193 Πανταζίδου, 68200, Νέα Ορεστιάδα, Ελλάδα, [fmaris@fmenr.duth.gr](mailto:fmaris@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup> Δασολόγος, Μεταπτυχιακός Φοιτητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 193 Πανταζίδου, 68200, Νέα Ορεστιάδα, Ελλάδα, [sanastas@fmenr.duth.gr](mailto:sanastas@fmenr.duth.gr), [kkaragio@fmenr.duth.gr](mailto:kkaragio@fmenr.duth.gr)

### Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Ορεστιάδος στην Καστοριά. Το εμβαδόν της επιφάνειας της λίμνης είναι συνολικά 27,975 km<sup>2</sup>. Η λίμνη έχει σχήμα ελλειψοειδές με τον μεγαλύτερο άξονά της να έχει κατεύθυνση από Β προς Ν. Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης βρίσκεται σε υψόμετρο 620 m, παρουσιάζοντας σημαντικές εποχιακές διακυμάνσεις. Η διερεύνηση επιτυγχάνεται με την ανάλυση και την επεξεργασία γεωγραφικών και υδρολογικών δεδομένων για τη λεκάνη απορροής. Ο συνδυασμός των υδρομετεωρολογικών παραγόντων της περιοχής με την εφαρμογή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου των Thornthwaite & Mather μας οδηγεί στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για την περιοχή έρευνας. Η μέση μηνιαία απορροή υπολογιστική ίση με 88,70 mm, η οποία είναι πολύ καλή για την έκταση της λεκάνης και η μέση υπερετιμία πραγματική εξατμισιοδιαπνοή ίση με 355,59 mm.

### HYDROLOGIC INVESTIGATION OF THE WATERSHED KASTORIA LAKE

Maris F.<sup>1</sup>, Anastasiadis S.<sup>2</sup>, Karagiorgos K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Democritus University of Thrace. Department of Forestry and Environmental Management and Natural Resources, 193 Pantazidou, 68200, Orestiada, Greece [fmaris@fmenr.duth.gr](mailto:fmaris@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup> Forester, Democritus University of Thrace. Department of Forestry and Environmental Management and Natural Resources, 193 Pantazidou, 68200, Orestiada, Greece, [sanastas@fmenr.duth.gr](mailto:sanastas@fmenr.duth.gr), [kkaragio@fmenr.duth.gr](mailto:kkaragio@fmenr.duth.gr)

### Abstract

The objective of this study is to evaluate the water balance of the watershed of the Kastoria lake, which covers an area of 27,975 km<sup>2</sup>. The shape of the lake is ellipsoid, with its elongated axis to have a N-S direction. The state of the free surface of the lake is located at an altitude of 620 m, showing significant seasonal variations. The present investigation is based upon the combined analysis of geographical and hydrological data set of the lake's watershed. The correlation of hydrological and meteorological factors and the application of the water balance model of Thornthwaite & Mather has produced important conclusions for the environmental status of the lake. The average monthly flood is equal 88,70 mm, which is very good for the basin and the average real evapotranspiration equal to 355,59 mm.

**Λέξεις κλειδιά:** υδατικό ισοζύγιο, λεκάνη απορροής, Γ.Σ.Π.

**Key words:** Water budget, watershed, GIS.



## 1. Εισαγωγή

Η λίμνη της Καστοριάς παρουσιάζει μεγάλη σημασία για την περιοχή λόγω των σημαντικών χρήσεών της. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι οι εξής : άρδευση, αναψυχή, τουρισμός, αθλητισμός, κ.λ.π. Αρκετά όμως είναι και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι οι επιχλωματώσεις, η επέκταση οικισμών, οι τουριστικές εγκαταστάσεις, το παράνομο κυνήγι, κ.α.

Στην παρούσα εργασία , επιχειρείται μια επισταμένη ανάλυση της εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Καστοριάς με την εφαρμογή του υδατικού μοντέλου Thornthwaite & Mather ( Thornthwaite, 1957 ) όπου υπολογίζεται η μέση μηνιαία απορροή, καθώς επίσης, πραγματοποιείται μια συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματικής εξατμισιοδιαπνοής όπως αυτή προκύπτει από το μοντέλο και τις εμπειρικές εξισώσεις των Turk (Turk, 1961), Coutage (Viessman et al., 1989), Ol'Dekop (Flokas, 1997).

## 2. Περιοχή Έρευνας



Σχήμα 1. Θέση Περιοχής Έρευνας Στον Ελλαδικό Χώρο.

Η περιοχή ερευνάς βρίσκεται στην Δυτική Μακεδονία στο Νομό Καστοριάς με γεωγραφικό μήκος  $21^{\circ}31'$  και γεωγραφικό πλάτος  $40^{\circ}52'$ .

Η φυσική λίμνη Καστοριάς είναι τεκτονικής προέλευσης, ευτροφική λίμνη (Σωτηριάδης 1984, Σακκάς 1993) και αποτελεί υπολειμματική μορφή των μεγάλων λιμνών του Νεογενούς – Τεταρτογενούς, που δέσποζαν στο χώρο της Μακεδονίας, οι οποίες προήλθαν από τις τεκτονικές κοιλάδες, που σχηματιστήκαν στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας κατά το νεοτεκτονικό στάδιο των αλπικών πτυχώσεων (Βαφειάδης 1983).

Η λίμνη της Καστοριάς διαθέτει αυτοτελές υδρογραφικό δίκτυο, από δεκατρία μικρά χειμαρρικά ρεύματα. Η λεκάνη απορροής αποτελεί υπολεκάνη του ποταμού Αλιάκμονα. Η έκταση της λεκάνης απορροής ανέρχεται στα 238,45 km<sup>2</sup>. Ο υδροκρίτης της λεκάνης ορίζεται ανατολικά από τις κορυφές Μηλιά και Πύργος, βόρεια από το όρος Βερνού και διέρχεται από τις κορυφές Δούκας, Κρόνος, Βίτσι και Σπυρικάκης, στρέφεται νοτιοανατολικά στη ράχη του ορούς Πετρώδες καταλήγοντας στο νότιο τμήμα της λίμνης Καστοριάς (Μάρης, 1997)

Τα κυριότερα ρεύματα του υδρογραφικού δικτύου της λίμνης, ανάλογα το μέγεθός τους, είναι οι χειμαρροί Ξεροπόταμος, Βυσσινίας, Κωτουρή και Μεταμόρφωσης.

Η λεκάνη απορροής της λίμνης παρουσιάζει σημαντική δασοκάλυψη κύρια στον ορεινό χώρο. Οι ορεινές λεκάνες χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία των δασών πλατύφυλλων καθώς και των βοσκοτόπων, ενώ αντίστοιχα στις πεδινές κυριαρχούν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις. Αναλυτικά οι κύριες χρήσεις γης είναι: δάσος πλατύφυλλων 44,17%, βοσκοτόποι 32,47% και γεωργικές καλλιέργειες 16,06%.

Τα δάση πλατύφυλλων ειδών είναι σε πρεμνοφυή κύρια μορφή και σε μικρότερο ποσοστό σε σπερμοφυή. Από φυτοκοινωνιολογική, χλωριδική και οικολογική άποψη στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς κατά την ταξινόμηση της δασικής βλάστησης στην Ελλάδα εμφανίζεται η παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia rubescentis*) με την υποζώνη της *Quercion confertae* και η ζώνη δασών οξυάς - ελάτης και ορεινών παραμεσογειακών κωνοφόρων (*Fagetalia*) με την υποζώνη της *Fagion moesiaca* (Ντάφης, 1973). Στην επίπεδη περιοχή γύρω από την λίμνη και κυρίως στην ανατολική της ακτή

κυριαρχούν καλαμώνες από *Phragmites australis*, ενώ υπάρχουν σημαντικές συστάδες *Salix alba* και *Populus alba*.

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης, στη λεκάνη απορροής κυριαρχεί ο κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός καλύπτοντας το 73,37% της συνολικής λεκάνης και ακολουθεί ο ασβεστολιθικός σχηματισμός με 17,01%. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω ανάλογα με το χειμαρρικό υπόθεμα, η λεκάνη απορροής της λίμνης ανήκει στο μικτό χειμαρρικό τύπο (Κωτούλας, 2001).

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ορεινών λεκανών της λίμνης Καστοριάς είναι η σχετική ευπάθεια στις επιφανειακές και χαραδρωτικές διαβρώσεις και αποσαρθρώσεις (Μάρης, 1997).

Για τη διερεύνηση του κλίματος της περιοχής ελήφθησαν κύρια υπόψη τα κλιματικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Νεστόριο του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.), που βρίσκεται σε υψόμετρο 950 m με γεωγραφικό μήκος 21°04' και γεωγραφικό πλάτος 40°25'.

Στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής, όπως προέκυψαν μετά την επεξεργασία των παρατηρήσεων της περιόδου 1978-1996, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές των θερμοκρασιών αέρα. Τέλος στο σχήμα 1 δίνεται το ομβροθερμικό διάγραμμα του σταθμού, που δημιουργήθηκε με βάση τις τιμές του Πίνακα 1.

Το κλίμα στην περιοχή έρευνας είναι ο τύπος που κυριαρχεί στην Δυτική Μακεδονία και χαρακτηρίζεται ως μεταβατικός μεταξύ του μεσογειακού και ηπειρωτικού κλίματος. Σύμφωνα με την κατάταξη κατά Koerppen το κλίμα είναι υγρό μεσόθερμο. Με βάση την ταξινόμηση κατά Thorntthwaite το κλίμα στην περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται ως ημίυγρο αποκλίνον προς υγρό, με μέτρια έλλειψη νερού κατά το θέρος (Μπαλαφούτης, 1977).

Πίνακας 1. Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής, θερμοκρασίας Μ.Σ. Νεστόριο για την περίοδο 1978-1996

Τοποθεσία Σταθμού:		Περίοδος: 1978-1996	
ΝΕΣΤΟΡΙΟ (Ε.ΘΙΑ.ΓΕ)			
Υψόμετρο 950 m		Γ.Π. :40°25'	Γ.Μ. : 21°04'
a/a	Μήνας	Μέσο μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων (mm)	Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (° C)
1	Ιανουάριος	80,43	0,83
2	Φεβρουάριος	76,18	1,68
3	Μάρτιος	64,48	5,58
4	Απρίλιος	75,76	9,77
5	Μάιος	72,37	14,40
6	Ιούνιος	30,61	18,98
7	Ιούλιος	34,63	21,38
8	Αύγουστος	39,31	20,78
9	Σεπτέμβριος	38,06	16,90
10	Οκτώβριος	76,56	11,55
11	Νοέμβριος	117,56	5,76
12	Δεκέμβριος	111,04	2,49
<b>Έτος</b>		<b>816,99</b>	<b>10,84</b>

### 3. Μεθοδολογία

#### 3.1. Μοντέλο Υδατικού Ισοζυγίου

Το μοντέλο, που επιλέχθηκε, για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου είναι των Thornthwaite & Mather και βασίζεται στην εξομοίωση της υδρολογικής λειτουργίας της λεκάνης απορροής με τη λειτουργία μιας απλής δεξαμενής (Thornthwaite, 1957).

$$\Delta S = P_n - E_n - Q_{An} - D \rightarrow E_n = P_n - \Delta S - Q_n$$

Όπου,  $\Delta S$ : Μεταβολή του αποθηκευμένου νερού (mm),  $P_n$ : Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm),  $E_n$ : Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm),  $Q_n$ : Πλεόνασμα νερού (mm),  $Q_{An}$ : Επιφανειακή απορροή (mm),  $D_n$ : Διηθούμενο νερό (mm),

Η παραπάνω λειτουργία του μοντέλου μπορεί να κωδικοποιηθεί ως εξής (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος 1997):

Αν

$$P_n \geq E_{pn} \rightarrow S_n = \min(S_{n-1} + P_n - E_{pn}, K)$$

$$Q = \max(S_{n-1} + P_n - E_{pn} - K, 0)$$

$$P_n \leq E_{pn} \rightarrow S_n = S_{n-1} * \exp\left(\frac{P_n - E_{pn}}{K}\right)$$

$$Q_n = 0$$

Σε κάθε περίπτωση η πραγματική εξατμισοδιαπνοή προκύπτει από την εξίσωση :

$$E_n = (S_{n-1} - S_n) + P_n - Q_n = P_n - \Delta S_n - Q_n = P_n - \Delta S_n - Q_{An} - D_n$$

Όπου,  $P_n$ : Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm),  $E_{pn}$ : Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm),  $E_n$ : Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm),  $S_n$ : Αποθηκευμένο νερό στο έδαφος (mm),  $Q_n$ : Πλεόνασμα νερού (mm),  $Q_{An}$ : Επιφανειακή απορροή (mm),  $D_n$ : Διηθούμενο νερό (mm),  $K$ : Μέγιστη εδαφική χωρητικότητα

#### 3.2. Υπολογισμός Παραμέτρων Μοντέλου

##### 3.2.1 Απορροϊκός συντελεστής CN (Curve Number) και μέγιστη χωρητικότητα εδαφικής δεξαμενής (K)

Οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την επιφάνεια μιας περιοχής περιγράφονται από τον απορροϊκό συντελεστή CN (US. Soil Conservation Service, 1972) και τη μέγιστη χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής K. Ο απορροϊκός συντελεστής εκτιμάται από την εκτίμηση των επιμέρους συντελεστών C1, C2, C3, C4 οι οποίοι εξαρτώνται αντίστοιχα, από το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης, τη διηθητικότητα του εδάφους, την έκταση και την πυκνότητα της

φυτοκάλυψης, την κλίση των πρηνών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Η μέγιστη χωρητικότητα εδαφικής (K) δεξαμενής εκφράζει την μέγιστη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας στο έδαφος και δίνεται από την σχέση:

$$K = 25.4 \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \right]$$

### 3.2.2 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η μέθοδος για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που επιλέχθηκε είναι αυτή του Thornthwaite λόγω των μικρών απαιτήσεων σε δεδομένα εισόδου, ειδικότερα απαιτεί μόνο τη μέση θερμοκρασία αέρα.

Η εξίσωση που μας δίνει την δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι:

$$E_p = 16 \left( \frac{10t_i}{I} \right)^\alpha \frac{\mu N}{360}$$

Όπου,  $E_p$ : Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm),  $t_i$ : Μέση μηνιαία θερμοκρασία ( $^{\circ}C$ ),  $\mu$ : Αριθμός ημερών του μηνά,  $N$ : Μέση αστρονομική διάρκεια ημέρας του μηνά (hr),  $I$ : Ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας ( $I = \sum_{i=1}^{12} i$ ),  $i$ : Μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας ( $i = 0.09t_i^{3/2}$ ),  $\alpha$ : Εμπειρική παράμετρος ( $\alpha = 0.016I + 0.5$ ).

### 3.3. Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή εκτιμήθηκε με τις εμπειρικές μεθόδους του Turk (Turk, 1961) του Coutage (Viessman et al., 1989) και την πρώτη μέθοδο του Οί'Dekop (Flokas, 1997) για τη ρύθμιση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου.

Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο του Turk έχει ως εξής:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L_T^2}}}$$

$$\text{με } L_T = 300 + 25T + 0.05T^2$$

Όπου,  $E$ : Ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος),  $P_n$ : Ετήσιο ύψος βροχής (mm),  $T$ : Μέση ετήσια θερμοκρασία ( $^{\circ}C$ ),  $L_T$ : Θερμικός συντελεστής.

Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο του Coutage έχει ως εξής:

$$E = P \left( 1 - \frac{P}{l} \right) \quad \text{για } \frac{l}{8} \leq P \leq \frac{l}{2}$$

$$E = P \quad \text{για } P < \frac{l}{8}$$

$$E = 200 + 35T \quad \text{για } P > \frac{l}{2}$$

Όπου, E: Ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος), P<sub>n</sub>: Ετήσιο ύψος βροχής (mm), T: Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C), l: Συνάρτηση θερμοκρασίας ( $l = 800 + 140T$ )

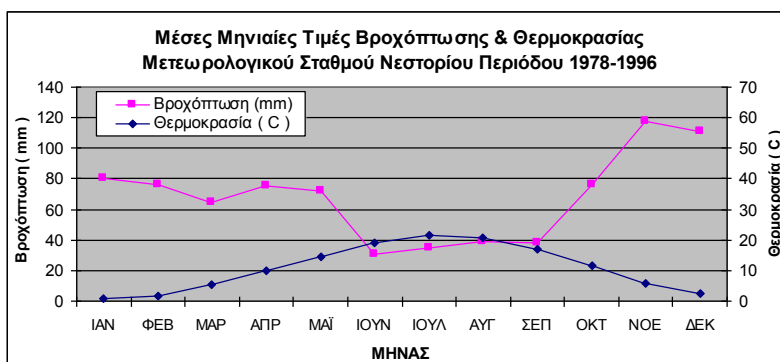
Η εξίσωση της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο του O’Dekor έχει ως εξής:

$$E = P \left[ 1 - \exp \left( - \frac{PE}{P} \right) \right]$$

Όπου, E: Ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm/έτος), P<sub>n</sub>: Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm), PE: Ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή Thornthwaite.

#### 4.Αποτελέσματα – Συζήτηση

Για τον υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού Νεστορίου. Από την κατανομή της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας σε όλη τη λεκάνη για την περίοδο 1978-1996 προκύπτει ότι η μέγιστη μηνιαία βροχόπτωση παρατηρείται τον μήνα Νοέμβριο και η ελάχιστη τον μήνα Ιούνιο, ενώ η μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία κατά το μήνα Ιούλιο και η ελάχιστη κατά το μήνα Ιανουάριο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση υπολογίστηκε για την περίοδο μελέτης ίση με 816,19 mm και η μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με 10,8°C (διάγραμμα 1).

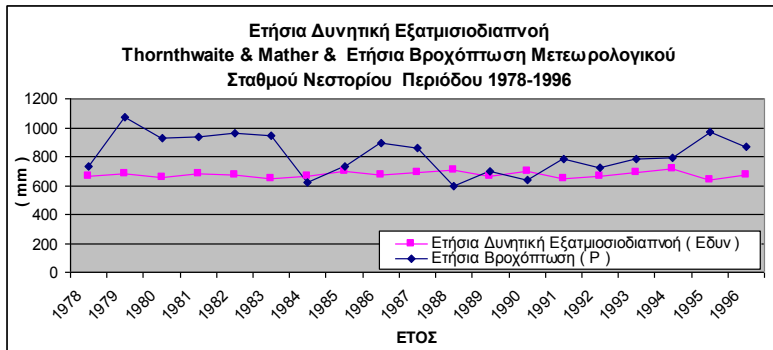


Διάγραμμα 1. Μέση Ετήσια θερμοκρασία και Ετήσια βροχόπτωση για την περίοδο 1978-1996

Όσον αφορά τον απορροϊκό συντελεστή CN η εκτίμηση του έγινε με βάση τα εδαφολογικά και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά καθώς και τις χρήσεις γης της περιοχής. Ο τύπος εδαφών είναι τύπου B (μέσοι ρυθμοί διήθησης) με τύπο υγρασίας κατάστασης II. Ο απορροϊκός συντελεστής εκτιμήθηκε ίσος με 70 και η μέγιστη χωρητικότητα της εδαφικής δεξαμενής ίση

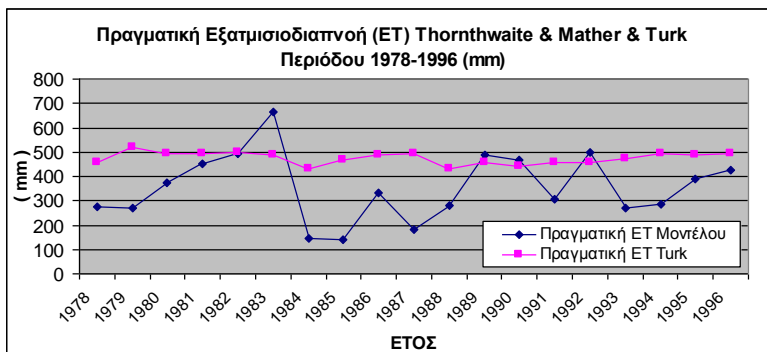
με 88,70 mm (U.S. Soil Conservation Service, 1986).

Από τον υπολογισμό της ετήσιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο των Thornthwaite (διάγραμμα 2) προέκυψε, ότι η μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο μελέτης είναι ίση με 674,74 mm.



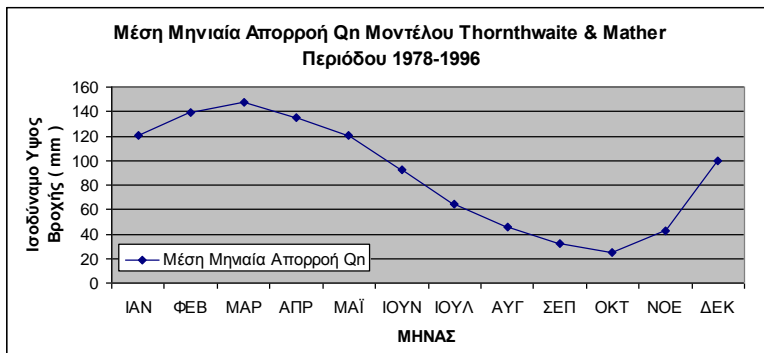
Διάγραμμα 2 . Ετήσια Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή Thornthwaite & Mather & Ετήσια Βροχόπτωση

Η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο 1978-1996 εκτιμήθηκε με βάση τους τύπους του Turk, του Coutage και την πρώτη του Ol'Dekor και υπολογίστηκε σε 474,84 mm, 520,53 mm και 455,61 mm αντίστοιχα. Επειδή τα αποτελέσματα της μεθόδου του Turk κυμαίνονται ανάμεσα από τα αποτελέσματα των μεθόδων του Coutage και την πρώτη του Ol'Dekor λαμβάνονται υπόψη για την σύγκριση με την ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μοντέλου των Thornthwaite. Η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή, που προέκυψε από το μοντέλο, είναι ίση με 355,59 mm (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3 . Πραγματική εξατμισοδιαπνοή Thornthwaite & Mather (1957) & Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή Turk (1961) Περίοδος 1978-1996

Τα αποτελέσματα της μέσης μηνιαίας απορροής, εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος βροχής, για την περίοδο 1978-1996, που εξήχθησαν από το μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου των Thornthwaite & Mather, δίνονται στο διάγραμμα 4. Η μέση υπερετήσια απορροή για όλη την περίοδο μελέτης, εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος βροχής υπολογίστηκε ίση με 88,70 mm. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η μέγιστη απορροή παρατηρήθηκε κατά το μήνα Μάρτιο ενώ η ελάχιστη κατά τον μήνα Οκτώβριο για την περίοδο μελέτης 1978-1996.



Διάγραμμα 4. Μέση Μηνιαία Απορροή Qn (mm) Μοντέλου Thornthwaite & Mather για την περίοδο 1978-1996

### 5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας επικεντρώνονται στα εξής:

- Η μέγιστη και ελάχιστη μηνιαία βροχόπτωση παρατηρείται κατά τους μήνες Νοέμβριο και Ιούλιο αντίστοιχα, ενώ η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται κατά τους μήνες Ιούλιο και Ιανουάριο αντίστοιχα. Η μέση υπερετήσια βροχόπτωση της περιόδου είναι 816,99 mm, η μέση υπερετήσια θερμοκρασία είναι 10,84 °C, η μέση υπερετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή με την μέθοδο Thornthwaite είναι 674,74 mm και η μέση υπερετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή με την μέθοδο Thornthwaite & Mather όπως προέκυψε από το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, είναι 355,59 mm.
- Από τα αποτελέσματα της μέσης μηνιαίας απορροής, εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος βροχής, που εξήχθησαν από το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου των Thornthwaite & Mather, προέκυψε ότι η μέση μηνιαία απορροή είναι 88,70 mm, η οποία είναι καλή για την έκταση της λεκάνης.

Εν κατακλείδι στην περιοχή έρευνας παρατηρείται διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων σε σχέση με τις μεγάλες απαιτήσεις σε νερό των δραστηριοτήτων όπως των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και των υδρευτικών αναγκών. Η σημερινή κατάσταση της λίμνης, το καθεστώς χρήσης του νερού και η ευαισθησία της λεκάνης όσο αφορά το υδατικό ισοζύγιο της, επιβάλλει τα παρακάτω:

- Συστηματική ενημέρωση και συνεργασία των αγροτών, των φορέων ύδρευσης και της ΔΕΗ ΑΕ για την βέλτιστη αξιοποίηση των υδατικών πόρων της περιοχής.
- Εδαφολογική και υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής για ακριβέστερης εκτίμηση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης.
- Διερεύνηση καταλλήλων μεθόδων άρδευσης και χρήσεων γης με ταυτόχρονη την εφαρμογή της αγροτικής πολιτικής που θα ωθήσει τους αγρότες της περιοχής να στραφούν σε καλλιέργειες με μικρότερες απαιτήσεις σε νερό.
- Περιορισμός της διάνοιξης νέων γεωτρήσεων σε όλη την λεκάνη και ειδικότερα στις περιοχές χαμηλού υψομέτρου.

### Βιβλιογραφία

Ασχονίτης Β.Γ., Μπαλτάς Ε.Α., Αντωνόπουλος Β.Ζ. 2006: Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης του Εορδαίου Ποταμού, Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου της

Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης με θέμα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές, Ξάνθη, 13-16 Δεκεμβρίου 2006.

Βαφειάδης Π., 1983: Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης της Καστοριάς. Διδακτορική Διατριβή. Φυσικομαθηματική Σχολή. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1977: Τοπογραφικοί Χάρτες κλίμακας 1:50.000 περιοχών έρευνας.

Δεμίρης Κ., 1986: Τεχνική Γεωλογία, Α.Π.Θ., University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Forest Service, 1985: Bioclimatic stores and characteristics of the Mediterranean climate for the prefectures of Thrace. (In the vegetation maps 1:200.000).

Hrissanthou V., Mylopoulos N., Tolikas D., & Mylopoulos I., 2003: Simulation modeling of runoff, groundwater flow and sediment transport into Kastoria Lake, Greece. Water Resources Management, 27, 223-242.

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1990: Γεωλογικοί χάρτες περιοχών έρευνας 1:50.000.

Καρράς Γ., 1973: Κλιματική ταξινόμηση της Ελλάδας κατά Thornthwaite, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα.

Kotoulas D., 1973: The torrential problem in Greece, Report Nr. 47. Laboratory of Silviculture and Mountainous Water Science. School of Agriculture and Forestry. Thessaloniki.

Kotoulas D., 1986: Natuerliche Entwicklung der Laengen- und Querprofilform der Fluesse, ein Beitrag zum Naturnahen Flussbau, Veroeff. d. Inst. Siedl. wirtsch. 12, T.U. Graz.

Κουτσογιαννης Δ. & Ξανθοπουλος Θ., 1997: Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Κωτούλας Δ., 2001: Διευθετήσεις Χειμαρρικών Ρευμάτων Ι, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Leibundgut H., 1970: Der Wald. Frauenfeld, Stuttgart.

Σωτηριάδης Μ., 1984: Φυσική Γεωγραφία. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Μαριολόπουλος Η., 1982: Το κλίμα της Ελλάδας, επιτομή, Αθήνα.

Μαριολόπουλος Η., Καραπιέρης Λ., 1955: Αι βροχοπτώσεις εν Ελλάδι. Αθήνα

Μάρης Φ. 1997 : Το χειμαρρικό περιβάλλον της λίμνης Καστοριάς, Επιστημονική επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων προς τιμή του ομότιμου Καθηγητή Κη.Πανέτσου, vol. 40/1

Μουρκίδης Γ., Τσιούρη Σ., 1984: Λίμνες της Βορείου Ελλάδος. Ευτροφισμός των λιμνών Κορώνειας και Καστοριάς 1980-81. Γεωργική έρευνα, 8 : 317-334. Αθήνα.

Μπαλαφούτης Χ., 1992: Μαθήματα υδρομετεωρολογίας, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

Ντάφης Σ., 1973: Ταξινόμηση της δασικής βλαστήσεως της Ελλάδας. Επιστημονική επετηρίδα της Γεωπονικής και Δασολογικής σχολής. Τόμος ΙΕ'-τεύχος Β' (75-91). Θεσσαλονίκη.

Thornthwaite C., Mather J., 1957: Instruction and tables for computing potential



evapotranspiration and the water balance, Publ. in climatology, Vol. 10 – No 3, Centerton, New Jersey Drexel Inst.

Turk L. 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise en jour, Annuel Agronomie. 12, pp.13-49.

Σακκάς Ι., 1993: Υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Ξάνθη.

Σακκάς Ι., 1994: Εξυγίανση και αξιοποίηση της λίμνης Καστοριάς, Ερευνητικό Πρόγραμμα, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη.

SCS (Soil Conservation Service), 1972: National Engineering Handbook, Section of Hydrology, SCS, Washington D.C., U.S.A.

Υπ. Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων Διεύθυνση Δασών, 1977: Χάρτης Χρήσεων γης 1:50.000, Νομός Καστοριάς.

Φλόκας Α.Α., 1997: Μαθήματα μετεωρολογίας κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Viessman Jr. W., Levis G.L., Knappt J.W., 1989: Introduction to Hydrology.

Ψιλοβίκος Α., Ζαρκάδας Π., 2006: Μοντέλο Προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς, Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης με θέμα: Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές, Ξάνθη, 13-16 Δεκεμβρίου 2006.

## ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΟΥ ΑΣΤΡΟΥΣ ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ

Μαρκάκης Ε., Μπλέτα Α., Πούλος Σ., Βερικίου Ε.

*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784 Αθήνα,  
Τηλ. 210 7274143, e-mail: poulos@geol.uoa.gr*

### Περίληψη

Το Παράλιο Άστρος βρίσκεται στη δυτική ακτή του Αργολικού Κόλπου, ενώ οι εκβολές του ποταμού Τάνου την χωρίζουν σε δυο υπο-περιοχές. Η εξεταζόμενη παραλιακή ζώνη αναπτύσσεται εφαπτομενικά της ακτογραμμής, με ευθυγράμμιση στη ζώνη διαβροχής, η οποία οφείλεται κυρίως στη κυματική δράση και την εξαρτώμενη από αυτή επιμήκη παράκτια κυκλοφορία. Το πλάτος του αιγιαλού είναι περίπου τα 10m, με το μέτωπό του να έχει ήπιες κλίσεις (5-8%). Κατά μήκος της παραλιακής ζώνης παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικές συγκεντρικές αμμόδεις ζώνες (berms) και ημισεληνοειδείς σχηματισμοί (beach cusps) που υποδηλώνουν τη μεταβλητότητα των παράκτιων υδροδυναμικών συνθηκών. Η υπό μελέτη παραλιακή ζώνη συνίσταται κυρίως από άμμο (S) και άμμος με λίγα χαλίκια (g)S. Επίσης διαπιστώνουμε μικρές περιοχές οι οποίες και αποτελούνται από πιο χονδρόκοκκο υλικό (άμμο με κροκάλες (sG) και κροκάλες (G)) με χαρακτηριστικότερη εκείνη των εκβολών του ποταμού Τάνου. Ο επικρατέστερος άνεμος στην περιοχή είναι ο Βόρειος, ενώ τα μεγαλύτερα κύματα (μέχρι και 5,9 m) προσέρχονται από ΝΑ, λόγω της μεγάλης απόστασης ανάπτυξης του κυματισμού (306 km) και τα οποία μπορούν να αναρριχώνται μέχρι ύψους περίπου 4.2 m. Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα δεν ξεπερνά τα 13,50 m και αυτό σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις (κύματα θύελλας από ΝΑ). Η δυναμική παράκτια στερεομεταφορά είναι της τάξης των  $74 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$  και έχει διεύθυνση από νότο προς βορρά. Τέλος, η ανθρώπινη παρέμβαση στην περιοχή περιλαμβάνει κύρια την κατασκευή παραλιακού δρόμου (περιοχή βόρεια των εκβολών του Τάνου), ο οποίος ουσιαστικά έχει αποκόψει την παραλία από την ενδοχώρα. Μάλιστα, η περιοχή αυτή πλημμυρίζει σε περιόδους βροχοπτώσεων, γεγονός που έχει οδηγήσει στην κατασκευή αποστραγγιστικών καναλιών τα οποία διατρέχουν κάθετα τη παραλία. Επίσης, διάφορα έργα στη κοίτη του ποταμού Τάνου έχουν μειώσει το ιζηματολογικό του φορτίο ενώ παρατηρήθηκαν και αμμοληψίες (παράνομες) από τη παραλιακή ζώνη.

### A NEARSHORE SEDIMENTOLOGICAL AND OCEANOGRAPHIC STUDY OF THE BEACH ZONE OF PARALIO ASTROS KINOURIAS

Markakis E., Mpleta A., Poulos S., Verikiou E.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis-Zografou, Attiki, 15784.*

### Abstract

The area under investigation is located in western coast of the gulf of Argolis. The mouth of R. Tanos divides the shore zone into two sections (the northern and the southern one). It is furthermore characterised as swash alignment type of beach zone with its morphometry attributed to incoming wave regime and associated longshore currents. It hosts low sandy berms, which host medium sized beach cusps, indicating the existence of moderate but variable wave conditions. The subaerial width of the zone is approximately 10m, with its shore face with slope gradients of 5-8%. Granulometrically, it consists of sandy material (type S) having in places small percentages of gravel (type (g)S). Increased amounts of pebbles (types G and/or sG) were observed and associated with the activity of river Tanos.

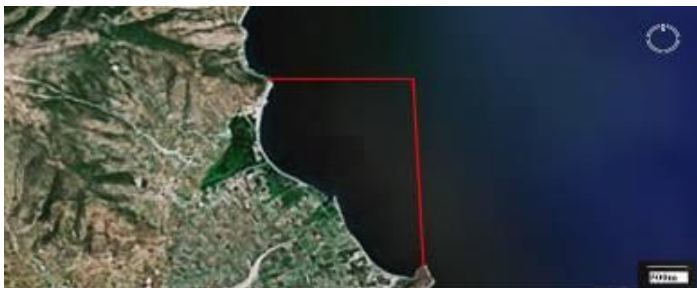
Northerly winds dominate the area but the maximum wave conditions (heights=5.9 m) are induced by the SE winds due to long fetched (>300 km). These high waves could prograde over the subaerial part of the shore zone up to elevations of 4.2 m. Similarly, the maximum depth of the bottom's sediment mobility (closure depth) usually refers to depths < 6m with the exception of the highest waves approaching from SE which could affect the seabed up to a depth of 13.50 m during storms. The overall potential longshore transport is of the order of  $74 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$  directed northwards. The anthropogenic interference in the study area includes mainly the construction of a road parallel to the shoreline, which basically cuts-off the hinterland from the shore zone, with the first to be flooded during periods with heavy rain. For this reason narrow drainage channels have been dredged beneath the road and along the beach. In addition, works have changed the natural flow of the R. Tanos, whilst illegal abstraction of sandy material from the beach takes place occasionally.

**Λέξεις κλειδιά:** Άστρος Κυνουρίας, ιζήματα, παράλια στερεομεταφορά, παράκτια υδροδυναμική.

**Key words:** Astros Kinourias, sediment, longshore transport, nearshore hydrodynamics.

## 1. Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Ανατολική Πελοπόννησο και συγκεκριμένα ανήκει στον Δήμο Βόρειας Κυνουρίας, της Επαρχίας Κυνουρίας του Νομού Αρκαδίας (Εικ.2.1), ενώ βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων  $37^{\circ} 15'$  και  $37^{\circ} 22'$  και των μεσημβρινών  $22^{\circ} 40'$  και  $22^{\circ} 51'$ .



Σχήμα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης, στο μέσον διακρίνονται οι εκβολές του ποταμού Τάνου.

Η υπό μελέτη παραλιακή ζώνη αναπτύσσεται στις δυτικές ακτές του Αργολικού κόλπου, βόρεια της πόλης του Άστρους, έχοντας διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τόσο το χερσαίο όσο και το υποθαλάσσιο ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές κλίσεις, ενώ οι εκβολές του ποταμού Τάνου την χωρίζουν σε δύο επιμέρους τμήματα, ένα βόρειο και ένα νότιο. Ο ποταμός Τάνου αποστραγγίζοντας μια λεκάνη  $80,5 \text{ Km}^2$  είναι ο κύριος τροφοδότης χερσογενών ιζημάτων.

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή του Άστρους εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του «Μεσογειακού» κλίματος με ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιο και βροχερό χειμώνα και όλες τις ενδιάμεσες κλιματικές διαφορές του ελληνικού χώρου. Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Thornthwaite, ανήκει στον DdB3b4 τύπο κλίματος, ο οποίος αναφέρεται στην κατηγορία των ξηρών κλιμάτων που χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές του δείκτη υγρασίας (Καρράς, 1999).

Το παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς καθορίζεται κυρίως από τα κύματα ανεμογενούς προέλευσης καθώς το εύρος της παλίρροιας είναι πολύ μικρό (<20 cm) (Tsimprlis, 1999). Γενικά, ο επικρατέστερος άνεμος στην παραλία του παράκτιου Άστρους Κυνουρίας είναι ο Β (19,79%), ακολουθούμενος από τον ΒΑ (3,38%), Α(2,19%) και ΝΑ (0,066%).

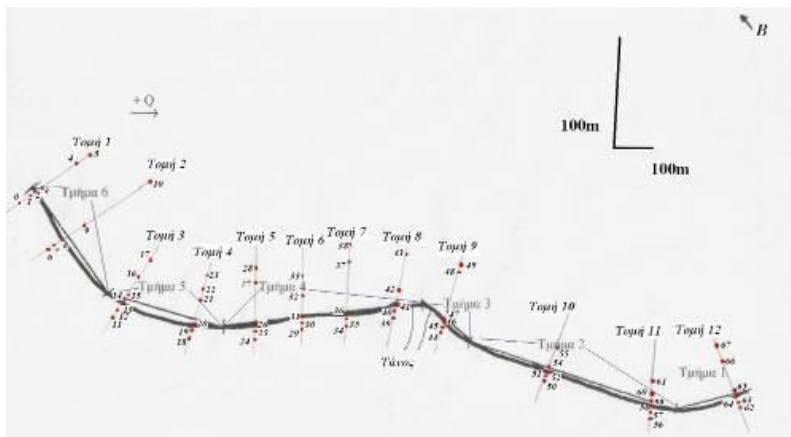
Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα ιζηματολογικά και μορφομετρικά χαρακτηριστικά της παραλιακής ζώνης του Παράλιου Άστρους Κυνουρίας σε σχέση με το υφιστάμενο

υδροδυναμικό καθεστώς με σκοπό να διερευνηθεί εάν αυτή βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας από πλευράς εξέλιξης.

## 2. Μεθοδολογία

Η γεωμορφολογική αποτύπωση έγινε μετά από παράκτια χαρτογράφηση σε τοπογραφικά διαγράμματα (1:5.000) και τη χρήση αεροφωτογραφιών της ΓΥΣ (1960 και 1989 κλίμακας 1:30000), ενώ συνελλέγησαν και πολλές φωτογραφίες.

Για τον προσδιορισμό των ιζηματολογικών (κοκκομετρικών) χαρακτηριστικών συνελλέγησαν 118 επιφανειακά δείγματα ιζήματος κατά μήκος 12 τομών κάθετων στην ακτογραμμή (Σχήμα 2), τα οποία ακολούθως αναλύθηκαν κοκκομετρικά σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Folk (1980).



Σχήμα 2. Σκαρίφημα με θέσεις τομών και δειγμάτων ιζήματος και τομέων στερεομεταφοράς

Ο προσδιορισμός του σημαντικού ύψους των κυμάτων σε συνθήκες βαθιών νερών ( $H_{so}$ ) όπως και μέγιστες τιμές του φάσματος της περιόδου των ( $T_m$ ) πραγματοποιήθηκαν με την αξιοποίηση των ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής, όπως αυτά προκύπτουν από μέσες ετήσιες τιμές του Άτλαντα Ανέμου και Κύματος της Ανατολικής Μεσογείου (Αθανασούλης και Σκαρσουλής, 1991) και χρησιμοποιώντας τις προγνωστικές εξισώσεις του CERC (1984):

$$H_{so} = 5,112 \times 10^{-4} W F^{0.5} \quad (1)$$

$$T_m = 6,238 \times 10^{-2} (W F)^{0.33} \quad (2)$$

όπου,  $W$  είναι η ένταση του ανέμου (m/s), η οποία σχετίζεται με την μετρημένη ταχύτητα της ( $U$ ), μέσω της σχέσης  $W=0,71 U^{1,23}$ ,  $F$  (fetch) είναι η απόσταση ανάπτυξης (σε m) που έχει στην διάθεσή του για να αναπτυχθεί ο κυματισμός κάνοντας τη παραδοχή ότι ο άνεμος πνέει ικανό χρονικό διάστημα, ώστε ο κυματισμός να λάβει το μέγιστο ύψος του. Η σημαντική περίοδος των κυμάτων ( $T_s$ ) δίνεται από την σχέση:  $T_s=0,95 T_m$ .

Το ύψος των κυμάτων λίγο πριν τη θραύση των εκτιμάται με βάση την εξίσωση του Komar (1998):

$$H_b / H_{so} = 0,563 (H_{so} / L_o)^{0,2} \quad (3)$$

όπου,  $L_o$  είναι το μήκος κύματος ( $L_o = gT^2 / 2\pi$ ) σε συνθήκες βαθιών νερών.

Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα (closure depth) λόγω των προσερχόμενων μεγίστων κυμάτων ( $h_c$ ) υπολογίζεται με βάση τη σχέση του Hallermeier (1981) που αναφέρεται σε περιπτώσεις κυμάτων θύελλας (όταν η εμφάνισή των δεν ξεπερνά τις 12 ώρες ετησίως):

$$h_c = 2,28 H_e - 68,5 \left( \frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad (4)$$

όπου, ( $H_e$ ): το ύψος των κυμάτων θύελλας και ( $T_e$ ): η αντίστοιχη περίοδος των, που στη συγκεκριμένη περίπτωση παίρνουμε τα μεγαλύτερα εμφανιζόμενα ανεμογενή κύματα.

Το μέγιστο ύψος αναρρίχησης ( $R$ ) των κυμάτων πάνω στην παραλία, σε σχέση με τη μέση στάθμη της θάλασσας, δίνεται από την εξίσωση (Komar, 1998):

$$R = 0,36 \cdot g^{0,5} \cdot S \cdot H_{so}^{0,5} \cdot T \quad (5)$$

όπου,  $S$  είναι η εφαπτομένη κλίση της παραλίας ( $5^\circ$  για το βόρειο τμήμα και  $8^\circ$  για το νότιο τμήμα).

Η δυνητική παράκτια στερεομεταφορά  $Q_l$  ( $m^3/s$ ) που οφείλεται στα επιμήκη ρεύματα (κυματικής προέλευσης) δίνεται από την εξίσωση (Komar, 1998):

$$Q_l = (0,39 \times P_{ls}) / (g \times (\sigma - \rho) \times a') \quad (6),$$

όπου ( $\sigma$ ) και ( $\rho$ ) είναι οι πυκνότητες ιζήματος ( $2650 \text{ kg/m}^3$ ) και θαλασσινού νερού ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ), αντίστοιχα και  $a' = 0,6$  (πορώδες άμμου) και ( $P_{ls}$ ) είναι η ροή ενέργειας που εισέρχεται στην ζώνη κυματαγωγής (μετά την θραύση των κυμάτων και η οποία διαμορφώνει το επίμηκες παράκτιο ρεύμα:

$$P_{ls} = 0,05 \times \rho \times g^{3/2} \times H_{so}^{5/2} \times \sin 2a_0 \times (\cos a_0)^{1/4} \quad (7)$$

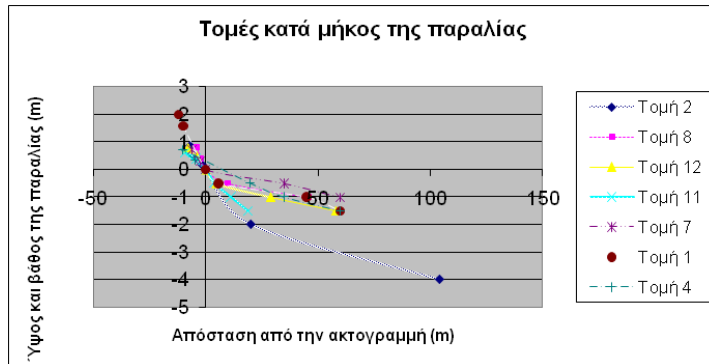
όπου,  $H_o$  είναι το σημαντικό ύψος των κυμάτων στα βαθιά νερά, ( $a_o$ ) είναι η γωνία μεταξύ των γραμμών κορυφής των κυμάτων και της ακτογραμμής, καθώς οι κοντά στην ακτογραμμή ισοβαθείς είναι παράλληλες ή σχεδόν παράλληλες προς αυτήν.

### 3. Αποτελέσματα - Συζήτηση

#### 3.1. Γεωμορφολογία της παραλιακής ζώνης

Η εξεταζόμενη παραλιακή ζώνη (beach zone) χαρακτηρίζεται ως παραλία εφαπτόμενη της ακτογραμμής (shoreline beaches) έχοντας τα χαρακτηριστικά εγκιβωτισμένης παραλίας καθώς αναπτύσσεται ανάμεσα σε δύο ορεινά ακρωτήρια έχοντας τα ιζήματα της ζώνης διαβροχής της διευθετημένα από την κυματική δράση και την εξαρτώμενη από αυτή επιμήκη παράκτια κυκλοφορία (surf alignment). Η παρουσία των εκβολών του ποταμού Τάνου την χωρίζει σε δύο επιμέρους τμήματα το βόρειο (Καναλάκια Βάλτου) και το νότιο που φθάνει στον ορεινό όγκο (το Ακρ. Άστρους) όπου ευρίσκεται η πόλη του Παράλιου Άστρους.

Το ανάγλυφο της παραλιακής ζώνης είναι ομαλό, με το υψηλότερο σημείο της να βρίσκεται μόλις 2m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, ενώ και υποθαλάσσια οι κλίσεις είναι μικρές (5%), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Τοπογραφικές τομές κατά μήκος της παραλίας. (Τομές 1-8 βόρεια της κόιτης του Τάνου και οι τομές 9-12 νότια της κόιτης του Τάνου)

Κατά μήκος της παραλιακής ζώνης παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικές *συγκεντρικές αμμώδεις ζώνες* (berms) που σε αρκετά σημεία ήταν και τρεις με μικρή υψομετρική διαφορά (περί τα 10 cm) οι οποίες φιλοξενούν ημισεληνοειδούς σχηματισμούς (beach cusps). Οι αποστάσεις μεταξύ των ημισεληνοειδών σχηματισμών, ιδιαίτερα στο μέτωπο της παραλίας ποικίλουν από 1,5 m μέχρι και 8 m. Η εμφάνιση των μεγαλύτερων ημισεληνοειδών σχηματισμών στο μέτωπο της παραλίας (beach cusps) πάνω από μικρότερους σχηματισμούς υποδηλώνει τη διαδοχική δράση κυμάτων διαφορετικού ύψους.

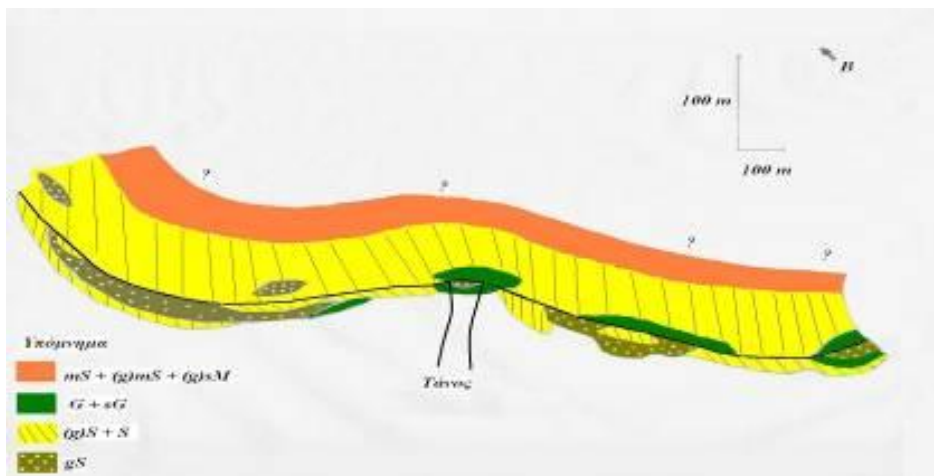
Η περιοχή των εκβολών χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα αβαθής (βάθη <1 m σε απόσταση μέχρι και 60 m), ενώ στο βόρειο τμήμα της περιοχής η παρουσία του παραλιακού δρόμου σε απόσταση 25 με 30m από την ακτογραμμή, αφενός έχει αποκόψει την παραλιακή ζώνη από τη φυσική της συνέχεια προς την παρακείμενη πεδινή ενδοχώρα και αφετέρου τη μετατρέπει σε βάλτο σε περιόδους βροχοπτώσεων (Εικόνα 1)

### 3.2 Κοκκομετρία

Εξετάζοντας την περιοχή μελέτης μπορούμε να διακρίνουμε μια ζωνώδη κατανομή (Σχήμα 4, Πίνακας 1), η οποία δείχνει ότι το υλικό έχει ταξινομηθεί κοκκομετρικά από τα προσερχόμενα κύματα σε βάθος χρόνου. Η προς τη θάλασσα περιοχή αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ιλυ+άργιλο με μικρή παρουσία άμμου (sM), η οποία αυξάνεται προς την ακτογραμμή (mS) (Πίνακας 1). Σε βάθη μικρότερα από 2m επικρατεί η άμμος (S) και άμμος με λίγα χαλίκια (gS). Εμφανίσεις κροκαλούχου άμμου (gS) έχουμε κυρίως σε περιοχές κοντά στις εκβολές του ποταμού Τάνου. Τέλος ευρέθησαν μικρές εμφανίσεις με αυξημένα ποσοστά κροκαλών (έως και 80%) (αμμούχες κροκάλες: sG), οι οποίες πιθανόν να οφείλονται σε τοπικούς παράγοντες ή ακόμη και σε ανθρώπινη παρέμβαση (όπως οι αμμοληψίες).



Εικόνα 1. Η παραλιακή ζώνη του Παράλιου Άστρου βόρεια των εκβολών του ποταμού Τάνου. Μεκόκκινα βέλη υποδεικνύεται η πεδινή περιοχή που αποκόπτεται από την παραλιαλόγω του παραλιακό δρόμο και η οποία πλημμυρίζει σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων.



Σχήμα 4. Σχήμα κατανομής των ιζημάτων κατά Folk (1980).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης σε μονάδες (φ) και χαρακτηρισμό των δειγμάτων σύμφωνα με τον Folk (1980) οι θέσεις των δειγμάτων δίνονται στο Σχήμα 2. (S: Άμμος, (g)S: ελαφρά κροκαλούχος άμμος, (g)mS:ελαφρά κροκαλούχος, πυλούχος Άμμος, G: κροκάλες, sG: αμμούχες κροκάλες, sM:αμμούχος πηλός, mS: πηλούχος άμμος).

Δείγμα	Mz (φ)	Ονομασία	Δείγμα	Mz (φ)	Ονομασία	Δείγμα	Mz (φ)	Ονομασία
0	1,96	(g)S	23	2,81	(g)S	46	2,73	(g)S
1	1,54	(g)S	24	2,06	gS	47	-1,99	sG
2	2,52	S	25	2,77	S	48	2,86	(g)S
3	0,09	gS	26	1,99	(g)S	49	3,15	(g)S
4	2,71	S	27	2,92	(g)S	50	-0,78	(g)S
5	2,00	S	28	2,23	gS	51	2,53	gS
6	1,85	(g)S	29	0,55	sG	52	-1,74	sG
7	2,18	gS	30	2,56	gS	54	-3,57	G
8	0,03	(g)S	31	2,84	(g)S	55	3,03	S
9	3,03	S	32	2,89	S	56	1,49	(g)S
10	3,13	(g)mS	33	2,97	S	57	2,14	(g)S
11	1,89	(g)S	34	1,62	S	58	0,62	(g)S
12	1,75	gS	35	2,62	(g)S	59	-0,67	gS
13	2,09	S	36	2,87	S	60	3,19	(g)S
14	2,51	(g)S	37	2,42	(g)S	61	3,25	S
15	3,10	(g)S	38	2,61	(g)S	62	0,23	(g)S
16	2,79	S	39	-1,79	G	63	-0,67	sG
17	2,83	S	40	2,32	(g)S	64	-0,14	(g)S
18	2,36	S	41	0,43	gS	65	-0,29	sG
19	0,74	gS	42	2,69	S	66	3,06	(g)S
20	1,88	(g)S	43	2,68	S	67	3,53	mS
21	2,46	(g)S	44	-0,92	sG			
22	2,93	S	45	0,85	gS			

## 3.3. Παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς

Το κυματικό καθεστώς καθορίζεται από τα κύματα που προσέρχονται από Β, ΒΑ, Α και ΝΑ διευθύνσεις και των οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά για τις διάφορες εντάσεις ανέμου παρατίθενται στο Πίνακα 2.

Αν και οι συχνότερα εμφανιζόμενοι άνεμοι είναι οι Β και ΒΑ, τα κύματα με τα μεγαλύτερα ύψη (5,9 m) και αντιστοιχών περιόδων (11 sec) προέρχονται από ΝΑ, λόγω της μεγάλης απόστασης ανάπτυξης του κυματισμού. Γενικά το κυματικό καθεστώς χαρακτηρίζεται ως ήπιο με συνήθη κύματα <1m ενώ στην εξασθένηση της κυματικής ενέργειας που τελικά φθάνει στην ακτογραμμή συντελεί και το ομαλό (κλίσεις <8%) και σχετικά ρηχό υποθαλάσσιο ανάγλυφο. Έτσι, το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα δεν ξεπερνά τα 3 m, ενώ τα μεγαλύτερα κύματα Β, ΒΑ και Α διευθύνσεων έχουν δυνατότητα ανάβασης μέχρι το υψόμετρο του μισού περίπου μέτρου με εξαίρεση των ΝΑ κυμάτων 'θύελλας' που μπορούν να αναρριχηθούν μέχρι τα 2 m για το νότιο τμήμα όπου έχουμε και μεγαλύτερη κλίση και το 1m για το βόρειο τμήμα όπου η κλίση είναι μικρότερη (Πίνακας 3).

Για τον θεωρητικό προσδιορισμό της στερεομεταφοράς στη ζώνη κυματώγης κατά μήκος της ακτογραμμής η περιοχή λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού της στα προσερχόμενα κύματα χωρίστηκε σε 6 τμήματα (βλέπε Σχήμα 2). Η δυνητική παράλια στερεομεταφορά για κάθε τμήμα δίνεται στο Πίνακα 4, από τον οποίο προκύπτει ότι τα κύματα που οφείλονται σε Α και ΝΑ άνεμους προκαλούν στερεομεταφορά προς νότο με τη μεγαλύτερη τιμή της να αφορά τα τμήματα 4 και 6 αντιστοίχως και τη μικρότερη τα τμήματα 6 και 1 αντιστοίχως. Αντιθέτως, τα κύματα που οφείλονται σε Β και ΒΑ ανέμους προκαλούν στερεομεταφορά προς βορρά. Για δε τα κύματα των Β ανέμων έχουμε την μεγαλύτερη προς βορρά στερεοπαροχή στο τμήμα 5, ενώ στο τμήμα 6 έχουμε στερεοπαροχή προς νότο.

Το σύνολο της παραλιακής στερεομεταφοράς που γενικά (για το σύνολο της εξεταζόμενης παραλιακής ζώνης) είναι προς βορρά και είναι της τάξης των  $74,3 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ . Με βάση δε τη φορά της στερεομεταφοράς στα επιμέρους τμήματα της, μπορούμε να διακρίνουμε επιμέρους ζώνες σύγκλισης και απόκλισης που συνδέονται με μια δυνητική απόθεση ή αφαίρεση υλικού. Έτσι ζώνες σύγκλισης έχουμε μεταξύ των τμημάτων 3 και 4 ενώ αντίστοιχα ζώνες απόκλισης προκύπτουν μεταξύ των τμημάτων 2 και 3 και 5-6.

Πίνακας 2. Κυματικά χαρακτηριστικά για διαφορετικής έντασης (U) και διεύθυνσης (Β, ΒΑ, Α και ΝΑ) ανέμων (Hos: Ύψος κυμάτων στα βαθιά νερά, To: περίοδος των κυμάτων, f (%): Συχνότητα, Hb: Ύψος θραύσης κυμάτων (m), db: Βάθος θραύσης κυμάτων (m)).

Άνεμοι	Β (F=19 km)					ΒΑ (F=13 km)				
	Hos (m)	To (sec)	f (%)	Hb (m)	db (m)	Hos (m)	To (sec)	f (%)	Hb (m)	db (m)
1-3	0,07	1,59	1,43	0,09	0,09	0,06	1,40	0,97	0,07	0,07
4-6	0,21	2,31	3,15	0,25	0,27	0,17	2,04	2,58	0,20	0,22
7-10	0,40	2,86	4,87	0,45	0,52	0,33	2,52	3,11	0,37	0,43
11-16	0,71	3,45	5,59	0,77	0,91	0,59	3,05	3,77	0,63	0,75
17-21	1,08	3,97	4,24	1,14	1,39	0,89	3,50	2,59	0,93	1,15
22-27	1,48	4,40	2,54	1,53	1,90	1,22	3,88	1,37	1,25	1,57
28-33	1,94	4,81	1,40	1,96	2,48	1,60	4,24	0,59	1,60	2,05
34-40	2,45	5,20	0,52	2,45	3,15	2,03	4,59	0,19	2,00	2,60
>40	3,04	5,58	0,14	2,99	3,89	2,51	4,92	0,09	2,44	3,22



<i>U</i> (knots)	A (F=30,5 km)					NA (F=306 km)				
	<i>Hos</i> (m)	<i>To</i> (sec)	<i>f</i> (%)	<i>Hb</i> (m)	<i>db</i> (m)	<i>Hos</i> (m)	<i>To</i> (sec)	<i>f</i> (%)	<i>Hb</i> (m)	<i>db</i> (m)
<b>1-3</b>	0,09	1,86	0,62	0,11	0,11	0,27	3,98	0,42	0,38	0,35
<b>4-6</b>	0,27	2,70	1,34	0,32	0,34	0,84	5,77	1,09	1,08	1,08
<b>7-10</b>	0,51	3,35	1,36	0,58	0,65	1,61	7,16	1,17	1,99	2,07
<b>11-16</b>	0,90	4,04	1,14	0,99	1,15	2,85	8,64	0,94	3,38	3,65
<b>17-21</b>	1,37	4,64	0,46	1,47	1,76	4,34	9,92	0,38	5,00	5,56
<b>22-27</b>	1,87	5,14	0,17	1,96	2,40	5,93	11,0	0,20	6,70	7,61
<b>28-33</b>	2,45	5,62	0,08	2,52	3,14					
<b>34-40</b>	3,11	6,08	0,04	3,15	3,99					

Πίνακας 3. Μέγιστο βάθος που παρατηρείται αλλαγή στο υποθαλάσσιο προφίλ (*hc*) της παραλίας καθώς και το μέγιστο ύψος αναρρίχησης των κυμάτων (*R*).

	<i>Hc</i> (m)	<i>R</i> (m)	
		Βόρειο τμήμα	Νότιο τμήμα
<b>B</b>	-6,90	0,87	1,50
<b>BA</b>	-5,70	0,70	1,23
<b>A</b>	-7,06	0,96	1,69
<b>NA</b>	-13,50	2,40	4,20

Πίνακας 4. Μέση ετήσια δυνητική παράλια στερεομεταφορά *Qs* (104 m<sup>3</sup>/year) στα επιμέρους τμήματα της παραλίας για διάφορες τις διευθύνσεις των προσερχόμενων κυμάτων (η θετική φορά είναι προς νότο).

	Τμήμα 1	Τμήμα 2	Τμήμα 3	Τμήμα 4	Τμήμα 5	Τμήμα 6	Συνολικά
<b>B</b>	-39,00	-50,22	-20,01	-46,53	-53,65	12,36	-197,05
<b>BA</b>	+11,90	-3,49	-12,98	+8,73	-1,75	-17,18	-14,78
<b>A</b>	+6,03	+5,56	+1,94	+7,54	+7,30	+1,07	+29,44
<b>NA</b>	-72,61	+33,70	+83,63	-55,51	+26,76	+92,12	+108,09
<b>Σύνολο</b>	-93,68	-14,44	+52,57	-85,77	-21,34	+88,36	-74,31

#### 4. Συμπεράσματα

Η εξεταζόμενη παραλιακή ζώνη Το Παράλιο Άστρος αναπτύσσεται εφραπτομενικά της ακτογραμμής, με ευθυγράμμιση στη ζώνη διαβροχής, η οποία οφείλεται κυρίως στη κυματική δράση και την εξαρτώμενη από αυτή επιμήκη παράκτια κυκλοφορία. Κοκκομετρικά συνίσταται κυρίως από άμμο (S) με μικρή παρουσία χαλικιών ενώ τοπικά έχουμε την επικράτηση χονδρόκοκκου υλικού με χαρακτηριστικότερη τη περιοχή μπροστά από τις εκβολές του ποταμού Τάνου. Αν και ο επικρατέστερος άνεμος στην περιοχή είναι ο Βόρειος, τα μεγαλύτερα κύματα (>5 m) προσέρχονται από ΝΑ, λόγω της μεγάλης απόστασης ανάπτυξης του κυματισμού (306 km). Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα είναι γενικά <6 m, με εξαίρεση τα μέγιστα ΝΑ κύματα που δύναται να τα κινητοποιούν μέχρι βάθους 13,5 m. Τα κύματα Β, ΒΑ και Α προέλευσης μπορούν να αναρριχώνται μέχρι ύψους 1,7 m ενώ τα ΝΑ προέλευσης >4 m. Η εκτιμώμενη παραλιακή επιμήκης στερεομεταφορά είναι της τάξης των  $74 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$  και έχει διεύθυνση από νότο προς βορρά. Τέλος, η σημαντικότερη ανθρώπινη παρέμβαση στην περιοχή μελέτης είναι η κατασκευή του παραλιακού δρόμου στη περιοχή βόρεια των εκβολών του ποταμού Τάνου, ο οποίος ουσιαστικά έχει αποκόψει την παραλία από την παρακείμενη ενδοχώρα, η οποία, μάλιστα, σε περιόδους βροχοπτώσεων μετατρέπεται σε έλος, ενώ παρατηρήθηκαν και αμμοληψίες (παράνομες).

#### Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς και ιδιαίτερα ο κ. Σ. Πούλος επιθυμεί να εκφράσει τις ευχαριστίες του στο Ερευνητικό Πρόγραμμα Καποδίστριας του ΕΚΠΑ (70/4/7818) για κάλυψη μέρους των εξόδων συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων.

#### Βιβλιογραφία

Αθανασούλη Γ. Α. και Σκαρσούλη Ε. Κ., 1992, Άτλας Ανέμου και Κύματος, βορειοανατολικής Μεσογείου θαλάσσης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Ζαμπάκα Ι. Δ., 1992. Γενική Κλιματολογία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κανελλοπούλου, Ε. Α., 2000. Ρύπανση του Περιβάλλοντος και Στοιχεία Εφαρμοσμένης Κλιματολογίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εκδότες Αθανασόπουλος – Παπαδάμης, Αθήνα

Πούλος Σ. Ε., 2001. Εφαρμοσμένη Ωκεανογραφία και Περιβάλλον. Σημειώσεις για το μάθημα «Εφαρμοσμένη Ωκεανογραφία », Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 144 σ.

Υδρογραφική Υπηρεσία, 1991. Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων

Cerc (Coastal Engineering Research Centre), 1984. Coastal Engineering Manual, US Army Corps of Engineers, Washington DC 21314.

Folk P.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas.

Komar P.D., 1998. Beach processes and Sedimentation (second edition), Prentice hall, New Jersey 07458, 544 p.

## ΤΟ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΟΡΙΣΣΙΩΝ (ΝΗΣΟΣ ΚΕΡΚΥΡΑ)

Μιλοβάνοβιτς Μ.<sup>1</sup>, Τομαρά Β.<sup>2</sup>, Πούλος Σ.<sup>1</sup>, Αλεξόπουλος Ι.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολης-Ζωγράφου, Αττική 15784.

<sup>2</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωφυσικής-Σεισμολογίας, Πανεπιστημιούπολης-Ζωγράφου, Αττική 15784.

### Περίληψη

Η λιμνοθάλασσα Κορισσιών βρίσκεται στην νοτιοδυτική Κέρκυρα έχοντας επιφάνεια περί τα 4,2 km<sup>2</sup> και βάθος <2m. Μεταξύ της λιμνοθάλασσας και του Ιονίου παρεμβάλλεται μια στενή (< 250 m) λωρίδα γης ενώ η επικοινωνία της με τη θάλασσα γίνεται μέσω ενός τεχνητού διαύλου. Η τροφοδοσία της λεκάνης με γλυκό νερό γίνεται επιφανειακά (έκταση υδρολογικής λεκάνης περί τα 15 km<sup>2</sup> με μέγιστο υψόμετρο 319 m) αλλά και υπόγεια, όπως συνάγεται από το μεγάλο αριθμό των παρόχθιων πηγαδιών, που υποδηλώνουν τη παρουσία ενός πλούσιου φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα. Ο πυθμένας της καλύπτεται από λεπτόκοκκα (ιλυοαμμώδη) ιζήματα. Το υδρολογικό της ισοζύγιο περιλαμβάνει μια υγρή (Οκτώβριος-Μάρτιος) και μια ξηρή (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) περίοδο. Στη διάρκεια της υγρής περιόδου ο όγκος του εισρέοντος γλυκού νερού (5,3×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), είναι διπλάσιος του όγκου της λίμνης (2,5×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>), γεγονός που προκαλεί την εκφόρτίσή της προς τη θάλασσα και τη διαμόρφωση χαμηλής αλατότητας (<20 ppt) στη λεκάνη της σε σχέση με την αλατότητα της θάλασσας (~38 ppt). Κατά τη διάρκεια όμως της ξηρής περιόδου, ο όγκος του γλυκού νερού (1,2 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) είναι πού μικρότερος από τον όγκο της, με αποτέλεσμα την εισροή θαλασσινού νερού που σε συνδυασμό με την υψηλή εξάτμιση διαμορφώνουν υπεράλμυρες (>50 ppt) υδρολογικές συνθήκες.

### GEOMORPHOLOGIC AND HYDROLOGIC ENVIRONMENT OF KORISSIA LAGOON (CORFU ISLAND)

Milovanovic M.<sup>1</sup>, Tomara B.<sup>2</sup>, Poulos S.<sup>1</sup>, Alexopoulos I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis-Zografou, Athens 15784

<sup>2</sup>National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geophysics-Seismology, Panepistimioupolis-Zografou, Athens 15784

### Abstract

Korissia lagoon located in the southwest end of Corfu separated from the open Ionian Sea by a narrow (<250 m) strip of land. It has a surface of 4,2 km<sup>2</sup> and depths <2m, communicating with the sea via an artificial-dredged channel. The bed of the lagoon consists of fine-grained sediment (sandy silt – silty sand). Its drainage basin covers an area of 16 km<sup>2</sup> and is characterized by low relief. It receives the freshwater inputs form a low relief (maximum elevation 319 m) of the drainage basin. The influx of fresh water is surficial includes also an underground flow, as indicated by the presence of a phreatic aquifer and a large number of wells at its nearby surrounding area. The water budget of the lagoon is characterised by a wet (October-March) and a dry (April-September) period. During the wet period the incoming volume of fresh water (5,3×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) is much larger than its total volume (2,5 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>); this implies an outflow of lagoonal waters whilst lagoonal waters are characterised by relatively lower salinity values (<20 ppt) compare to those of the Ionian Sea (38 ppt). In contrast, during the dry period, the fresh water influx (1,2 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) is smaller

than the volume of the lagoon: this induces an influx of sea water, which in association with the high levels of evaporation modulated hyper-saline (>50 ppt) hydrologic conditions within the lagoonal basin.

**Λέξεις κλειδιά:** Λιμνοθάλασσα Κορισίων, γεωμορφολογία, υδρολογία, υδατικό ισοζύγιο.

**Key words:** Korissia lagoon, geomorphology, hydrology, water budget.

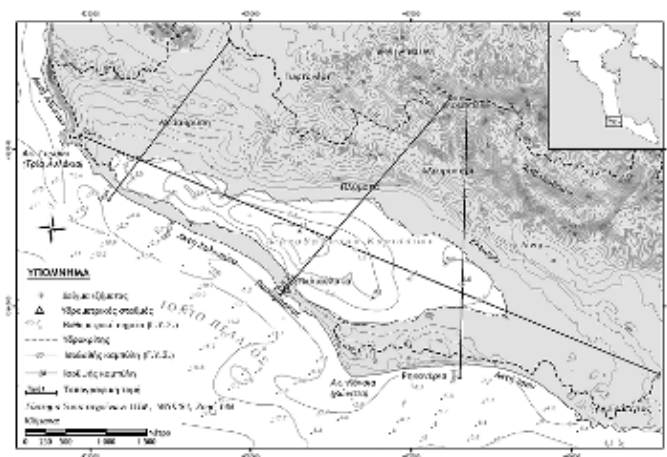
## 1. Εισαγωγή

Οι λιμνοθάλασσες είναι παράκτιες, συνήθως αβαθείς, λεκάνες που αναπτύσσονται παράλληλα προς την ακτογραμμή και διαχωρίζονται από την θάλασσα με μια στενή λουρίδα γης (beach barrier). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των είναι το αποτέλεσμα των τοπικών κλιματολογικών (π.χ. ύψος βροχής), υδρογεωλογικών (ύπαρξη ή μη στεγανού υποβάθρου) και παράκτιων ωκεανογραφικών (παλίρροια, κύματα) συνθηκών. Σε γενικές γραμμές, είναι «υπό πίεση» περιβάλλοντα καθώς συχνά επικρατούν ακραίες συνθήκες, υψηλής αλατότητας, (Davis and Fitzgerald, 2004), ενώ ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία έχει η ανταλλαγή γλυκού και αλμυρού νερού με τη παρακείμενη θάλασσα.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αποτυπώσει τα γεωμορφολογικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της λιμνοθάλασσας των Κορισίων και να διερευνήσει το υδρολογικό της ισοζύγιο τόσο κατά τη ξηρή όσο και την υγρή περίοδο σε σχέση με τις υδρολογικές της συνθήκες.

## 2. Περιοχή μελέτης

Η λιμνοθάλασσα Κορισίων αποτελεί παράκτια αβαθή λιμνοθάλασσα (<2 m), η οποία διαχωρίζεται από την θάλασσα με μία λωρίδα άμμου και επικοινωνεί με αυτή μέσω τεχνητού διαύλου. Βρίσκεται στην ΝΔ Κέρκυρα και οριοθετείται στα βόρεια από το Γυφτονέρι και τα Χλομοτιανά, στα δυτικά από την Μέσα Βρύση και το λόφο Κοντράκα και στα ανατολικά από το Καβαλοβούνι και τον Αγ. Γεώργιο (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Χάρτης περιοχής μελέτης

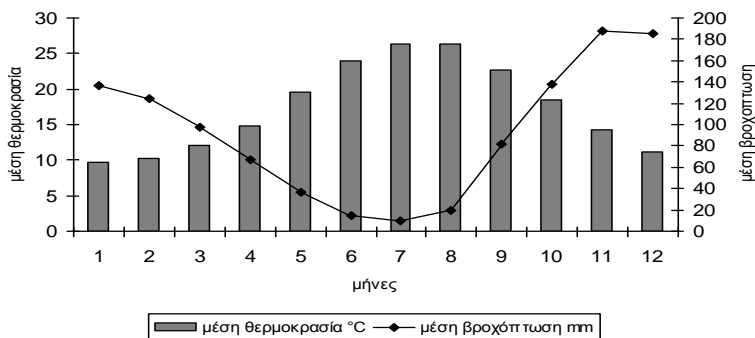
Το αλπικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής αποτελείται από ιζήματα της Ιόνιας Ενότητας (Aubouin, 1959, Jacobshagen, 1986), ωστόσο οι εμφανίσεις αλπικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης είναι περιορισμένες, καθώς οι αλπικοί σχηματισμοί καλύπτονται σχεδόν

εξολοκλήρου από νεότερα ιζήματα. Η περιοχή μελέτης αποτελεί μια μεταλλική λεκάνη ιζηματογένεσης, με κατώτερη στρωματογραφική ενότητα μια ακολουθία μαργών, Πλειστοκαινικής ηλικίας, η οποία επικάθεται ασύμφωνα στο αλπικό υπόβαθρο και αποτελεί το αδιαπέρατο υποκείμενο στρώμα του φρεάτιου υδροφόρου οριζοντα. Ειφανεϊκά, η λεκάνη καλύπτεται σχεδόν εξολοκλήρου από αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση σύγχρονων και παλαιών θινών που απαντώνται στην περιοχή (Alexopoulos et al., 2007).

Συγκεκριμένα, οι παλαιο-θίνες απαντούν στα ΒΑ της λιμνοθάλασσας και αναπτύσσονται παράλληλα και σε συνέχεια με την τεκτονική σχέση μεταξύ των ιζημάτων του αλπικού υπόβαθρου και των νεότερων ιζημάτων, με την μορφή χαμηλών λόφων διατεταγμένων με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, οριοθετώντας μία παλαιο-ακτή. Οι νέες θίνες αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα την λιμνοθάλασσας κατά μήκος της ακτογραμμής και δομούν την διαχωριστική λωρίδα μεταξύ της λιμνοθάλασσας και της ανοιχτής θάλασσας (Alexopoulos et al, 2007, Λεοντάρης, 1976).

Η λιμνοθάλασσα Κορισίων παλαιότερα αποτελούσε κλειστή λεκάνη, το 1923 όμως πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη του τεχνητού διαύλου, με σκοπό την ελεύθερη επικοινωνία και ανταλλαγή υδάτων μεταξύ της λιμνοθάλασσας και της ανοιχτής θάλασσας. Ο διαυλος αυτός έχει πλάτος 8,40m, μήκος περίπου 260m και τα βάθη του κυμαίνονται από 0,50 έως 0,71 m. Στην έξοδο του προς την θάλασσα είναι προστατευμένος από την κυματική δράση με ογκόλιθους τεχνητά τοποθετημένους (Alexopoulos et al., 2007).

Το κλίμα στην λεκάνη απορροής της λιμνοθάλασσας είναι υγρό Μεσογειακό με πολλές βροχοπτώσεις καθ' όλο το έτος με εξαίρεση τους καλοκαιρινούς μήνες (σχήμα 2.). Η μέση θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από 26,4°C τον Ιούλιο έως 9,7°C τον Ιανουάριο. Οι τιμές μέσης βροχόπτωσης διαφοροποιούνται πιο έντονα κατά την διάρκεια του έτους σε σχέση με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας, με τις υψηλότερες τιμές να φτάνουν τα 187,4 mm τον μήνα Νοέμβριο και τις χαμηλότερες να αγγίζουν τα 9,7 mm τον Ιούλιο (Ε.Μ.Υ. 2007).



Σχήμα 2. Σύγκριση μέσης μηνιαίας θερμοκρασία αέρα με την μέση μηνιαία βροχόπτωσηση.

Η τροφοδοσία της λιμνοθάλασσας με γλυκό νερό γίνεται τόσο μέσω της επιφανειακής απορροής των κατακρημνισμάτων όσο και μέσω των υπόγειων υδάτων που κατεισδύουν στην υδρογεωλογική λεκάνη της λιμνοθάλασσας. Απόδειξη της υδροφορίας των επιφανειακών σχηματισμών αποτελεί η ύπαρξη πηγαδιών γύρω από τη λιμνοθάλασσα, η αλατότητα των οποίων δε φαίνεται να επηρεάζεται από τις εποχιακές μεταβολές της αλατότητας της λιμνοθάλασσας (Diamantopoulou et al., 2006, Alexopoulos et al., 2007)

### 3. Μεθοδολογία

Για τη γεωμορφολογική διερεύνηση της λιμνοθάλασσας των Κορισσίων και της υδρολογικής της λεκάνης, λόγω έλλειψης τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ μικρής κλίμακας χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1: 20 000 που κατασκευάστηκε με βάση τοπογραφικά σημεία από Πινακίδες DTM του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και κάνοντας χρήση του λογισμικού ArcGIS 8.3. Τα αποτελέσματα των τοπογραφικών τομών σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που υλοποιήθηκαν κατά τις επισκέψεις που έγιναν στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση της γεωμορφολογίας. Η βιομετρία της λιμνοθάλασσας προέκυψε από τις μετρήσεις με το φορητό βαθόμετρο Hondex, οι οποίες στη συνέχεια μετατραπήκαν σε ισοβαθείς καμπύλες με την χρήση του ArcGIS.

Οι μετρήσεις αλατότητας και θερμοκρασίας έγιναν με φορητό θερμοσαλινόμετρο (YSI 63), οι δε μετρήσεις της ταχύτητας του νερού στον δίαυλο έγιναν με το ρευματογράφο της VALEPORT. Ακόμη συλλέχτηκαν 10 δείγματα από τον πυθμένα της λιμνοθάλασσας με την χρήση αρπάγης τύπου van Veen, η δε κοκκομετρική των ανάλυσης πραγματοποιήθηκε αραιομετρική μέθοδος Bouyoukou.

Για τον υπολογισμό των επιμέρους παραμέτρων (βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή) του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λιμνοθάλασσας Κορισσίων χρησιμοποιήθηκαν για μεν τη βροχόπτωση (P) οι μέσες μηνιαίες τιμές από το μετεωρολογικό σταθμό της Κέρκυρας, για την περίοδο 1955-1997 (βλ. σχήμα 2) , για δε την εξατμισοδιαπνοή ο τύπος του Turc (1955) (Παπαμηχαήλ, 2001):

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0,90 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (1)$$

όπου, το P αντιστοιχεί στην βροχόπτωση και Lt είναι ο θερμικός δείκτης μέσης θερμοκρασίας του αέρα (Ta) που προκύπτει από τον τύπο

$$Lt = 300 + 25 Ta + 0,05 Ta^3 \quad (2)$$

Ο υπολογισμός της εξάτμισης (E) του νερού της λιμνοθάλασσας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (Beer, 1983):

$$E = Q_e / (\rho L) \quad (3)$$

όπου, η ηλιακή ακτινοβολία (Qe) υπολογίστηκε από δεδομένα για αντίστοιχο γεωγραφικό πλάτος του βόρειου Αιγαίου (Poulos et al, 1997), το ρ είναι η πυκνότητα των νερών της λιμνοθάλασσας και το  $L = 2,46 \cdot 10^6$  J/kg.

Η εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου έγινε ξεχωριστά για την ξηρή (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) και την υγρή (Οκτώβριος-Μάρτιος) περίοδο, όπως αυτές προκύπτουν από τα ύψη των βροχοπτώσεων (βλέπε Σχ. 2). Ακολούθως, υπολογίστηκε για κάθε περίοδο, ο όγκος του νερού (V<sub>Δ</sub>), που δέχεται η λιμνοθάλασσα από το σύνολο της έκτασης (A) της λεκάνης απορροής [V<sub>Δ</sub>=(P-ET)xA], όπως και ο όγκος (V<sub>Σ</sub>) που εισέρχεται απευθείας στην επιφάνεια της (εμβαδού B) και ο οποίος ισούται [V<sub>Σ</sub>= V<sub>ρ</sub>-V<sub>ε</sub>] με τη διαφορά του όγκου του βρόχινου νερού που δέχεται η λιμνοθάλασσα (V<sub>ρ</sub>) και του όγκου που εξατμίζεται (V<sub>ε</sub>).

$$V_{\Delta} = V_{\rho} \pm V_{\epsilon} \quad (4)$$

Ο συνολικός υδάτινος όγκος της λιμνοθάλασσας (V) υπολογίστηκε με την χρήση του 3D Analyst του λογισμικού ArcGIS 8.3.

## 4. Αποτελέσματα-Συζήτηση

### 4.1. Γεωμορφολογία της περιοχής της λιμνοθάλασσας

Η λιμνοθάλασσα είναι επιμήκης παράλληλη προς την ακτή λιμνοθάλασσα, με μήκος 5300 m και πλάτος 1500 m, και με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Το βάθος της λιμνοθάλασσας κυμαίνεται από 0,4 m έως 1,1 m (σχήμα 3). Το μέγιστο βάθος της λιμνοθάλασσας βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της, όπου και το μορφολογικό ανάγλυφο της παρακείμενης ενδοχώρας παρουσιάζεται εντονότερο (μεγαλύτερα υψόμετρα και κλίσεις) σε σχέση με το ανάγλυφο της νοτιοανατολικής περιοχής (σχήμα 1).



Σχήμα 3. Τοπογραφική Τομή4 παράλληλη προς τον επιμήκη άξονα της λιμνοθάλασσας

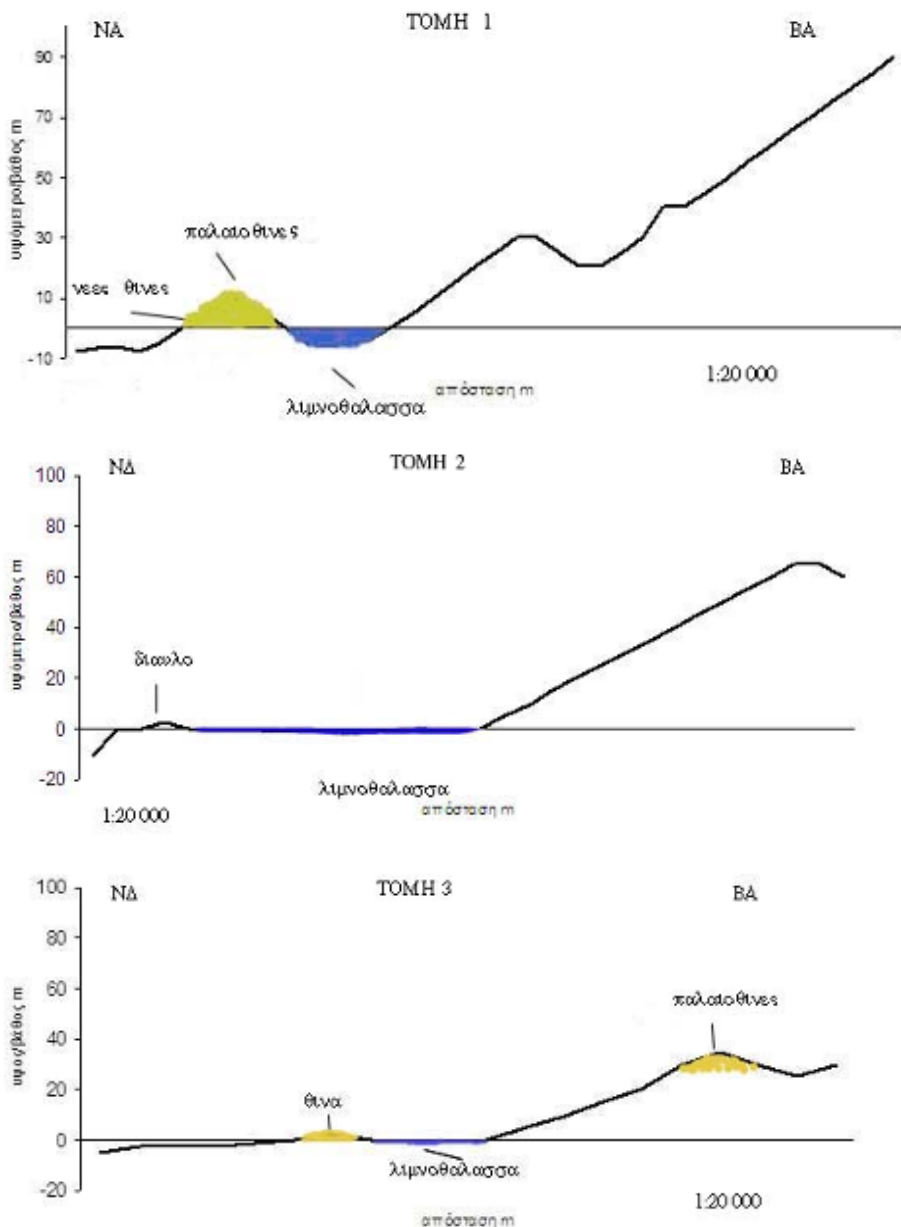
Οι διαχωριστική λωρίδα γης μεταξύ του Ιονίου Πελάγους και της λιμνοθάλασσας έχει πλάτος 250 m και χωρίζεται σε δύο τμήματα από τον τεχνητό διάυλο. Το τμήμα νότια του διαύλου αποτελείται από παλαιές αμμοθίνες με υψόμετρο μέχρι και 15 m και κλίσεις πάνω από 40° (σχήμα 4, τομή 1). Μάλιστα στον πόδα των παλαιών θινών αναπτύσσονται και νέες θίνες. Στο μέτωπο της παραλίας του τμήματος αυτού υπάρχουν τοπικά εμφανίσεις ακτόλιθων, γεγονός που είναι ένδειξη ανάμειξης γλυκού και θαλασσινού νερού. Το μορφολογικό ανάγλυφο σε αυτή την βορειοανατολική πλευρά της λεκάνης απορροής της λιμνοθάλασσας έχει απότομη κλίση ενώ εδώ συναντάμε και το μεγαλύτερο υψόμετρο (90 m) της λεκάνης απορροής (σχήμα 4, τομή 1).

Το τμήμα της λωρίδας γης βόρεια του διαύλου έχει γενικά χαμηλότερες κλίσεις καθώς το υψόμετρο των νέων θινών που φιλοξενεί δεν ξεπερνά τα 2 m (σχήμα 4, τομή 3). Οι νέες θίνες σε μερικά σημεία είναι σταθεροποιημένες με βλάστηση ενώ υπάρχουν και εμβρυακές. Προς την ενδοχώρα το ανάγλυφο σε αυτή την περιοχή (σχήμα 4, τομές 2 και 3) είναι ομαλό με υψόμετρο μέχρι 35 m. Στην βορειοδυτική πλευρά της λεκάνης απορροής της λιμνοθάλασσας συναντάμε τις παλαιοθίνες σε υψόμετρο 35 m, οι οποίες έχουν γενικά διεύθυνση παράλληλη με εκείνη των παλαιοθινών στη νότια πλευρά του διαύλου.

### 4.2. Κοκκομετρία

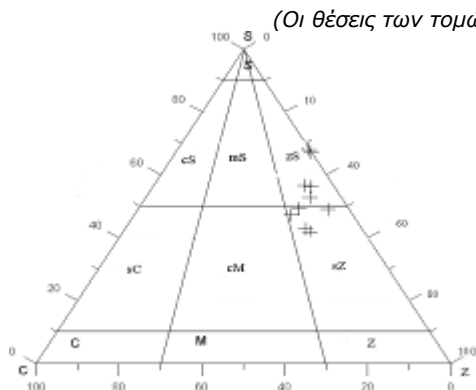
Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης με βάση το ποσοστό σε άμμο, ιλύ και άργιλο (σχήμα 5). Σύμφωνα με την ονοματολογία κατά Folk (1974) δείχνουν ότι το νότιο περιθώριο της λιμνοθάλασσας αποτελείται από αμμούχο ιλύ (sZ) (σημεία δειγματοληψίας: L5, M1, L4, M3, L1), ενώ το βόρειο τμήμα της αποτελείται από ιλυούχο άμμο (zS) (σημεία M2, L2, L3), με εξαίρεση το δείγμα M4 το οποίο είναι αμμούχος ιλύς. Το δείγμα L0 στην ΒΑ άκρη της λιμνοθάλασσας αποτελείται από ιλυούχα άμμο.

Τα αυξημένα ποσοστά της άμμου στη βόρεια πλευρά της λιμνολεκάνης σε συνδυασμό με το χαμηλό ανάγλυφο (<2 m) της διαχωριστικής λουρίδας γης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στη περιοχή αυτή θα πρέπει να βρισκόταν το τελευταίο φυσικό άνοιγμα της, πριν μετατραπεί σε μια παράκτια λίμνη.



Σχήμα 4. Τοπογραφικές τομές κάθετες στην λιμνοθάλασσα





(Οι θέσεις των τομών φαίνονται στο Σχ.1)

Ποσοστά (%) άμμου (S), ιλύος (Z) και αργίλου (C)

a/a	S (%)	Z(%)	C(%)
L0	53	40	7
L1	49	46	5
L2	68	32	0
L3	68	32	0
L4	49	38	13
L5	42	45	13
M1	56	38	6
M2	56	36	8
M3	47	38	15
M4	43	44	13

Σχήμα 5. Κατανομή ιζημάτων του πυθμένα της λιμνοθάλασσας κατά Folk (1974)

οι θέσεις δειγματοληψίας φαίνονται στο σχήμα 1

4.3. Υδρολογία

Η λιμνοθάλασσα Κορυσίων λόγω της ύπαρξης του τεχνητού διαύλου δεν είναι πλέον μια κλειστή λεκάνη αλλά ανταλλάσσει μάζες νερού με το Ιόνιο Πέλαγος.

Η θερμοκρασία του νερού κατά την υγρή περίοδο είναι 15°C (Μάρτιος 2006) και φτάνει τους 24°C (Σεπτέμβριος 2005) κατά την ξηρή περίοδο (Πίνακας 1). Όσο δε αφορά την αλατότητα τον Μάρτιο (υγρή περίοδος) κυμαίνεται περί τα 19 ppt, ενώ το Σεπτέμβριο 2006 (τέλος της καλοκαιρινής ξηρής περιόδου) η αλατότητα ξεπερνάει τις τιμές της θάλασσας (38,5 ppt) φτάνοντας και πάνω από 50 ppt. Μετρήσεις στο δίαυλο έδειξαν ότι κατά την ξηρή περίοδο θαλασσινό νερό εισέρχεται στη λιμνοθάλασσα, ενώ κατά την υγρή περίοδο υπάρχει έξοδος νερού. Η στάθμη του νερού στον δίαυλο παρουσιάζει πολύ μικρές διακυμάνσεις κατά τις ολιγοήμερες τουλάχιστον περιόδους μέτρησης της που είναι της τάξης των 10 εκατοστών. Οι αυξομειώσεις αυτές αποδίδονται αφενός στη στάθμη της λίμνης αλλά κυρίως στη θαλάσσια στάθμη, η οποία μπορεί να κυμαίνεται λόγω αστρονομικής παλίρροιας αλλά και λόγω τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών.

Πίνακας 1. Μέσες τιμές μετρήσεων αλατότητας, θερμοκρασίας, στάθμης νερού, ταχύτητας και διεύθυνση ρεύματος. (-): είσοδος θαλασσινού νερού, (+): έξοδος νερού από την λιμνοθάλασσα.

	Αλατότητα (ppt)	Θερμοκρασία (°C)	Στάθμη νερού στο δίαυλο (m)	Ταχύτητα ρεύματος (cm/s)	Διεύθυνση ρεύματος
<b>Ξηρή</b>	46,0-52,1	23,0-25,1	0,50-0,60	8,00	-
<b>Υγρή</b>	15,6-19,3	13,5-16,1	0,49-0,60	16,54	+

Οι επιμέρους παράμετροι που διαμορφώνουν το υδρολογικό ισοζύγιο τόσο για τη ξηρή (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) όσο και για την υγρή (Οκτώβριος-Μάρτιος) περίοδο δίνονται στον Πίνακα 2. Κατά την διάρκεια λοιπόν της ξηρής περιόδου διαμορφώνεται ένα έλλειμμα της τάξης των  $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , το οποίο θα πρέπει να αντισταθμίζεται από την εισροή των Ιόνιων νερών, αλατότητας 38-38,5 ppt. Έτσι, περί το τέλος του καλοκαιριού λόγω και της έντονης

εξάτμισης διαμορφώνονται στη λιμνοθάλασσα υπεράλυρες καταστάσεις (>50 ppt). Αντιθέτως, κατά την υγρή περίοδο, υπάρχει πλεόνασμα γλυκών νερών ( $5,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) που σημαίνει ότι τα πλεονάζοντα νερά εξέρχονται προς το Ιόνιο, αφού πρώτα λόγω της ανάμειξης μειώσουν την λατότητα των νερών της λιμνοθάλασσας (<20 ppt).

Πίνακας 2. Παράμετροι από τους οποίους προκύπτει το υδρολογικό ισοζύγιο της λιμνοθάλασσας σε σχέση με τον όγκο της ( $V=2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

	P (mm)	ET (mm)	E (mm)	Vd ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Vs ( $10^6 \text{ m}^3$ )	V <sub>Δ</sub> ( $10^6 \text{ m}^3$ )
ΞΗΡΗ	227	237	493	-0,15	-1,1	-1,2
ΥΓΡΗ	870	568	675	+4,5	+0,8	+5,3

Σημείωση:  $Vd=(P-ET) \cdot A$ ,  $Vs=(P-E) \cdot B$ , όπου ( $A=15 \text{ km}^2$ ) και ( $B=4,2 \text{ km}^2$ ) είναι τα εμβαδά της λεκάνης απορροής και της επιφάνειας της λιμνοθάλασσας, αντίστοιχα.

## 5. Συμπεράσματα

Η λιμνοθάλασσα των Κορισσίων είναι μια αβαθής λεκάνη (με έκταση  $4,2 \text{ km}^2$ ) σχηματισμένη πάνω σε ένα αδιαπέρατο στρώμα μάργας, ενώ επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος με έναν τεχνητό διάυλο (8,4 m πλάτους και βάθους <0,8 m). Η τροφοδοσία της με γλυκό νερό γίνεται ουσιαστικά μέσω της βροχόπτωσης (μείον εξάτμιση) που γίνεται απευθείας στην επιφάνεια της και μέσω της επιφανειακής απορροής (βροχόπτωση – εξατμισοδιαπνοή) της λεκάνης αποστράγγισης της ( $15 \text{ km}^2$ ).

Το υδρολογικό ισοζύγιο της λιμνοθάλασσα κατά την ξηρή περίοδο είναι αρνητικό με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται μεγάλες τιμές αλατότητας (>50 ppt) που οφείλονται στη είσοδο των νερών του Ιονίου (~38 ppt) και στην έντονη εξάτμιση. Σε αντίθεση, την υγρή περίοδο το ισοζύγιο είναι θετικό (πλεόνασμα νερού) οπότε η αλατότητα μειώνεται σημαντικά (<20 ppt).

## Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς επιθυμούν να εκφράσουν τις ευχαριστίες του στο Ερευνητικό Πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ II του ΕΚΠΑ (70/3/8031) για κάλυψη μέρους των εξόδων συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων.

## Βιβλιογραφία

Λεοντάρης Σ., 1976 : Περι της προέλευσης και εξελίξεως των θινών της νοτίου Κέρκυρας και της σχέσεως αυτών μετά της λίμνης Κορισσίων, Πρακτικά της Ακαδημίας Αθηνών, XXXXI, 522-539.

Παπαμηχαήλ Δ., 2001: Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Γιαχούδη-Γιαπούλη Θεσσαλονίκη

Alexopoulos J.D, Tomara V., Vassilakis Em, Papadopoulos T.D., Dassenakis M., Poulos S., Voulgaris N., Dilalos S., Ghionis G., Goumas G., Prilis E 2007: A contribution to environmental research of the Korissia Coastal wetland (Corfu Isl Greece), with the application of combined geological and geophysical methods supported by geographic information systems, 11 th International Congress Bulletin of the Geological Society of Greece, XXXVII, Athens 24-27/05/2007 σελ. 1892-1903

Aubouin J., 1959. Contribution a l' etude geologique de la Grece septentrionale, les confins de l' Epire et de la Thessalie. Annalles Geologie Pays Hellenides, X, 526-534.

Beer T., 1983: Environmental Oceanography, Pergamon Press London.

Diamantopoulou E., Dassenakis M., Kastritis A., Tomara V., Paraskevopoulou V. :2006.: Nitrogen and phosphorous in a shallow Mediterranean lagoon. 2nd International Conference AQUA 2006, Water Science and Technology, Integrated Management of Water Resources, November 2006, Athens, Greece.

Davis R.A. & Fitzgerald D.M., 2004. Beaches and Coast, Blackwell, UK.

Jacobshagen V., 1986. Geologie von Griechenland. Beitr. z. region. Geol. d. Erde.

Poulos S., Drakopoulos P., Collins M., 1997. Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean), Journal of Marine Systems, 13, 225-244.

## ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΕΤΤΑΣ (ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ)

Παπαδάκη Ρ., Πούλος Σ., Καλεαντοπούλου Ο., Κουτελιδάκη Κ., Βερικίου Ε.  
*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, Αθήνα.*

### Περίληψη

Η παραλία της Κινέτας που ανήκει στο δημοτικό διαμέρισμα των Μεγαρέων, ευρίσκεται μπροστά από έναν αμιγώς παραθαλάσσιο τουριστικό οικισμό έχοντας μήκος ακτογραμμής 3 km. Η παραλιακή ζώνη της Κινέτας αναπτύσσεται μπροστά από έναν κρημνό (στα ΒΑ), ενώ το υπόλοιπο κομμάτι της συνεχίζεται μπροστά από μια αλλουβιακή πεδιάδα στην οποία καταλήγει και ένας χείμαρρος. Τα θαλάσσια βάθη της περιοχής αυξάνουν σχετικά γρήγορα, ενώ η παραλιακή ζώνη χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ακτολίθων. Το μέτωπο του αιγιαλού δεν είναι ιδιαίτερα απότομο και χαρακτηρίζεται από ποικιλία υλικού (κυρίως αδρομερές) που οφείλεται κυρίως στην ευμετάβλητη κυματική δράση. Γενικά, η παραλιακή ζώνη παρουσιάζεται με μεικτό (άμμος – βότσαλα) αδρομερές ( $-3,2\phi < Mz < 1\phi$ ) υλικό. Η παραλιακή ζώνη είναι εκτεθειμένη σε κύματα Ν, ΝΔ. και ΝΑ διεύθυνσης. Τα προσερχόμενα κύματα σε ποσοστό 59,3% έχουν ύψος  $< 1,5\text{m}$  ενώ μόλις το 7,4 % των κυμάτων ξεπερνά τα 3 m. Τα μέγιστα κύματα έχουν τη δυνατότητα κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα μέχρι το βάθος των 6 m και αναρρίχησης στο χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης μέχρι και 3,8. Με δεδομένες τις δυνατότητες της κυματικής δράσης και με βάση τη γενικότερη μορφολογική της εικόνα με την εμφάνιση των ακτολίθων, τη καταστροφή του παραλιακού δρόμου και την απόσταση των αλμυρικών (μόλις λίγα μέτρα) οδηγούμεθα στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για μία οπισθοδρομούσα παραλιακή ζώνη.

### A PHYSICO-GEOGRAPHICAL STUDY OF THE COSTAL ZONE OF KINETA (SARONIKOS GULF)

Papadaki R., Poulos S., Kaleantopoulou O., Koutelidaki K., Verikiou E.  
*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis-Zografou, Attiki, 15784.*

### Abstract

The beach zone of Kineta, which belongs to the municipality of Megara, lies in front of coastal touristic resort having a length of 3 km. Physiographically, it is formed in front of steep cliff (at its NE end) and an alluvial coastal plain which hosts also the valley of a torrential stream. The subaqueous nearshore zone is quite steep whilst beachrocks are present along its beachface. It consists of mixed (coarse sand, granules and pebbles) and coarse-grained sediment ( $-3.2\phi < Mz < 1\phi$ ). Waves approach from S, SW and SE directions with heights usually  $< 1.5\text{ m}$  (59.3%), whilst high waves ( $> 3\text{ m}$ ) approach with an annual frequency of 7.4%. The biggest waves can mobilize the nearshore bed sediment up to a depth of 6 m and to reach elevations up to 3.8 m on the beach zone. On the basis of the local wave regime, the extended presence of beachrocks, the distance of a few metres of the vegetation from the shoreline and, of course, the demolish of parts of the road lying parallel and close to the shore line, it is concluded that the beach zone of Kineta is under erosion.

**Λέξεις κλειδιά:** Κινέτα, παραλία, διάβρωση.

**Key words:** Kineta, beach zone, erosion.

## 1. Εισαγωγή

Η Κινέτα βρίσκεται στο νομό Αττικής και συγκεκριμένα αποτελεί τη δυτικότερη (νότια) περιοχή του νομού. Ανήκει στο δημοτικό διαμέρισμα Μεγαρέων, το οποίο υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Μεγαρέων. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται να έχει μια συνεχώς αυξανόμενη οικοδομική δραστηριότητα νέων καταλυμάτων, κυρίως β' εξοχικής κατοικίας και τουριστικής εκμετάλλευσης, πολλά από τα οποία βρίσκονται πολύ κοντά στην ακτογραμμή.

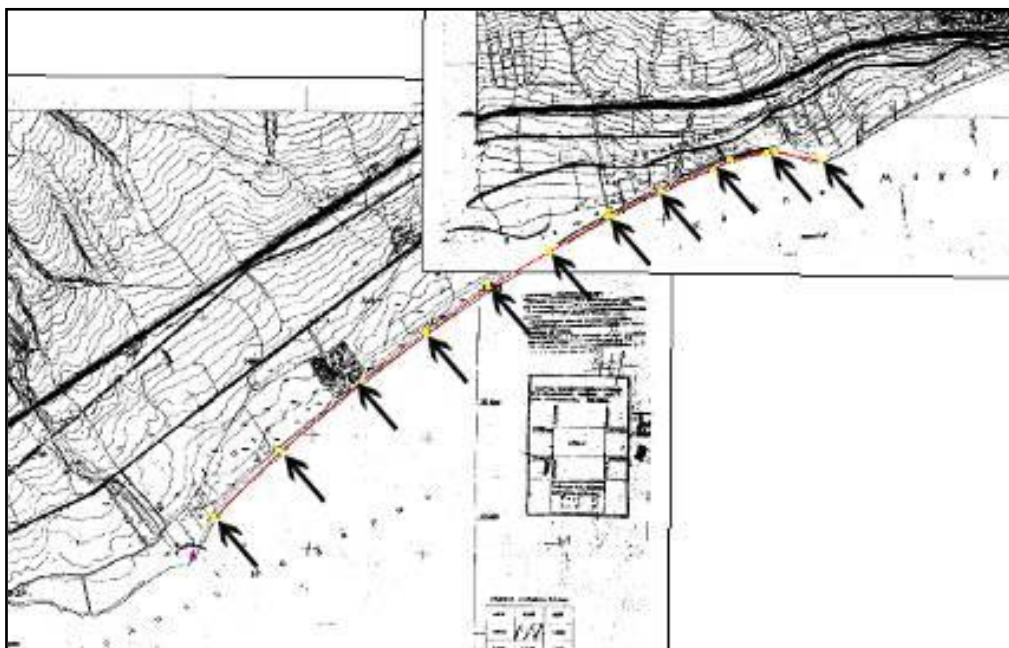
Η Κινέτα βρίσκεται στο δυτικό Σαρωνικό κόλπο και συγκεκριμένα στη λεκάνη των Μεγάρων. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Αθηνασούλη και Σκαρσουλή (1992), το μέσο ύψος των κυμάτων που φθάνουν στην ακτή είναι 0-0,5m (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60%) και 0,5-1m. Κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα τα κύματα μπορούν να φθάσουν έως και τα 4m. Επίσης το παλιρροϊκό εύρος είναι <20cm (Tsimplis, 1994).

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ιζηματολογία και μορφομετρία της παραλιακής ζώνης της Κινέτας με σκοπό να διερευνηθεί εάν η τελευταία βρίσκεται σε κατάσταση οπισθοχώρησης.

## 2. Μεθοδολογία

Για την κοκκομετρική μελέτη της παραλιακής ζώνης της Κινέτας πραγματοποιήθηκε συλλογή και ανάλυση 46 δειγμάτων κατά μήκος 11 τομών, κάθετα προσανατολισμένων στην ακτογραμμή. Για την ταξινόμηση όλων των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν καθορισμένη σειρά ανοξειδωτων κόσκινων, καθώς και η μέθοδος του Folk (1980), ενώ για τον καθορισμό του μεγέθους των τεμαχιδίων εφαρμόστηκε η ταξινόμηση μεγέθους κόκκων κατά Wentworth.

Η μορφολογική της αποτύπωση έγινε με χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5000 (τοπογραφικό διάγραμμα ΓΥΣ) και 11 τομές ( Σχήμα 1 & Πίνακας 1), ενώ ελήφθησαν 40 φωτογραφίες.



Σχήμα 1. Τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5000 (τα βέλη υποδεικνύουν τις οι θέσεις των τομών με τη πρώτη να βρίσκεται στο δεξιό (ΑΒΑ) άκρο της παραλίας)

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των κυμάτων, αλλά και των επιμήκων στην ακτογραμμή ρευμάτων, έγινε με την αξιοποίηση των ανεμολογικών δεδομένων της περιοχής και χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις:

Το σημαντικό ύψος ( $H_s$ ) και η περίοδος ( $T_s$ ) των κυμάτων στα βαθιά νερά για κάθε μία διεύθυνση και ένταση του πνέοντος ανέμου, δίνεται από τις εξισώσεις (1) και (2) για συνθήκες περιορισμένης ανάπτυξης του κυματισμού (fetch Limited) και (3) και (4) για συνθήκες πλήρους αναπτυγμένης θάλασσας (fully developed sea) (CERC, 1984):

$$H_s = 5,112 \times 10^{-4} W F^{0.5} \quad (1)$$

$$T_m = 6,238 \times 10^{-2} (W F)^{0.33} \quad (2)$$

$$H_s = 2.482 \times 10^{-2} U^2 \quad (3)$$

$$T_m = 8.3 \times 10^{-1} U \quad (4)$$

Όπου  $W$  είναι η ένταση του ανέμου (m/sec), σχετιζόμενη με την ταχύτητα του ανέμου ( $U$ ) μέσα από την εξίσωση  $W = 0,71 * U^{1.23}$ ,  $F$  είναι η απόσταση fetch σε m, ενώ η κρίσιμη τιμή της περιόδου δίνεται από τον τύπο  $T_s = 0,95 T_m$ .

Η φασική ταχύτητα ( $C_0$ ) και το μήκος ( $L_0$ ) των κυμάτων σε συνθήκες βαθιών νερών (βάθος > 1/2 μήκος κύματος), δίνονται από τους τύπους:

$$C_0 = 1,56 \times T \quad (5)$$

$$L_0 = C_0 \times T \quad (6)$$

Το ύψος θραύσης ( $H_b$ ) του κύματος δίνεται από τον τύπο:

$$(H_b)^{1/2} = 1,14 * (\sigma \alpha_0)^{1/4} * H_0^{1/7} \quad (7)$$

όπου ( $\alpha_0$ ) είναι η γωνία γραμμής κορυφής των κυμάτων με την ακτογραμμή.

Τα δε βάθος ( $d_b$ ) που σπάνε τα κύματα δίνεται από τον εμπειρικό τύπο (CERC, 1984):

$$H_b/d_b = 0,78 \quad (8)$$

Το μεγαλύτερο βάθος  $h_c$  μέχρι το οποίο παρατηρείται αλλαγή του υποθαλάσσιου προφίλ της παραλίας, άρα και το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα, δίνεται από τη σχέση (Carter, 1988):

$$h_c = 2,28 H_e - 68,5 \left( \frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad (9)$$

όταν το  $H_e$  και το  $T_e$  είναι το ύψος και η περίοδος των μέγιστων προσερχόμενων κυμάτων.

Τέλος, το μέγιστο ύψος αναρρίχησης ( $R$ ) του κύματος πάνω στην παραλία, σε σχέση με τη μέση στάθμη της θάλασσας, δίνεται από την εξίσωση (Komar, 1998):

$$R = 0,36 \cdot g^{0.5} \cdot S \cdot H_o^{0.5} \cdot T \quad (10)$$

όπου, S είναι η εφαπτομένη κλίση της παραλίας (5<sup>ο</sup> για την εξεταζόμενη περιοχή).

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

#### 3.1. Παράκτια γεωμορφολογία

Η παραλία της Κινέτας ανήκει στην κατηγορία των αιγιαλών που είναι εφαπτόμενες της ακτογραμμής (shoreline beaches) με την παράκτια ζώνη της να αναπτύσσεται στα ΒΑ μπροστά από έναν κρημό, ενώ το υπόλοιπο κομμάτι της συνεχίζεται μπροστά από μια αλλουβιακή πεδιάδα στην οποία καταλήγει ένας χείμαρρος.

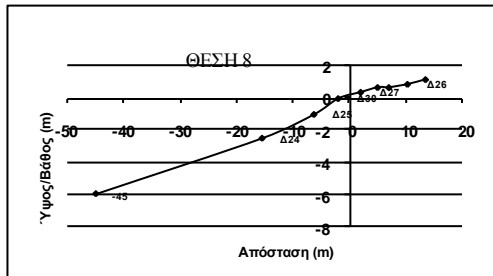
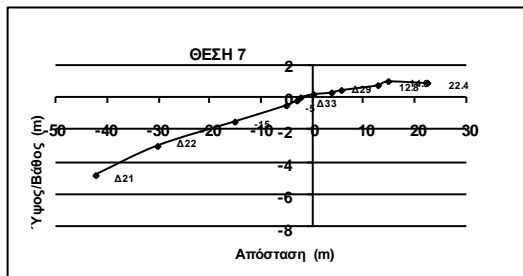
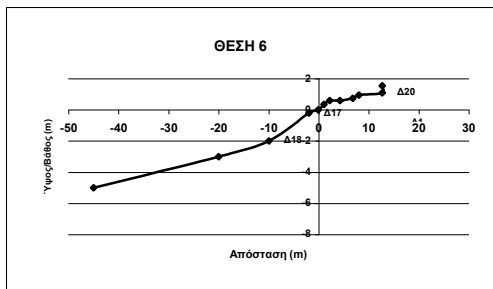
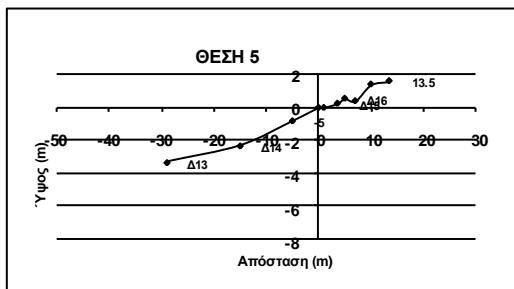
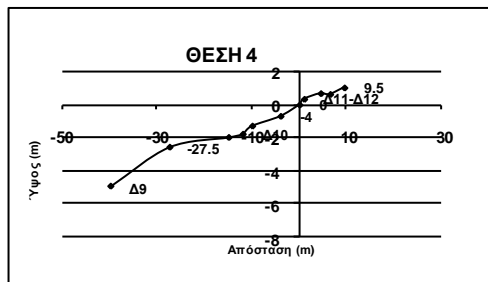
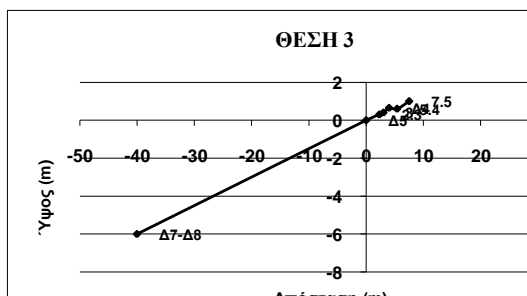
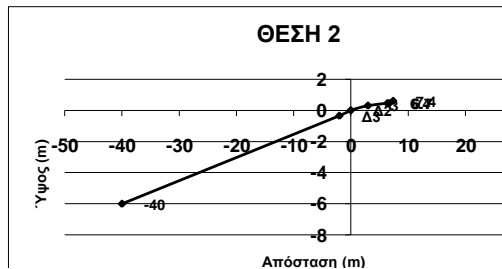
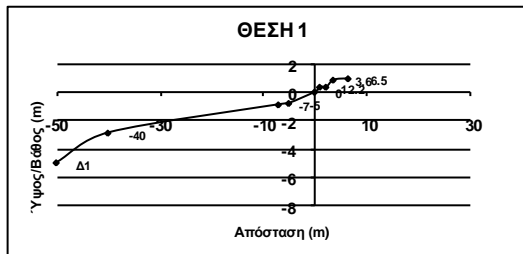
Το χερσαίο τμήμα της έχει πλάτος από 6 περίπου μέτρα (ανατολικό άκρο) μέχρι περίπου 25 μέτρα στο κεντρικό και δυτικό της άκρο. Γενικά, το μέγιστο υψόμετρο της δεν ξεπερνά τα 2 μέτρα με σχετικά ήπιες τοπογραφικές κλίσεις (Σχήμα 2), ενώ και το υποθαλάσσιο τμήμα της είναι σχετικά ομαλό με κλίσεις <8% (με βάση την ισοβαθή των 10 μέτρων. Ακόμη πρέπει να αναφερθεί ότι ο παραλιακός δρόμος της Κινέτας βρίσκεται μέσα στην παράκτια ζώνη της περιοχής και συγκεκριμένα σε κάποια σημεία απέχει από την ακτογραμμή μόλις 3m.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός της έντονης εμφάνισης ακτόλιθων (beach rocks) στο μέτωπο του αιγιαλού, με τη θάλασσα να τους έχει κατά θέσεις αποκαλύψει, στοιχείο το οποίο εξίσου συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι η παραλία βρίσκεται σε στάδιο οπισθοχώρησης. Η εμφάνιση αυτών εντοπίζεται σε βάθη 0,2m-0,4m (θέσεις 6, 7, 10, 11, Σχ. 1)) ενώ σε κάποια σημεία εκτείνονται έως 0,9 m βάθος (Φωτ.1 του Σχ. 3).

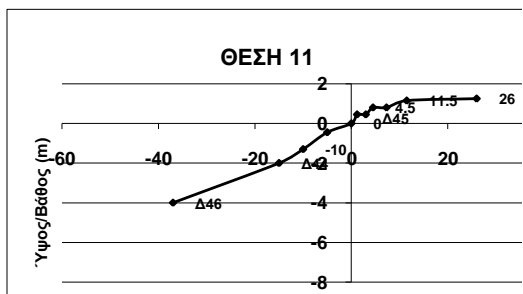
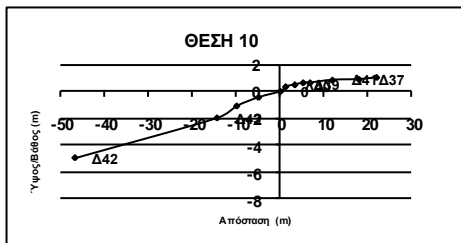
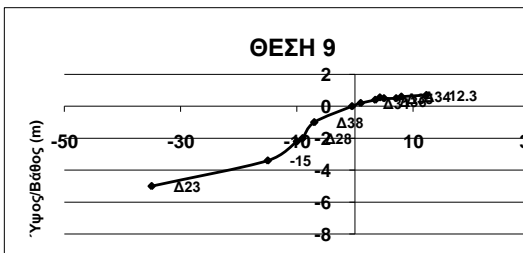
Στην περιοχή συναντώνται σχηματισμοί ημισεληνοειδούς και ρυθμικά επαναλαμβανόμενης μορφής, γνωστοί ως ακτόλιθοι beach cusps (θέση 3, Σχ. 2)), οι οποίοι εμφανίζονται με πλάτη 2-7 m. Βασικό χαρακτηριστικό αναγνωρίστηκε η απόθεση άμμου με λίγα χαλίκια (g)S στις κοιλιές αυτών και αμμούχων χαλικιών sG στις κορυφές τους. Οι φυσικοί τροφοδοτές με ίζημα της παραλιακής ζώνης είναι κυρίως ο κρημόνος στο ανατολικό άκρο της και ο ποταμοχείμαρρος που καταλήγει κοντά στο δυτικό της άκρο (Φωτ.2 του Σχ.3).

#### 3.2. Ιζηματολογία

Τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά της παραλιακής ζώνης της Κινέτας βασίζεται δίνονται στον Πίνακα 2. Γενικά, η παραλιακή ζώνη της Κινέτας παρουσιάζεται με μεικτό (άμμος και χαλίκια) και αδρομερές υλικό, με απουσία λεπτόκοκκου υλικού. Το μέτωπο της παραλίας χαρακτηρίζεται κυρίως ως αμμούχα χαλίκια sG. Σε βάθη μεγαλύτερα των 2m κυριαρχεί χαλικούχος άμμος gS, με κάποιες εξαιρέσεις τοπικού χαρακτήρα που χαρακτηρίζονται ως άμμος με λίγα χαλίκια(g)S, ενώ σε βάθη περίπου 1m επικρατούν κατά βάση χαλίκια G. Στο ανώτερο σημείο της παραλίας κυριαρχούν τα αμμούχα χαλίκια sG, ενώ παράλληλα εμφανίζονται κατά θέσεις μόνο χαλίκια G.







Σχήμα 2. Τοπογραφικές τομές (1-11) εγκάρσιων στην ακτογραμμή και οι θέσεις των δειγμάτων ιζήματος



Σχήμα 3. Φωτογραφίες από την παραλία της Κινέτας

Πίνακας 2. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων (gS: χαλικούχος άμμος, G:χαλίκια, sG: αμμούχα χαλίκια, (g)S:άμμος με λίγα χαλίκια).

a/a	Ov.	M <sub>z</sub>	a/a	Ov.	M <sub>z</sub>	a/a	Ov.	M <sub>z</sub>	a/a	Ov.	M <sub>z</sub>
1	<b>gS</b>	1,34	13	<b>(g)S</b>	0,67	24	<b>gS</b>	-1,19	36	<b>sG</b>	-2,23
2	<b>G</b>	-3,18	14	<b>gS</b>	0,278	25	<b>sG</b>	-1,84	37	<b>G</b>	-2,11
3	<b>sG</b>	-1,58	15	<b>gS</b>	-1,42	26	<b>sG</b>	-0,72	38	<b>sG</b>	-2,52
4	<b>sG</b>	-1,92	16	<b>sG</b>	-2,24	27	<b>sG</b>	-1,76	39	<b>sG</b>	-1,90
5	<b>gS</b>	-0,57	17	<b>gS</b>	-0,34	28	<b>G</b>	-3,24	40	<b>gS</b>	-1,17
7	<b>(g)S</b>	-0,38	18	<b>gS</b>	-0,83	29	<b>G</b>	-2,45	41	<b>sG</b>	-2,56
8	<b>sG</b>	-1,94	19	<b>(g)S</b>	0,09	30	<b>G</b>	-1,70	42	<b>gS</b>	-1,29
9	<b>gS</b>	0,12	20	<b>sG</b>	-1,12	31	<b>sG</b>	-2,48	43	<b>(g)S</b>	-1,05
10	<b>(g)S</b>	1,13	21	<b>gS</b>	0,52	33	<b>(g)S</b>	-0,14	44	<b>sG</b>	-0,07
11	<b>sG</b>	-2,06	22	<b>gS</b>	-0,11	34	<b>G</b>	-3,13	45	<b>G</b>	-3,08
12	<b>sG</b>	-0,38	23	<b>sG</b>	-1,43	35	<b>sG</b>	-2,09	46	<b>(g)S</b>	+1,53

### 3.3 Παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς

Το κυματικό καθεστώς καθορίζεται από τα κύματα που προσέρχονται από Ν, ΝΑ και ΝΔ διευθύνσεις και των οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον Πίνακα 3. Γενικά τα μεγαλύτερα κύματα έχουν ύψη <4m με περίοδο μέχρι και τα 7 sec, ενώ τα συχνότερα εμφανιζόμενα έχουν ύψη <1m και αντίστοιχη περίοδο <3 sec.

Όσον αφορά την επίδραση των κυμάτων στη κινητικότητα των ιζημάτων, για μεν τα κύματα προερχόμενα από νότο το εκτιμώμενο βάθος κινητοποίησης του πυθμένα (H<sub>c</sub>) φθάνει για ακραίες κυματικές συνθήκες περί τα 6,5 m, ενώ η δυνατότητα αναρρίχησης των πάνω στην παραλία τα 2,9 m, ικανά να καλύψουν το σύνολο της παραλίας. Τα κύματα από ΝΑ και ΝΔ μπορούν να κινητοποιήσουν τα ιζήματα του πυθμένα σε βάθη μέχρι 5,8 m 4,4 m ενώ μπορούν να φθάσουν αναρριχόμενα τα 3,85m και 2,8m αντίστοιχα.

Πίνακας 3. Οι τιμές του σημαντικού ύψους ( $H_s$ ), περιόδου ( $T_s$ ), μήκος κύματος ( $L$ ), ύψος κύματος στην θραύση ( $H_b$ ), μέγιστο βάθος( $H_c$ ) κινητοποίησης ιζημάτων, παράμετρος σταθερότητας μετώπου παραλίας ( $G_o$ ) και μέγιστο ύψος αναρρίχησης ( $R$ ) του κύματος για διαφορετικές διευθύνσεις ανέμου.

	<b>U (m/s)</b>	<b>W (Knots)</b>	<b>F (%)</b>	<b>H<sub>s</sub> (m)</b>	<b>T<sub>s</sub> (sec)</b>	<b>L (m)</b>	<b>H<sub>b</sub> (m)</b>	<b>H<sub>c</sub> (m)</b>	<b>R</b>
<b>N</b>	0,73	1-3	2,56	0,01	0,61	0,58	0,02	6,6	2,9
	2,27	4-6	4,52	0,13	1,88	5,52	0,15		
	4,35	7-10	6,03	0,40	3,21	19,38	0,54		
	7,69	11-16	5,68	0,70	3,88	28,30	0,92		
	11,71	17-21	3,71	1,06	4,46	37,45	1,37		
	16,01	22-27	1,63	1,46	4,95	46,12	1,83		
	20,96	28-33	0,81	1,91	5,41	55,19	2,35		
	26,58	34-40	0,33	2,42	5,86	64,65	2,94		
30,16	41-∞	0,10	2,74	6,11	70,32	3,31			
<b>NA</b>	0,73	1-3	0,69	0,01	0,61	0,58	0,02	5,8	3,8
	2,27	4-6	1,59	0,13	1,88	5,52	0,15		
	4,35	7-10	1,47	0,40	3,21	16,06	0,47		
	7,69	11-16	1,06	0,70	3,88	23,46	0,79		
	11,71	17-21	0,43	1,06	4,46	31,04	1,18		
	16,01	22-27	0,14	1,46	4,95	38,23	1,58		
	20,96	28-33	0,05	1,91	5,41	45,74	2,03		
	26,58	34-40	0,00	2,42	5,86	53,58	2,53		
30,16	41-∞	0,00	2,74	6,11	58,29	2,85			
<b>NA</b>	0,73	1-3	0,80	0,01	0,61	0,58	0,02	4,4	2,8
	2,27	4-6	1,51	0,13	1,88	5,52	0,15		
	4,35	7-10	1,89	0,30	2,68	11,19	0,35		
	7,69	11-16	1,33	0,53	3,24	16,34	0,60		
	11,71	17-21	1,06	0,81	3,72	21,62	0,88		
	16,01	22-27	0,47	1,11	4,13	26,63	1,18		
	20,96	28-33	0,14	1,45	4,52	31,86	1,52		
	26,58	34-40	0,03	1,84	4,89	37,32	1,89		
30,16	41-∞	0,00	2,09	5,10	40,60	2,13			

#### 4. Ανθρωπογενής παρέμβαση

Η Κινέτα αποτελεί έναν παραθαλάσσιο οικισμό ο οποίος έχει επωφεληθεί αρκετά από την έλευση του προαστιακού αλλά και τη λειτουργία της Αττικής οδού, ενώ τα τελευταία χρόνια χαρακτηρίζεται από μία έντονη και συνεχώς αυξανόμενη οικοδομική δραστηριότητα.

Πέραν της οικιστικής ανάπτυξης, όπου κτίσματα βρίσκονται πάνω στην παραλία, σημαντική παρέμβαση είναι ο δρόμος που σήμερα σε ορισμένα σημεία απέχει μόλις 3m από την ακτογραμμή. Η παρουσία του δρόμου έχει αποκόψει την παραλία από το εσωτερικό της, ενώ ταυτόχρονα τα μεγάλα κύματα ανακλώνται πάνω στο τοίχαιο του δρόμου εντείνοντας έτσι τα φαινόμενα διάβρωσης ( Φωτ.3 του Σχ. 3).

Επίσης, σημειώνεται ότι κάποιες τεχνικές επεμβάσεις με την τοποθέτηση μικρών προβόλων κάθετα στην ακτογραμμή απέτυχαν να σταματήσουν την οπισθοχώρηση της, ενώ ορισμένα από αυτά έχουν υποστεί έντονη καταστροφή αξιαιτίας της κυματικής δράσης (Φωτ.4 του Σχ. 3).

## 5. Συμπεράσματα

Η περιοχή της Κινέτας χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη εκτεταμένης παραλίας μήκους περίπου 3 km με σχετικά ήπιες κλίσεις. Αποτελείται από χονδρόκοκκα υλικά (άμμο, κροκάλες) ενώ κατά μήκος του μετώπου της έχουμε εμφανίσεις ακτολίθων. Από υδροδυναμικής πλευράς, η περιοχή υπόκειται σε μέτρια κυματική ενέργεια με κύματα συνήθους ύψους <1,5 m, καθώς είναι εκτεθειμένη σε μέτρια αναπτύγματα κύματος προς Ν, ΝΑ, και ΝΔ. Τα μέγιστα κύματα ( $H > 3$  m) έχουν τη δυνατότητα κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα μέχρι το βάθος των 6 m και αναρρίχησης στο χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης μέχρι 4 περίπου μέτρα. Με δεδομένες τις δυνατότητες της κυματικής δράσης και με βάση τη γενικότερη μορφολογική της εικόνα με την εμφάνιση των ακτολίθων, τη καταστροφή του παραλιακού δρόμου, την αποκάλυψη του ριζικού συστήματος των παρακείμενων δένδρων, ενώ αρκετά δέντρα είναι ξεραμένα, συντείνουν στο συμπέρασμα ότι η παραλία της Κινέτας βρίσκεται σε φάση διάβρωσης με σαφή οπισθοχώρηση της ακτογραμμής.

## Βιβλιογραφία

Αθανασούλη Γ.Α. & Σκαρσούλη Ε.Κ., 1992: Άτλας Ανέμου και Κύματος, βορειοανατολικής Μεσογείου Θαλάσσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.

Carter, R.W.J. 1988: Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural System of the Coastline. Academic Press, Harcourt Brace, London.

CERC (1984) Shore protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Washington D.C.

Folk P.L., 1980: Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 183 pp.

Komar, P.D, 1998: Beach processes and sedimentation, 2nd ed. Prentice Hall, 544p.

Tsimplis, M.N., 1994: Tidal Oscillations in the Aegean and Ionian Seas. Estuarine Coastal and Shelf Science, 3, 201-208.

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΑΜΒΡΑΚΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Πούλος Σ.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών,  
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας,  
Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, Αθήνα 15487*

### Περίληψη

Ο Αμβρακικός Κόλπος είναι μια ημίκλειστη λεκάνη με βάθη <65 m, η οποία επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος μέσω των στενών της Πρέβεζας (πλάτους περί τα 600 m και μέγιστο βάθος 8,5 m στο ρηχότερο σημείο του). Ο κόλπος έχει συνολική επιφάνεια 404,5 km<sup>2</sup>, όγκο 10,19 km<sup>3</sup> ενώ σε αυτόν αποστραγγίζεται μια περιοχή 3850 km<sup>2</sup>, από την οποία τα 2679 km<sup>2</sup> ανήκουν στις λεκάνες απορροής των δύο κύριων ποταμών Άραχθου και Λούρου. Υδρολογικά ο Αμβρακικός χαρακτηρίζεται από τη παρουσία δύο στρωμάτων νερού, ένα επιφανειακό που εκτείνεται μέχρι το βάθος των 10 m και το οποίο παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερες τιμές αλατότητας καθ' όλο το χρόνο (16,5-34,0 ppt) σε σχέση με το Ιόνιο Πέλαγος και ένα υποκείμενο σχετικά ομογενές στρώμα στο οποίο η αλατότητα είναι >35ppt. Οι χαμηλές τιμές αλατότητας στο επιφανειακό στρώμα αποδίδονται στην επιφανειακή απορροή (ποτάμιες απορροές, βροχόπτωση), ενώ αυτές του κατώτερου στρώματος πρωτίστως στη κατά βάθος ανάμειξη των νερών του κόλπου και δευτερευόντως σε υποθαλάσσιες εκφορτίσεις γλυκού νερού. Οι μικρότερες τιμές αλατότητας ανεξαρτήτως βάθους και εποχής από τις αντίστοιχες του Ιονίου, με εξαίρεση ίσως μόνο τα βαθύτερα στρώματα τη θερινή περίοδο, υποδηλώνουν ότι ο Αμβρακικός Κόλπος είναι μια λεκάνη διάλυσης. Ο χρόνος ανανέωσης των δυο στρωμάτων διαφέρει από εποχή σε εποχή, ενώ σε ετήσια βάση για μεν το επιφανειακό στρώμα απαιτούνται περί τις 31 ημέρες, για δε το κατώτερο στρώμα 258 ημέρες.

### A STUDY OF THE WATER BUDGET OF THE AMVRAKIKOS GULF

Poulos S.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis-Zografou, Attiki, 15784.*

### Abstract

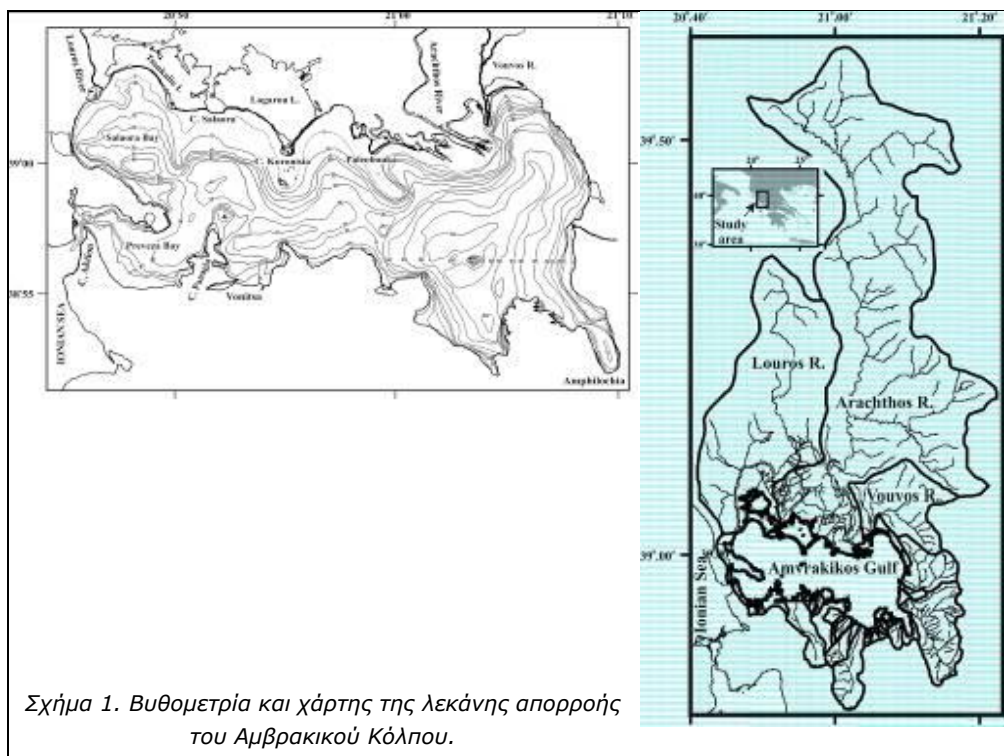
The Amvrakikos Gulf is a semi-enclosed embayment with water depths up to 63 m, communicating with the open Ionian Sea through the strait of Preveza (600 m wide and 8.5 m deep). It has a surface of 404.5 km<sup>2</sup>, a total volume of 10.2 km<sup>3</sup> and receives the freshwater inputs from a drainage basin of 3850 km<sup>2</sup>, from which the 2679 km<sup>2</sup> belongs to the rivers Arachthos and Louros. The gulf is characterised by the presence of two layers, a surface one (0-10 m water depth) being substantially less saline (16.5-34.0 ppt) throughout the year compared to the Ionian Sea and a lower layer with salinities >35 ppt. The low salinity values of the **surface layer are attributed to the freshwater influx from the Gulf's catchment and the water cycle over its surface**, whilst the slightly smaller salinity values of the lower layer to the downward movement of the surficial less-saline waters and to the groundwater influx along its coast. The fact that both layers, with exception only of the lower layer during the late summer period, have more fresh waters than the Ionian Sea shows that the Amvrakikos Gulf is a dilution basin. The two layers present different times of renewal from one season to another, while on an annual basis the surface layer needs 31 days and the lower 258 days to be renewed.

**Λέξεις κλειδιά:** υδρολογικό ισοζύγιο, Αμβρακικός Κόλπος, χρόνος ανανέωσης.

**Key words:** water budget, Amvrakikos Gulf, renewal time.

## 1. Εισαγωγή

Ο Αμβρακικός Κόλπος είναι μια ημίκλειστη λεκάνη με βάθη <65 m, η οποία επικοινωνεί με το Ιόνιο Πέλαγος με ένα στενό διάυλο πλάτους περί τα 600 m και βάθους <5 m, ενώ έχει διανοιχτεί και ένα κανάλι ναυσιπλοΐας βάθους 8,5 m. Ο κόλπος έχει συνολικ *Σχήμα 1. Βυθομετρία και χάρτης της λεκάνης απορροής του Αμβρακικού Κόλπου.*



Υδρολογικά, ο Αμβρακικός χαρακτηρίζεται από τη παρουσία δύο στρωμάτων νερού, ένα επιφανειακό που εκτείνεται μέχρι τα 10 m βάθος και το οποίο παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερες τιμές αλατότητας (16,5-34,0 ppt) και ένα υποκείμενο σχετικά ομογενές στρώμα στο οποίο η αλατότητα κυμαίνεται μεταξύ 35 και 36 ppt (Voutsinou-Taliadouri and Baloropoulos, 1991) Οι χαμηλές τιμές αλατότητας στο επιφανειακό στρώμα αποδίδονται στις ποτάμιες απορροές και τη βροχοπτώση, ενώ αυτές του υποκείμενου στρώματος στη κατά βάθος ανάμιξη των νερών του κόλπου. Πάντως όλες οι τιμές αλατότητας ανεξαρτήτως βάθους και εποχής είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες του Ιονίου, υποδηλώνοντας ότι ο Αμβρακικός Κόλπος είναι μια λεκάνη διάλυσης (Μαρίνος, 1984).

Στην εργασία αυτή διερευνώνται οι επιμέρους παράμετροι που διαμορφώνουν το

υδρολογικό ισοζύγιο του Αμβρακικού Κόλπου και ειδικότερα η σχέση μεταξύ των όγκων γλυκού και αλμυρού (θαλάσσιου) νερού, ενώ προσεγγίζεται και ο χρόνος ανανέωσης του υδάτινου όγκου του σε εποχιακή βάση.

**2. Συλλογή δεδομένων – Μεθοδολογία**

Ο προσδιορισμός της συνολικής επιφάνειας το κόλπου, όπως και του όγκου του επιφανειακού και κατώτερου στρώματος έγινε μετά από ψηφιοποίηση της βυθομετρίας (χάρτης Νο. 2131 της Υδρογραφικής Υπηρεσίας Π.Ν., κλίμακας 1:50.000) και χρήση λογισμικού ARC-GIS.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας προέρχονται από τους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. που είναι εγκατεστημένοι στην Άρτα και την Πρέβεζα (Πίνακας 1).

Οι μέσες τιμές παροχής νερού Λούρου και Άραχθου προέρχονται από την εργασία του Θεριανού (1974) και παραθέτονται επίσης στον Πίνακα 1. Για δε τις υπόγειες εκφορτίσεις γλυκού νερού, που λόγω της λιθολογίας αναμένεται να γίνεται σε βάθη μεγαλύτερα των 10 m διαθέτουμε μόνο τον συνολικό ετήσιο όγκο τους ( $70 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) (Μαρίνος, 1984). Για δε την εποχιακή των κατανομή, αυτή υπολογίστηκε (προσεγγιστικά) με βάση τα αντίστοιχα εποχιακά ποσοστά βροχόπτωσης, κάνοντας τη παραδοχή ότι σε εποχιακή βάση είναι άμεσα εξαρτώμενα από αυτήν.

Πίνακας 1. Μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας ατμόσφαιρας(T), βροχόπτωσης (P) και παροχής ποταμών (R)

	Φθινόπωρο			Χειμώνας			Άνοιξη			Καλοκαίρι			ΕΤ
	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	
<b>Θερμοκρασία ατμόσφαιρας (T, °C)</b>													
Άρτα	23,1	18,3	13,5	9,9	8,7	9,4	11,9	15,2	19,9	24,0	26,5	26,5	17,2
Πρέβεζα	22,8	18,8	14,0	10,7	9,5	10,2	12,2	14,9	19,0	22,9	25,0	25,4	17,1
<b>Βροχόπτωση (P, mm)</b>													
Άρτα	43,5	115,4	186,0	187,5	131,8	135,0	93,8	81,5	58,5	21,8	12,6	17,5	1084,6
Πρέβεζα	45,2	109,0	172,8	129,3	97,1	107,2	80,0	63,3	34,6	10,3	7,9	15,5	872,2
<b>Παροχή νερού (R, m<sup>3</sup>/s)</b>													
Άραχθος	8,0	20,0	94,0	167,0	143,0	125,0	93,0	80,0	63,0	31,0	9,5	4,0	69,8
Λούρος	10,4	10,2	12,6	19,8	24,9	26,6	24,6	21,2	17,4	14,5	12,6	11,0	17,1

Οι εποχιακές τιμές θερμοκρασίας και αλατότητας τόσο του επιφανειακού όσο και του κατώτερου στρώματος του Αμβρακικού Κόλπου αλλά και του Ιονίου Πελάγους εξήχθησαν από τις εργασίες των Γκότση κ.α. (1994) και των Voutsinou-Taliadouri and Balopoulos (1991) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, μαζί με τις επιφανειακές εποχιακές τιμές της λανθάνουσας ενέργειας λόγω εξάτμισης, η οποία έχει υπολογιστεί με βάση τη μηνιαία κατανομή της σε αντίστοιχο γεωγραφικό πλάτος του Αιγαίου Πελάγους (Poulos et al., 1997).

Πίνακας 2. Εποχιακές τιμές αλατότητα θερμοκρασίας και απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης του Αμβρακικού Κόλπου και του Ιονίου Πελάγους

	Φθινόπωρο		Χειμώνας		Άνοιξη		Καλοκαίρι		Ετήσια	
	Επιφ.	≥10m	Επιφ.	≥10m	Επιφ.	≥10m	Επιφ.	≥10m	Επιφ.	≥10m
<b>Αμβρακικός Κόλπος</b>										
S (ppt)	32,75	35,70	31,70	35,20	23,90	35,50	28,30		29,15	
T(°C)	16,10		9,90		16,50		25,20		15,90	
<b>Ιόνιο Πέλαγος</b>										
S (ppt)	38,5		38,75		38,75		38,75			
<b>Απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης στην θαλάσσια επιφάνεια</b>										
Q <sub>e</sub>	119,0		109,0		69,0		80,0			

Η επιφανειακή απορροή ( $R_f$ ) που αφορά την επιφάνεια της λεκάνης απορροής του Κόλπου, πέραν αυτής που αποστραγγίζεται από δυο κύριους ποταμούς Λούρο και Άραχθο, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία υπολογισμού του υδατικού ισοζυγείου κατά Thorngwight (Mather, 1978), με βάση τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Πρέβεζας (38° 58' Β) και θεωρώντας ότι είναι διαθέσιμα 300 mm νερού προς κατείσδυση στον επιφανειακό εδαφικό ορίζοντα, ώστε να κορεσθεί. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί δίνονται ορισμένα από τα μηνιαία αποτελέσματα της μεθόδου, όπως είναι οι μηνιαίες τιμές δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής αλλά και της τελικής επιφανειακής απορροής.

Η δε εξάτμιση ( $E$  σε mm/day) από την επιφάνεια του Αμβρακικού Κόλπου, υπολογίζεται μέσω της λανθάνουσας ενέργειας λόγω εξάτμισης ( $Q_e$ , W/m<sup>2</sup>) και χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Beer (1983)  $Q_e = E \rho L$ , όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του νερού και υπολογίζεται από τη θερμοκρασία και αλατότητα του επιφανειακού στρώματος και  $L = 2,6 \cdot 10^6$  J/kg.

Πίνακας 3. Εποχιακές και ετήσιες τιμές (σε mm) της δυνητικής ( $PE$ ), πραγματικής ( $AE$  και επιφανειακής απορροής ( $RF$ ) της λεκάνης απορροής και της εξάτμισης ( $E$ ) της επιφάνειας του Αμβρακικού Κόλπου.

	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Ετήσια
<b>PE</b>	218,2	72,5	155,8	348,2	794,7
<b>AE</b>	168,9	60,7	174,5	215,7	619,8
<b>R<sub>f</sub></b>	1,8	130,0	105,8	14,5	252,1
<b>E</b>	4,1	3,7	2,4	2,8	3,2



**3. Ανάλυση - Αποτελέσματα – συζήτηση**

Στον Πίνακα 4 παραθέτονται τα κυριότερα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά τόσο του Κόλπου, όσο και της λεκάνης απορροής του, τα οποία προέκυψαν από τη ψηφιακή επεξεργασία των βαθών του Αμβρακικού Κόλπου και χρησιμοποιούνται παρακάτω στον προσδιορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου.

Πίνακας 4. Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά του Αμβρακικού Κόλπου και της λεκάνης που αποστραγγίζεται σε αυτόν.

Επιφάνεια Κόλπου (A)	404,5 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Συνολική επιφάνεια λεκάνης αποστράγγισης (Λ=E <sub>1</sub> +E <sub>2</sub> )	3850 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Άθροισμα εμβαδών των λεκανών απορροής Λούρου και Άραχθου (E <sub>1</sub> )	2679 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Εμβαδόν υπόλοιπου λεκάνης απορροής E <sub>2</sub> (=Λ-E <sub>1</sub> )	1171 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Συνολικός Όγκος το Κόλπου (V <sub>T</sub> )	10.190 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Όγκος επιφανειακού στρώματος V <sub>A</sub> (0-10 m)	454 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Όγκος κατώτερου στρώματος V <sub>K</sub> (10-63 m)	9.736 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Μέσο βάθος (M <sub>d</sub> )	25,2 m

Το υδρολογικό ισοζύγιο του Κόλπου διαμορφώνεται ανάλογα με τον όγκο του γλυκού νερού (V<sub>fr</sub>) που δέχεται επιφανειακά και υπόγεια από τη λεκάνη απορροής του (W<sub>D</sub>) και τον όγκο που δέχεται απευθείας στην επιφάνεια του (W<sub>S</sub>) από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (κυρίως βροχόπτωση). Ο όγκος W<sub>D</sub> είναι το άθροισμα των όγκων του νερού των κυρίων ποταμών Άραχθου και Λούρου (W<sub>R</sub>), των υπόγειων νερών (W<sub>G</sub>) και των επιφανειακών νερών (W<sub>E2</sub>) από την υπόλοιπη έκταση της λεκάνης απορροής του (E<sub>2</sub>) και ο όποιος δίνεται στον Πίνακα 4.

$$V_{fr} = W_D + W_S$$

όταν W<sub>D</sub> = W<sub>R</sub> + W<sub>G</sub> + W<sub>E2</sub>, W<sub>E2</sub> = R<sub>f</sub> × E<sub>2</sub> (για τις τιμές των R<sub>f</sub> και E<sub>2</sub>, βλέπε τους πίνακες 1 και 3) και

$$W_S = (P-E) \times A, \text{ (οι τιμές των P και E δίνονται στον πίνακα 3).}$$

Με βάση τα παραπάνω υπολογίστηκαν οι εποχιακές και η ετήσια τιμή του υδρολογικού ισοζυγίου του Αμβρακικού Κόλπου (Πίνακας 5), από όπου προκύπτει ότι η συνολική εισροή γλυκού νερού έχει ετήσιο όγκο 3095 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> που αντιστοιχεί στο 30% της συνολικής χωρητικότητας της λεκάνης του Αμβρακικού Κόλπου. Τούτο σημαίνει ότι για να ανανεωθεί πλήρως με γλυκό νερό απαιτούνται περί τα 3,33 χρόνια, γεγονός που θα ίσχυε εάν ο Κόλπος ήταν απολύτως ομογενοποιημένος.

Πίνακας 5. Οι εποχιακοί και ετήσιοι όγκοι γλυκού νερού που δέχεται ο Αμβρακικός Κόλπος και τα αντίστοιχα ποσοστά των ως προς το συνολικό όγκο του Κόλπου (V<sub>T</sub>)

	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Ετήσια
V <sub>fr</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	316,4	892,7	512,9	73,2	2017,5
V <sub>fr</sub> / V <sub>T</sub> (%)	3,1	8,8	5,0	0,7	19,8

Ο κόλπος όμως παρουσιάζει έντονη στρωμάτωση σχεδόν καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους, έχοντας ένα επιφανειακό στρώμα μέχρι του βάθους περίπου των 10 m, το οποίο παρουσιάζει σαφώς χαμηλότερη αλατότητα από αυτή του Ιονίου. Μάλιστα πιθανότατα το πάχος των 10 m να οφείλεται στο βάθος του διαύλου επικοινωνίας, άρα και ανταλλαγής υδάτινων μαζών, το οποίο φθάνει τα 8,5 μέτρα. Έτσι το μεν επιφανειακό στρώμα (V<sub>A</sub>) με όγκο 454 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

δεχόμενο το μεγαλύτερο ποσόν του εισρέοντος γλυκού νερού αναμένεται να ανανεώνεται πολύ πιο γρήγορα από το κατώτερο στρώμα ( $V_B$ ) και όγκου  $9.736 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , το οποίο ουσιαστικά ανανεώνεται δεχόμενο τις υπόγειες εκφορτίσεις γλυκού νερού ( $W_G$ ) συν έναν όγκο  $V_X$  που προέρχεται από τη κατακόρυφη ανάμειξη του επιφανειακού με το κατώτερο λόγω πρωτίστως της διαφορετικής των αλατότητας (άρα και πυκνότητας). Ο δε όγκος αυτός ( $V_X$ ) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τη διαφορά σε αλατότητα (φαινόμενο όσμωσης) των δυο στρωμάτων με βάση τη σχέση:

$$V_X = V_K \cdot \left( \frac{S_K - S_I}{S_E - S_K} \right)$$

όπου  $V_K$ , είναι ο όγκος του κατώτερου στρώματος (Πίνακας 1),  $S_K$  είναι η αλατότητά του,  $S_E$  η αλατότητα του επιφανειακού στρώματος και  $S_I$  είναι η αλατότητα του Ιονίου (οι τιμές αλατότητας δίδονται στον Πίνακα 2).

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, ο όγκος νερού που δέχεται το επιφανειακό στρώμα ( $V_A$ ) θα είναι ίσος με τον όγκο  $V_1$  που συμπεριλαμβάνει την ποτάμια απορροή ( $W_R$ ) και την επιφανειακή απορροή ( $W_{E2}$ ), τον όγκο του νερού που δέχεται απευθείας στην επιφάνεια του ( $W_S$ ) αλλά και έναν όγκο ο οποίος θα πρέπει να είναι ίσος με τον όγκο  $V_X$  που βυθίζεται και ο οποίος αντικαθιστά έναν ίσο όγκο νερού ο οποίος στη συνέχεια θα πρέπει να εξέλθει προς το Ιόνιο ώστε να διατηρηθεί σταθερή η στάθμη της επιφάνειας του Κόλπου:

$$V_1 = W_R + W_{E2} + W_S + V_X$$

Ο δε όγκος  $V_2$  είναι το άθροισμα των όγκων νερού που κατυσδύουν ( $V_X$ ) και εκφορτίζονται υπόγεια ( $W_G$ ):

$$V_2 = V_X + W_G$$

Οι εποχιακές τιμές των όγκων ανανέωσης  $V_1$  και  $V_2$ , όπως και οι αντίστοιχοι χρόνοι ανανέωσης (σε ημέρες) της μάζας του νερού του επιφανειακού ( $T_E = V_E/V_1$ ) και του κατώτερου ( $T_K = V_K/V_2$ ) στρώματος είναι συγκεντρωμένοι στον Πίνακα 5, από όπου προκύπτει ότι το επιφανειακό στρώμα με εξαίρεση την καλοκαιρινή περίοδο μπορεί να ανανεώνεται πιο λιγότερο από 13 ημέρες, ενώ οι ρυθμοί ανανέωσης του κατώτερου στρώματος είναι πολύ πιο αργοί ξεπερνώντας το διάστημα των τριών μηνών. Σε ετήσια όμως βάση φαίνεται ότι το επιφανειακό στρώμα σε λιγότερο από ένα 1 μήνα δύναται τελικά να ανανεώνεται, ενώ για το κατώτερο στρώμα απαιτούνται σχεδόν 9 μήνες. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τις χαμηλές τιμές αλατότητας που παρατηρούνται στο επιφανειακό στρώμα αλλά και με το γεγονός ότι δια-εποχιακά το κατώτερο στρώμα διατηρεί έστω και μικρή διαφορά (1-2 ppt) χαμηλότερη αλατότητα από αυτή του Ιονίου. Μάλιστα η αργή αυτή ανανέωση υποδεικνύεται από τις πολύ χαμηλές αλλά όχι μηδενικές τιμές στη συγκέντρωση οξυγόνου σε βάθη >40 m.

Πίνακας 5. Εποχιακοί και ετήσιοι όγκοι και χρόνοι ανανέωσης του επιφανειακού και κατώτερου υδάτινου στρώματος του Αμβρακικού Κόλπου

	<b>Φθινόπωρο</b>	<b>Χειμώνας</b>	<b>Άνοιξη</b>	<b>Καλοκαίρι</b>	<b>Ετήσιο</b>
$V_1$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	9.895,4	10.767,8	3.240,7	117,0	5.387,6
$V_2$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	9.601,2	9.904,4	2.742,9	50,2	3.440,1
$T_E$ (ημέρες)	4,2	3,8	12,9	348,2	30,8
$T_K$ (ημέρες)	92,3	89,4	326,6	17.660,3	257,5

#### 4. Συμπεράσματα

Ο Αμβρακικός Κόλπος είναι μια ημίκλειστη λεκάνη με χωρητικότητα  $10.190 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  νερού και επιφάνειας  $404,5 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ . Το μέγιστο βάθος είναι 63 m, ενώ το μέσο βάθος του είναι 25,2 m. Από ωκεανογραφικής σκοπιάς χαρακτηρίζεται από τη παρουσία ενός επιφανειακού στρώματος (μέχρι τα 10 m βάθος) με σαφώς χαμηλότερες τιμές αλατότητας από αυτές του Ιονίου Πελάγους και ένα κατώτερο σχεδόν ομοιογενές στρώμα που και αυτό διατηρεί δια-εποχιακά (με εξαίρεση τη θερινή περίοδο) τιμές αλατότητας λίγο (1-2 ppt) μικρότερες του Ιονίου.

Η λεκάνη του Αμβρακικού Κόλπου και ειδικότερα το επιφανειακό στρώμα του ( $V_A = 454 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) αποτελεί μια λεκάνη διάλυσης, η οποία δέχεται ετησίως περί τα  $2017,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  γλυκού νερού από την λεκάνη αποστράγγισης του αλλά και απευθείας στην επιφάνεια του από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Λόγω δε της έντονης στρωμάτωσης της στήλης του νερού αλλά και των διαφορετικών των όγκων των ( $V_K/V_A=22,4$ ), οι χρόνοι ανανέωσης (εποχιακοί και ετήσιοι) των είναι πολύ διαφορετικοί, με το ανώτερο στρώμα να μπορεί να ανανεώνεται σε ετήσια βάση μέσα σε 31 ημέρες, ενώ ο χρόνος ανανέωσης του κατώτερου στρώματος να ανέρχεται σε 257.

#### Βιβλιογραφία

Γκότση Ο., Ψόχιου Ε., Λεμπέσης Γ., Μπράμπα Δ., Θεοδώρου Α. και Μπαλόπουλος Ε., 1994. Εποχιακή διακύμανση φυτοπλαγκτού και περιβαλλοντικών παραμέτρων σε ημίκλειστη θαλάσσια περιοχή (Αμβρακικός Κόλπος). 40 Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Αθήνα, σελ. 512-516.

Μαρίνος Γ., 1984. Υποδειγματική μελέτη συνδυασμένης διαχείρισης των υδάτων των λεκανών Λούρου και Άραχθου. Υπουργείο Ενέργειας και Φυσικών Πόρων, Αθήνα.

Θεριάνος, Α.Δ., 1974. Η γεωγραφική κατανομή της παροχής νερού των Ελληνικών ποταμών Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, ΧΑ, 28-58

Beer T., 1983: Environmental Oceanography, Pergamon Press London.

Poulos S., Drakopoulos P., Collins M. 1997 : Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean), Journal of Marine Systems, 13 225-244.

Mather J.R., 1978. The climatic water balance in environmental analysis. DC Heath and Company, Lexington, Massachusetts, 239pp.

Voutsinou-Taliadouri F. and Balopoulos E., 1991. Geochemical and physical oceanographic aspects of the Amvrakikos Gulf (Ionian Sea, Greece). Toxicological and Environmental Chemistry, 31-32, 177-185.

## ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΒΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ

Σιαμαντζιούρας Α., Σουλάντζου Δ., Τρουμπής Α.

*Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διαχείρισης Βιοποικιλότητας*

### Περίληψη

Υπάρχουν πολυάριθμες έρευνες για συγκεκριμένες θαλάσσιες ταξινομικές ομάδες σε καθορισμένες θαλάσσιες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους. Παρά το γεγονός αυτό, απουσιάζουν βιβλιογραφικές μελέτες καταγραφής πλήθους ταξινομικών ομάδων σε ευρύτερες περιοχές του Αιγαίου. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής πληθώρας ταξινομικών ομάδων θαλάσσιων οργανισμών στις ευρύτερες περιοχές των νομών της Λέσβου, της Χίου και της Σάμου. Αρχικά, η συλλογή των δεδομένων, που αφορούν στην παρουσία θαλάσσιων οργανισμών στις περιοχές μελέτης, έγινε μέσω βιβλιογραφικής αναζήτησης. Στη συνέχεια, η συστηματική κατάταξη των θαλάσσιων οργανισμών πραγματοποιήθηκε από κοινού στη βάση ταξινόμησης ERMS, ώστε να αποφευχθεί η χρήση μη αποδεκτής επιστημονικής ονοματολογίας ή/και η ταυτόχρονη καταχώρηση συνώνυμων ειδών. Στη λίστα των θαλάσσιων ειδών έχουν συμπεριληφθεί 1217 θαλάσσιοι οργανισμοί από ένα σύνολο 26 διαφορετικών φύλων. Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη ανέδειξε αφενός τους Δακτυλιοσκόληκες, τα Μαλάκια και τα Αρθρόποδα ως τις πιο πολυπληθείς ταξινομικές ομάδες και αφετέρου την θαλάσσια περιοχή της Λέσβου, της Λήμνου και της Χίου ως τις περιοχές μελέτης με τα υψηλότερα επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας.

### MARINE BIODIVERSITY OF NE AEGEAN SEA

Siamantziouras A., Soulantzou D., Troumbis A.

*University of the Aegean, Department of Environment, Biodiversity Conservation Laboratory*

### Abstract

There are numerous studies concerning specific marine phyla in certain areas of the Aegean Archipelagos. In spite of this fact, there are no references related to many marine phyla in the wide area of Aegean Sea. This study presents the spatial distribution of many marine phyla in the sea areas of the Prefecture of Lesbos, Chios and Samos. Firstly, a bibliography research has been conducted by gathering the data regarding the presence of marine taxa in the study area. Then, a systematic classification of marine taxa has been accomplished by using the European Register Marine Species (ERMS). The list of the NE Aegean Sea database includes 1217 marine taxa from 26 marine phyla. In conclusion, this study demonstrates not only the phyla of Annelida, Arthropoda and Mollusca as the most rich in species numbers, but also the marine areas of Lesbos, Lemnos and Chios island as the regions of NE Aegean Archipelagos with the highest level of marine biodiversity.

**Λέξεις κλειδιά:** ΒΑ Αιγαίο Πέλαγος, βενθικοί οργανισμοί, Ευρωπαϊκό πρόγραμμα BIOBUS, θαλάσσια βιοποικιλότητα.

**Key words:** NE Aegean Archipelagos, benthic organisms, European project BIOBUS, marine biodiversity.

### 1. Εισαγωγή

Η βιολογική ποικιλότητα αποτελεί μία πολύπλοκα σύνθετη έννοια (Sheppard, 2006) και περιλαμβάνει την ποικιλία και την ετερογένεια που είναι δυνατόν να εκδηλώνεται στο σύνολο των ιεραρχικών επιπέδων οργάνωσης του έμβιου κόσμου (Hobbs *et al.*, 1995). Αν και η

βιοποικιλότητα προσεγγίζεται από τα γονίδια έως τα οικοσυστήματα (Sala and Knowlton, 2006), εντούτοις η πλέον θεμελιώδης έννοια της εκφράζεται από τον πλούτο των ειδών (Baltanás, 1992), που ορίζεται ως ο αριθμός των ειδών σε μία δεδομένη επιφάνεια, περιοχή ή οικοσύστημα (Magurran, 1988). Σ' αυτό το άρθρο, θα χρησιμοποιείται η έννοια της βιοποικιλότητας με την παραδοχή ότι εκφράζεται αποκλειστικά από τον πλούτο των ειδών.

Τα πιο πλούσια σε είδη οικοσυστήματα του πλανήτη είναι τα θαλάσσια (Ray, 1988), αν λάβουμε υπόψη ότι η θαλάσσια βιοποικιλότητα παρουσιάζει διαφορά τάξης μεγέθους έναντι της χερσαίας βιοποικιλότητας (Gould, 1989). Ειδικότερα, η Μεσόγειος Θάλασσα φιλοξενεί εξαιρετικά υψηλά επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας που κυμαίνεται από 4% έως 18% της παγκόσμιας θαλάσσιας βιοποικιλότητας, αν και καταλαμβάνει μόνο το 0.82% της θαλάσσιας επιφάνειας και το 0.32% του θαλάσσιου όγκου, σε σύγκριση με το σύνολο των ωκεανών (Bianchi and Morri, 2000).

Παρόλο που τα θαλάσσια οικοσυστήματα φιλοξενούν ένα μεγάλο ποσοστό της βιοποικιλότητας σε πλανητικό επίπεδο, απουσιάζουν μελέτες ολοκληρωμένης καταγραφής της. Οι περιορισμένες αριθμητικά μελέτες καταγραφής της θαλάσσιας βιοποικιλότητας καταδεικνύουν την ύπαρξη μιας κυρίαρχης αντίληψης ότι η προτεραιότητα διατήρησης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων είναι δευτερεύουσας σημασίας έναντι των χερσαίων οικοσυστημάτων (Grassle and Maciolek, 1992).

Στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος BIOBUS (BIOdiversity for innovative BUSsness development), πραγματοποιήθηκε η μελέτη των πρακτικών χρήσης των θαλάσσιων βιολογικών πόρων της Περιφέρειας του Β. Αιγαίου, στην οποία κρίθηκε αναγκαία η βιβλιογραφική καταγραφή της θαλάσσιας βιοποικιλότητας του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει τις ταξινομικές ομάδες και τις θαλάσσιες περιοχές με τα υψηλότερα επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας.

## 2. Μέθοδοι και υλικά

### 2.1 Περιοχή μελέτης

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε από τον Ιούλιο 2006 μέχρι τον Ιούνιο 2007 και αφορά τις θαλάσσιες περιοχές του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι νομοί της Λέσβου, της Χίου και της Σάμου. Στο νομό της Λέσβου περιλαμβάνονται οι θαλάσσιες περιοχές των νησιών: α) της Λέσβου με έκταση 13,636 km<sup>2</sup> που αποτελεί το τρίτο σε μέγεθος νησί της Ελλάδος, β) της Λήμνου με έκταση 453 km<sup>2</sup> (Sawidis *et al.*, 2003) που αποτελεί το δεύτερο σε μέγεθος νησί του νομού και γ) του Αγίου Ευστρατίου με έκταση 42 km<sup>2</sup> που αποτελεί το τρίτο και μικρότερο νησί του νομού. Στο νομό της Χίου περιλαμβάνονται οι θαλάσσιες περιοχές των νησιών: α) της Χίου με έκταση 840 km<sup>2</sup> και μήκος ακτής 200 km (Sawidis *et al.*, 2003), που βρίσκεται στο κεντρικό κομμάτι του Αιγαίου πελάγους (Ζωδιάτης, 1993) και αποτελεί ένα από τα βορειοανατολικά νησιά του Αιγαίου και το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος, β) των Οινουσσών που βρίσκεται στη βορειοανατολική πλευρά της νήσου Χίου, καταλαμβάνοντας μια έκταση 14 km<sup>2</sup> και γ) των Ψαρών που βρίσκεται δυτικά της νήσου Χίου, καταλαμβάνοντας μια έκταση 40 km<sup>2</sup>, με μήκος ακτών 45 km. Τέλος, στο νομό της Σάμου περιλαμβάνονται οι θαλάσσιες περιοχές των νησιών: α) της Σάμου, που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Αιγαίου πελάγους κοντά στα παράλια της Μικράς Ασίας, με μήκος ακτών 45 km, καλύπτοντας μια επιφάνεια 480 km<sup>2</sup> περίπου, όπου δυτικά και νοτιοδυτικά της συναντώνται η Ικαρία και το σύμπλεγμα των Φούντων (Stiros *et al.*, 2000), β) της Ικαρίας που βρίσκεται δυτικά της Σάμου, καταλαμβάνοντας μια έκταση 255 km<sup>2</sup> και γ) των Φούντων που συνολικά καλύπτει μια περιοχή έκτασης 70 km<sup>2</sup>, με μήκος ακτογραμμών δυσανάλογα μεγάλο και εκτιμώμενο στα 126 km.

### 2.2 Λίστα θαλάσσιων οργανισμών

Στη λίστα των θαλάσσιων βενθικών οργανισμών συμπεριλαμβάνονται όλα τα θαλάσσια

φύλα, με εξαίρεση τα θαλάσσια Σπονδυλωτά και μικροοργανισμούς. Αρχικά, έγινε η βιβλιογραφική καταγραφή των θαλάσσιων ειδών ανά νησί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν οι δημοσιεύσεις που περιείχαν κάποια ταξινομική ομάδα ή κάποιο βενθικό οργανισμό της ευρύτερης περιοχής μελέτης στον τίτλο του άρθρου, στην περίληψη ή στις λέξεις κλειδιά, ενώ επιλέχθηκαν εκείνες οι δημοσιεύσεις στις οποίες υπήρχε αντιστοίχιση του θαλάσσιου οργανισμού με μία συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή ενός νησιού της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, έγινε η συστηματική κατάταξη των ήδη καταγεγραμμένων ειδών με την εισαγωγή της επιστημονικής ονομασίας κάθε είδους στην ευρωπαϊκή βάση ταξινόμησης ERMS ([www.marbef.org](http://www.marbef.org)), προκειμένου να δημιουργηθεί μια αξιόπιστη λίστα με κοινή και σύγχρονη ονοματολογία.

### 3. Αποτελέσματα

Ένα σύνολο 1217 θαλάσσιων τάξων (θαλάσσια είδη, υποείδη ή ποικιλίες), 26 ταξινομικών φύλων και 3 βασιλείων καταγράφηκαν βιβλιογραφικά στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους. Αναλυτικά, στο βασίλειο των Ζώων ανήκουν 937 τάξα και 15 φύλα, εκ των οποίων οι κυριότερες ομάδες είναι: Δακτυλιοσκόληκες, Μαλάκια, Αρθρόποδα, Σπόγγοι, Εχινόδερμα Βρυόζωα και Κνιδόζωα. Στο βασίλειο των Φυτών καταγράφηκαν 5 είδη Αγγειόσπερμων, ενώ στο βασίλειο των Πρωτόκτιστων ανήκουν 253 τάξα και 10 φύλα, εκ των οποίων τα κυριότερα είναι: Ροδοφύκη, Φαιοφύκη, και Χλωροφύκη.

Σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις της Μεσογείου Θάλασσας (Bianchi and Morri, 2000), το ΒΑ Αιγαίο Πέλαγος εμφανώς φιλοξενεί υψηλά επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας, που κυμαίνονται μεταξύ 5% και 40% της θαλάσσιας βιοποικιλότητας της Μεσογείου. Εξαίρεση αποτελούν τα θαλάσσια Αγγειόσπερμα του ΒΑ Αιγαίου που ταυτίζονται με το συνολικό αριθμό των θαλάσσιων Αγγειόσπερμων της Μεσογείου (Πίνακας 1).

*Πίνακας 1. Αριθμός ειδών Θαλάσσιων Φύλων της Μεσογείου Θάλασσας και του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους.*

Φύλα ανά Βασίλειο	Μεσόγειος Θάλασσα	ΒΑ Αιγαίο Πέλαγος	% ΒΑ Αιγαίου στη Μεσόγειο
<b>Ζώα</b>			
<u>Αρθρόποδα</u>	1,935	176	9.1
<u>Βρυόζωα</u>	500	45	9.0
<u>Δακτυλιοσκόληκες</u>	777	310	39.9
<u>Εχινόδερμα</u>	143	53	37.1
<u>Κνιδόζωα</u>	450	23	5.1
<u>Μαλάκια</u>	1,376	211	15.3
<u>Σπόγγοι</u>	600	84	14.0
<u>Άλλα ασπόνδυλα</u>	-550	36	6.5
<u>Σύνολο ασπόνδυλων</u>	-6,575	937	14.2
<b>Φυτά</b>			
<u>Αγγειόσπερμα</u>	5	5	100.0
<b>Πρωτόκτιστα</b>			
<u>Ροδοφύκη</u>	867	97	11.2
<u>Φαιοφύκη</u>	265	46	17.4
<u>Χλωροφύκη</u>	214	39	18.2
<u>Σύνολο φυκών</u>	1,346	182	13.5

Όσον αφορά στις θαλάσσιες περιοχές του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους (Πίνακας 2), τα υψηλότερα επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας φιλοξενούν οι θαλάσσιες περιοχές των νησιών της Λέσβου, της Χίου και της Λήμνου, με πλούτο θαλάσσιων ειδών ίσο με 967, 257 και 138 είδη, αντίστοιχα. Ουσιαστικά, η σχετική αναλογία της θαλάσσιας βιοποικιλότητας της Λέσβου, της Χίου και της Λήμνου αντιστοιχεί, συναρτησει του συνολικού αριθμού θαλάσσιων ειδών του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους, στο 80.0, 21.1 και 11.3% αντίστοιχα. Όμως, από ένα σύνολο 94

δημοσιεύσεων του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους, οι 66 (72.3%), 42 (44.7%), 19 (20.2%) δημοσιεύσεις περιλάμβαναν το νησί της Λέσβου, της Χίου και της Λήμνου, αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι οι θαλάσσιες περιοχές των τριών νησιών αποτελούν τις πλέον μελετημένες περιοχές του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους.

Πίνακας 2. Πλούτος θαλάσσιων ειδών ανά φύλο για τις θαλάσσιες περιοχές του Αγίου Ευστρατίου (ΑΕ), της Λήμνου (ΛΗ), της Λέσβου (ΛΕ), των Οινουσσών (ΟΙ), της Χίου (ΧΙ), των Ψαρών (ΨΑ), της Ικαρίας (ΙΚ), της Σάμου (ΣΑ), των Φούρνων (ΦΟ) και του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους.

Φύλα ανά Βασίλειο	Νομός Λέσβου			Νομός Χίου			Νομός Σάμου			Β.Α. Αιγαίο Πελάγος
	ΑΕ	ΛΕ	ΛΗ	ΟΙ	ΧΙ	ΨΑ	ΙΚ	ΣΑ	ΦΟ	
<b>Animalia</b>										
Annelida	-	269	-	-	74	-	-	-	-	310
Arthropoda	26	100	51	-	71	14	27	35	24	176
Bryozoa	-	7	-	-	39	-	-	-	-	45
Chaetognatha	-	4	-	-	2	2	2	2	2	4
Chordata	1	6	2	-	-	-	-	-	-	8
Cnidaria	9	18	9	-	7	1	1	-	-	8
Ctenophora	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1
Echinodermata	4	45	19	3	14	5	3	3	3	53
Hemichordata	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Mollusca	14	193	18	-	22	3	1	5	-	211
Nematoda	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3
Phoronada	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Platyhelminthes	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Porifera	10	69	5	-	8	2	8	14	8	84
Sipuncula	4	11	5	-	8	-	-	-	-	17
<b>Plantae</b>										
Angiospermophyta	2	5	2	1	3	3	3	2	3	5
<b>Protoctista</b>										
Bacillariophyta	-	26	-	-	-	-	-	-	-	26
Chlorophyta	-	37	7	-	2	-	6	1	1	39
Cryptomonada	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2
Dinomastigota	-	31	-	-	-	-	-	-	-	31
Granuloreticulosa	-	1	-	-	-	-	-	-	-	8
Haptomonada	-	9	-	-	-	-	-	-	-	9
Ochromphyta	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Phaeophyta	1	40	14	-	3	-	14	-	9	46
Rhodophyta	-	95	5	-	4	-	3	-	-	97
Sarcomonastigophora	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Πλούτος ειδών (S)	71	974	138	4	257	30	68	65	50	1217
S θαλάσσιες περιοχής / S Β.Α. Αιγαίο (%)	5.8	80.0	11.3	0.3	21.1	2.5	5.6	5.3	4.1	100
Πλήθος δημοσιεύσεων % δημοσιεύσεων	18	68	19	2	42	11	14	13	9	94
% δημοσιεύσεων	19.1	72.3	20.2	2.1	44.7	11.7	14.9	13.8	9.6	100
S θαλάσσιες περιοχής / S Β.Α. Αιγαίο (%) / % δημοσιεύσεων	0.30	1.11	0.56	0.14	0.47	0.21	0.38	0.38	0.43	1

Ο λόγος του αριθμού των θαλάσσιων ειδών μιας περιοχής προς τον αριθμό των θαλάσσιων ειδών του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους συναρτήσεως του ποσοστού των δημοσιεύσεων αποτελεί ένα αξιόπιστο, συγκρίσιμο και απόλυτο δείκτη. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, η θαλάσσια περιοχή της Λέσβου εξακολουθεί φιλοξενεί τα υψηλότερα επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας στην ευρύτερη περιοχή του ΒΑ Αιγαίου. Όμως, η θαλάσσια περιοχή της Λήμνου, αν και φαίνεται να φιλοξενεί μικρότερο αριθμό θαλάσσιων ειδών σε σχέση με τη Χίο, εντούτοις ο δείκτης θαλάσσιας βιοποικιλότητας παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από τον αντίστοιχο της Χίου, γεγονός το οποίο καθιστά τη θαλάσσια περιοχή της Λήμνου δυνητικά πιο πλούσια από εκείνη της Χίου.

Όσον αφορά στις ταξινομικές ομάδες (Πίνακας 3), βρέθηκαν θαλάσσια τάξα από τρία (3) Βασίλεια, εικοσιέξι (26) Φύλα και σαράντα τέσσερις (44) ομοταξίες. Τα Βασίλεια κατά φθίνοντα αριθμό τάξεων και οικογενειών είναι το Ζωικό Βασίλειο, το Βασίλειο των Πρώτιστων και το Φυτικό Βασίλειο. Τέλος, τα πιο πλούσια φύλα είναι οι Δακτυλιοσκώληκες, τα Μαλάκια και τα Αρθρόποδα, ενώ οι πιο πολυπληθείς ομοταξίες σε τάξα και οικογένειες είναι αντίστοιχα οι Πολύχαιτοι, τα Δίθυρα και τα Μαλακόστρακα.

Πίνακας 3. Αριθμός ειδών και οικογενειών ανά Ομοταξία, Φύλο και Βασίλειο για το ΒΑ Αιγαίο Πέλαγος.

Βασίλειο	Φύλο	Ομοταξία	Αριθμός οικογενειών	Αριθμός ειδών
Protoctista	Bacillariophyta		73	253
			12	26
		Bacillariophyceae	3	6
		Cocconeodiscophyceae	5	15
		Fragilariophyceae	4	5
	Chlorophyta		12	39
		Chlorophyceae	9	14
		Ulvophyceae	3	25
	Cryptomonada		2	2
		Cryptophyceae	2	2
	Dinomastigota		10	31
		Dinophyceae	10	31
	Granuloreticulosa		1	8
		Foraminifera	1	1
	Haptomonada		5	9
		Prymnesiophyceae	5	9
	Ochromphyta		1	1
		Actinochrysophyceae	1	1
	Phaeophyta		13	46
		Phaeophyceae	13	46
Rhodophyta		16	97	
	Rhodophyceae	16	97	
Sarcomastigophora		1	1	
	Phytomastigophorca	1	1	
Plantae			4	5
	Angiospermophyta		4	5
		Liliopsida	4	5



Πίνακας 3. (συνέχεια)

Βασίλειο	Φύλο	Ομοταξία	Αριθμός οικογενειών	Αριθμός ειδών
Animalia			344	937
	Annelida		51	310
		Polychaeta	51	310
	Arthropoda		89	176
		Branchiopoda	2	3
		Malacostraca	71	141
		Maxillopoda	14	24
		Ostracoda	1	7
		Pycnogonida	1	1
	Bryozoa		31	45
		Gymnolaemata	29	43
		Stenolaemata	2	2
	Chaetognatha		2	4
		Sagittoidea	2	4
	Chordata		4	8
		Ascidacea	4	8
	Cnidaria		15	23
		Hexacorallia	7	10
		Hydroidomedusae	1	1
		Octocorallia	7	12
	Ctenophora		1	1
		Tentaculata	1	1
	Echinodermata		25	53
		Crinoidea	1	2
		Echinoidea	9	13
		Holothuroidea	5	18
		Stelleroidea	10	20
	Hemichordata		1	1
		Enteropneusta	1	1
	Mollusca		87	211
		Aplacophora	1	1
		Bivalvia	40	133
		Cephalopoda	3	5
		Gastropoda	38	62
		Polyplacophora	4	6
		Scaphopoda	1	4
	Nematoda		1	3
		Secernentea	1	3
	Phoronida		1	1
	Platyhelminthes		1	1
		Turbellaria	1	1
	Ponifera		30	85
		Demospongiae	30	85
	Sipuncula		5	17
		Phascolosomatidea	2	5
		Sipunculidea	3	11

#### 4. Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, οι Δακτυλιοσκώληκες, τα Αρθρόποδα και τα Μαλάκια καταγράφηκαν ως οι πολυπληθέστερες σε αριθμό ειδών ταξινομικές ομάδες και το νησί της Λέσβου, της Λήμνου και της Χίου ως οι θαλάσσιες περιοχές με τα υψηλότερα επίπεδα θαλάσσιας βιοποικιλότητας της ευρύτερης περιοχής του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους. Οι παράγοντες που μπορεί να συνέβαλαν στα αυξημένα επίπεδα πλούτου θαλάσσιων ειδών είναι η γεωμορφολογία των νησιών, οι κλιματολογικές συνθήκες και οι υδρολογικές παράμετροι και, ιδιαίτερα, η εξαιρετικά μεγάλη θαλάσσια επιφάνειά τους. Επιπλέον, η εικοσαετής παρουσία του Τμήματος Περιβάλλοντος και η δημιουργία του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας, ενδεχομένως, συνέβαλαν στη μελέτη της ευρύτερης περιοχής του ΒΑ Αιγαίου Πελάγους και ιδιαίτερα της θαλάσσιας περιοχής της Λέσβου και των γειτονικών νησιών της Λήμνου και της Χίου.

#### Βιβλιογραφία

Ζωδιάτης Γ., 1993: Κυκλοφορία των νερών στο Αιγαίο Πέλαγος. 4ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Ρόδος, 26-29 Απριλίου 1993.

Baltanás A., 1992: On the use of some methods for the estimation of species richness. *Oikos*, 65, 484-492.

Bianchi C.N. and C. Morri, 2000: Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 367-376.

Gould S.J., 1989: *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, W.W. Norton and Company, USA.

Grassle J.F. and N.J. Maciolek, 1992: Deep-sea species richness: Regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *American Naturalist*, 139, 313-341.

Hobbs R.J., Richardson D.M. and G.W. Davis, 1995: Mediterranean-type ecosystems: Opportunities and constraints for studying the function of biodiversity. In: Davis G.W. and D.M. Richardson (eds) *Mediterranean-type ecosystems: The function of biodiversity*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 1-42.

Magurran A.E., 1988: *Ecological Diversity and its Measurement*. Croom Helm, London.

Ray G.C., 1988: Ecological diversity in coastal zones and oceans. In: Wilson E.O. (ed) *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, pp. 36-50.

Sala E. and N. Knowlton, 2006: Global Marine Biodiversity Trends. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 93-122.

Sawidis T., Heinrich G. and M.T. Brown, 2003: Cesium-137 concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea (Greece). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54, 249-254.

Sheppard C., 2006: The muddle of 'Biodiversity'. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 123-124.

Stiros S.C., Laborel J., Laborel-Deguenb F., Papageorgiou S., Evin J. and P.A. Pirazzoli, 2000: Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece. *Marine Geology*, 170, 41-58.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ Α ΚΑΙ ΒΑ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΜΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

Χατζηελευθερίου Μ., Αλεξανδράκης Γ., Πούλος Σ., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκιάν Χ.

*Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, Αθήνα 15784.*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων μίας ενδεχόμενης ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή της παράκτιας ζώνης της Α-ΒΑ Αττικής με την χρήση ενός δείκτη τρωτότητας, ο οποίος περιλαμβάνει τόσο γεωλογικές (παράκτια γεωμορφολογικά, ιστορικές μεταβολές της ακτογραμμής, κλίσεις της παράκτιας ζώνης) όσο και παράκτιες ωκεανογραφικές μεταβλητές (σημαντικό ύψος κύματος, το εύρος της παλίρροιας και η σχετική άνοδος της θάλασσας στάθμης στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν). Με βάση τις τιμές του δείκτη τρωτότητας, που υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του γεωμετρικού μέσου όρου των προαναφερομένων μεταβλητών προκύπτει ότι οι ακτές της ΒΑ Αττικής και η περιοχή από Νέα Μάκρη μέχρι το Λαύριο εμφανίζουν μέση τρωτότητα σε ότι αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σε σχέση πάντα με τις υπόλοιπες Α ακτές που χαρακτηρίζονται από χαμηλή κυματικής ενέργειας και απότομων παράκτιων κλίσεων (έλλειψη παραλιακών ζωνών). Τέλος ο όρμος του Μαραθώνα εμφανίζει την υψηλότερη τρωτότητα καθώς πρόκειται για μια αμμώδη παραλιακή ζώνη με μικρές κλίσεις και μέσης κυματικής ενέργειας.

### AN ASSESSMENT OF THE VULNERABILITY OF THE E AND NE COASTAL ZONE OF ATTICA WITH RESPECT TO A POTENTIAL SEA LEVEL RISE.

Xatsieleftheriou E., Alexandrakis G., Poulos S., Gaki-Papanastasiou K., Maroukian X.

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, Panepistimioupolis - Zografou, 157 84, Greece*

### Abstract

The present investigation attempts to quantify the consequences of a potential sea-level rise in the E and NE coastal zone of Attica (Greece), with the use of an index of vulnerability that includes geological (coastal geomorphology, historical changes of coastline's position, coastal slopes) and oceanographic (wave height, run up and tidal range) variables. On the basis of the vulnerability index (CVI), which has been calculated as the square root of the mean value of the variables involved, the coast of the NE Attika and the coastal area of the E coast from Nea Makri to Laurio are characterised by moderate values of CVI in relation to the remaining coastal zone of E Attika, with the latter to undergo moderate wave energy and present high slopes. Finally, the Marathonas Bay has the highest CVI value due to its low coastal slopes and moderate wave activity.

**Λέξεις κλειδιά:** Δείκτης τρωτότητας, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, Α-ΒΑ ακτές Αττικής.

**Key words:** vulnerability index, sea-level rise, E-NE Attika coast.

## 1. Εισαγωγή

Ο δείκτης τρωτότητας των παράκτιων περιοχών (CVI) χρησιμοποιήθηκε για να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις μιας επικείμενης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης κατά μήκος των ακτών των ΗΠΑ (Gornitz et. al, 1994, Thieler and Hammar-Klose, 1999 και Hammar-Klose and Thieler, 2001). Στον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας συμπεριλαμβάνονται γεωμορφολογικοί και ωκεανογραφικοί παράμετροι της υπό μελέτη παράκτιας ζώνης, όπως είναι η παράκτια λιθολογία και οι παράκτιες κλίσεις, οι οριζόντιες αλλαγές της θέσης της ακτογραμμής, ο ρυθμός της σχετικής ανόδου της στάθμης της θαλάσσιας, το εύρος της παλίρροιας και το μέσο σημαντικό ύψος των προσερχόμενων κυμάτων.

Αυτή η προσέγγιση συνδυάζει την ευαισθησία του παράκτιου συστήματος στην αλλαγή με τη φυσική δυνατότητά της να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και παράγουν έναν ποσοτικό μέτρο της φυσικής 'ευπάθειας' ακτών στα αποτελέσματα της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Τέλος, ο δείκτης τρωτότητας παρέχει μια αντικειμενική τεχνική τόσο για την αξιολόγηση όσο και για ένα μακροπρόθεσμο προγραμματισμό για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης.

Στην εργασία αυτή διερευνάται η τρωτότητα των ανατολικών και βορειοανατολικών ακτών της Αττικής και ειδικότερα η περιοχή που εκτείνεται από το Λαύριο μέχρι τον Ωρωπό (σχήμα 1).

Γεωλογικά, η περιοχή μελέτης εντάσσεται στην ευρύτερη μεταλπηκή ηπειρωτική λεκάνη της Αττικής-Βοιωτίας-Εύβοιας της οποίας η δημιουργία οφείλεται στη δράση νεοτεκτονικών ρηγματών που έδρασαν από το Μειόκαινο έως σήμερα. Οι μεταλπηκοί σχηματισμοί έχουν τη βάση τους στο Μειόκαινο και αντιπροσωπεύονται από διάφορα ιζήματα χερσαίας και λιμναίας φάσης, τα οποία και συναντάμε στην ευρύτερη περιοχή του σημερινού νότιου Ευβοϊκού κόλπου (Παπανικολάου et al., 1988).



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης

Το βόρειο τμήμα της υπό μελέτη παράκτιας ζώνης βρέχεται από τον Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο, ο οποίος αποτελεί μια μικρή επιμήκη θαλάσσια λεκάνη με γενική διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ, προστατευμένη γενικά από έντονο κυματισμό, ενώ το νότιο τμήμα της ανήκει στη νότια ανοιχτή λεκάνη του Κόλπου των Πεταλιών με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και η οποία είναι εκτεθειμένη σε έντονο κυματισμό ΝΑ διευθύνσεων.

Η ακτογραμμή είναι σχετικά πολυσχιδή περιλαμβάνοντας μεγάλο αριθμό μικρών όρμων όπου αναπτύσσονται εγκιβωτισμένες παραλιακές ζώνες, απόκρημνες ακτές αλλά δελταϊκές ακτογραμμές όπως είναι του Μαραθώνα (Χάραδρος ποταμός) ή στη περιοχή του Ωρωπού (Ασωπός ποταμός) ενώ υπάρχουν και άλλα υδατορεύματα με σημαντικότερο Ρέμα της Ραφήνας (Maroukian et al., 2003).

Η απουσία μεγάλων ποταμών έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη στερεοπαροχή πράγμα που σε συνάρτηση με την ανθρώπινη παρέμβαση τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες (διευθετήσεις κοιτών, αποξηράνσεις ελών, οικοδομήσεις) έχουν ήδη προκαλέσει υποχώρηση της ακτογραμμής, και η οποία αναμένεται να ενταθεί τις επόμενες δεκαετίες εάν επαληθευτεί η πρόγνωση για το 2100 της Διεθνούς Παγκόσμιας Διακυβερνητικής Επιτροπής για τη Παγκόσμια Κλιματική αλλαγή (IPCC) που προβλέπει μια μέση τιμή ανόδου της θαλάσσιας στάθμης ίση με 32 εκατοστά.

## 2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό της τρωτότητας των ακτών της Α και ΒΑ Αττικής στη περίπτωση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας χρησιμοποιήσαμε τον δείκτη τρωτότητας για παράκτιες περιοχές (CVI: coastal vulnerability index) των Hammar-Klose and Thieler (2001) οι οποίοι τροποποίησαν αυτόν που αρχικά διαμόρφωσαν και εφήρμοσαν στις ΗΠΑ οι Gornitz et al., (1994) και Thieler and Hammar-Klose (1999). Η μέθοδος αυτή ποσοτικοποιεί τις σημαντικές γεωλογικές και ωκεανογραφικές μεταβλητές που συμβάλλουν στην εξέλιξη της παράκτιας ζώνης, για να καταλήξει σε μια κλίμακα τρωτότητας (χαμηλή έως πολύ υψηλή) σε σχέση με μία φυσική αλλαγή του παράκτιου συστήματος, όπως είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Ο δείκτης τρωτότητας καθορίζεται από έξι μεταβλητές που επηρεάζουν έντονα την παράκτια εξέλιξη: 1) η γεωμορφολογία της παράκτιας ζώνης, 2) οι ιστορικές μεταβολές της ακτογραμμής, 3) η κλίση της παράκτιας ζώνης 4) το εύρος της παλίρροιας, 5) το σημαντικό ύψος κύματος και 6) η σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Ακολουθώντας, η κάθε μεταβλητή βαθμονομείται από 1 έως το 5 (Πίνακας 1) και εισέρχεται στον τύπο των Hammar-Klose and Thieler (2001) (τετραγωνική ρίζα του γεωμετρικού μέσου όρου των μεταβλητών).

$$CVI = \frac{\sqrt{a*b*c*d*e*f}}{6} \quad (1)$$

όπου, a: η μεταβλητή για τη γεωμορφολογία, b: το ποσοστό διάβρωσης - προσαύξησης, c: η παράκτια κλίση, d: η σχετική άνοδος της στάθμης της θάλασσας, e: το σημαντικό ύψος κύματος και f: η παλίρροια. Τα όρια κάθε κλάσης τρωτότητας είναι πολύ χαμηλή (<0,4), χαμηλή (0,4-3,3), μέση (3,3-11), υψηλή (11-26) και πολύ υψηλή (>26).

Γνωρίζοντας όμως ότι η περιοχή μελέτης είναι μικροπαλίρροιακή (εύρος περί τα 10cm), ο δείκτης τρωτότητας τροποποιήθηκε ώστε να περιλαμβάνει 5 μεταβλητές (εξαιρουμένης δηλαδή της μεταβλητής (f) που αφορά στη παλίρροια:

$$CVI = \frac{\sqrt{a*b*c*d*e}}{5} \quad (2)$$

Λόγω όμως της αφαίρεσης της μεταβλητής της παλίρροιας, τα όρια επικινδυνότητας αλλάζουν και γίνονται πολύ χαμηλή (<0,45), χαμηλή (0,45-3), μέση (3-7), υψηλή (7-26) και πολύ υψηλή (>14).

Πίνακας 1. Ταξινόμηση των μεταβλητών τους τρωτότητας με βάση τον Pentelton et al, (2004).

Μεταβλητές	Πολύ χαμηλή 1	Χαμηλή 2	Μέση 3	Υψηλή 4	Πολύ υψηλή 5
Γεωμορφολογία	Βραχώδης ακτές, υψηλοί γκρεμνοί	Μέσου ύψους, γκρεμνοί	Χαμηλοί κρημνοί, αλλουβιακές πεδιάδες	Ακτές με κροκάλες, Λιμνοθάλασσες.	Νησιωτικά φράγματα, αμμώδης ακτές, δέλτα
Μεταβολή Ακτογραμμής (m/yr)	>2,0	1,0 – 2,0	-1,0 – 1,0	-2,0 – 1,0	<-2,0
Παράκτια κλίση (%)	>1,20	1,2 – 0,9	0,9 – 0,6	0,6 – 0,3	<0,3
Σχετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης (mm/yr)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Ύψος κύματος (m)	<0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25
Εύρος παλίρροιας (m)	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0

Για να καθοριστούν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (κλίσεις, υλικό παραλιακής ζώνης, ανθρωπίνες κατασκευές και παρεμβάσεις) έγινε γεωμορφολογική χαρτογράφηση κατά μήκος της ακτογραμμής και κατασκευάστηκε ένας παράκτιος γεωμορφολογικός χάρτης.

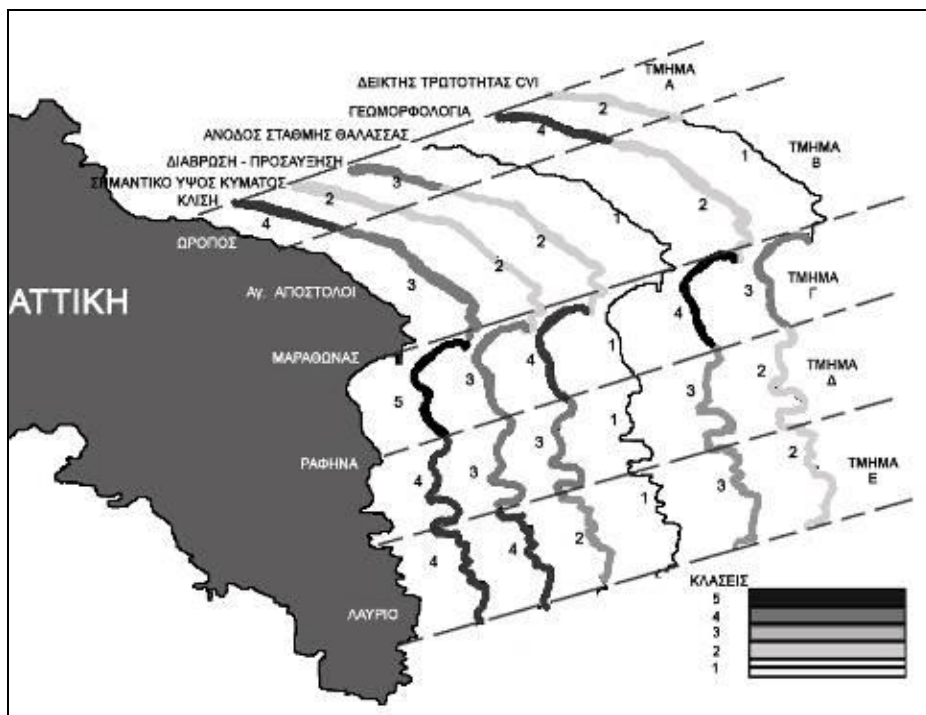
Το μήκος ανάπτυξης του κυματισμού κατά μήκος της περιοχής μελέτης υπολογίστηκε με βάση της προγνωστικές εξισώσεις κατά CERC (1984) χρησιμοποιώντας τα ανεμολογικά στοιχεία του «Ατλαντα ανέμου και κυμάτων της Μεσογείου» των Αθανασούλη και Σκαρσουλή (1992). Σημειώνεται δε ότι υπολογίστηκε ο σταθμικός μέσος του ύψους κύματος που δέχεται η περιοχή, ως ο πλέον αντιπροσωπευτικός καθώς στον υπολογισμό του εμπεριέχεται και η ετήσια συχνότητα εμφάνισης των κυματισμών για τις διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου.

Τα στοιχεία παλίρροιας και ανόδου της στάθμης της θάλασσας προέρχονται από τις μετρήσεις των παλίρροιογράφων της Υδρογραφικής υπηρεσίας του ΠΝ για τους λιμένες Χαλκίδας και Σύρου (Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων, 2005). Στις μετρήσεις περιλαμβάνεται το εύρος της παλίρροιας για κάθε λιμένα κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων. Για το ρυθμό της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και για την παλίρροια χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία από την εργασία των Tsimplis and Blackman (1996).

Οι μη αριθμητικές μεταβλητές, όπως η γεωμορφολογία, ταξινομείται ποιοτικά σύμφωνα με τη σχετική αντίσταση στη διάβρωση του συγκεκριμένου παράκτιου σχηματισμού. Οι ακτές με ρυθμό μεταβολής μεταξύ -1,0 και +1,0 m/yr αξιολογούνται ως μέσης τρωτότητας, ενώ οι μικρότεροι και υψηλότεροι ρυθμοί οπισθοχώρησης ή προέλασης ταξινομούνται αναλόγως ως υψηλότερης ή χαμηλότερης τρωτότητας. Για την παράκτια κλίση οι κλάσεις κυμαίνονται από πολύ υψηλή τρωτότητα για κλίσεις <0,3% έως πολύ χαμηλή για κλίσεις >1,2%. Το ποσοστό σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας, με βάση το σύγχρονο ποσοστό της ευστατικής ανόδου όπως έχουν δείξει πρόσφατες μελέτες για τον Ελληνικό χώρο (Lambeck, 1996, Gaki-Papanastasiou et al., 1997, Fouache et al., 2005, Vouvalidis et al., 2005,) υπολογίζεται περίπου σε 1 mm/yr και αξιολογείται ως παράγων πολύ χαμηλής τρωτότητας ενώ αναφέρεται τόσο στην ευστατική όσο και στη τεκτονική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης. Τέλος, οι κλάσεις για το σημαντικό ύψος κύματος διαμορφώνονται από πολύ χαμηλό (<0,55m) έως πολύ υψηλό (>1,25m).

### 3. Ανάλυση - Αποτελέσματα

Με βάση τα γεωμορφολογικά, γεωγραφικά και ωκεανογραφικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, αυτή διαχωρίστηκε σε 5 υπο-περιοχές (σχήμα 2), των οποίων η βαθμονόμηση των επιμέρους μεταβλητών που διαμορφώνουν τον δείκτη τρωτότητας δίνονται στον πίνακα 2. Έτσι, η πρώτη περιοχή περιλαμβάνει την βόρεια Αττική από Σκάλα Ωρωπού έως την παραλία των Αγ. Αποστόλων, το δεύτερο τμήμα από την παραλία των Αγ. Αποστόλων έως το Ακρ. Μαραθώνα, το τρίτο από το ακρωτήριο Μαραθώνα έως τη Νέα Μάκρη περιλαμβάνοντας το κόλπο του Μαραθώνα, το τέταρτο από τη Νέα Μάκρη έως τον όρμο Μαρκοπούλου και το τελευταίο (πέμπτο) τμήμα από τον όρμο Μαρκοπούλου έως το Λαύριο.



Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση των κλάσεων της τρωτότητας για κάθε μεταβλητή και για τον συνολικό δείκτη τρωτότητας.

Για την μεταβλητή που αντιστοιχεί στην τρωτότητα λόγω της κλίσης της παράκτιας ζώνης υπολογίστηκε ότι στο τμήμα Β που είναι η μικρότερη 7,9% σε σχέση με το σύνολο της περιοχής μελέτης αξιολογείται ως μεταβλητή μέσης τρωτότητας (δείκτης 3). Για τα τμήματα Α, Δ και Ε οι κλίσεις υπολογίστηκαν 3,6%, 4,4% και 5,4%, αντίστοιχα και αξιολογούνται ως υψηλής τρωτότητας, με δείκτη 4. Το τμήμα Γ, όπου έχουμε τις μικρότερες κλίσεις (2,8%), αξιολογείται ως πολύ υψηλής τρωτότητας και συμμετέχει στον υπολογισμό της τρωτότητας με τιμή 5. Αυτό είναι και αναμενόμενο καθώς το τμήμα αυτό περιλαμβάνει τη περιοχή της παραλίας του Μαραθώνα.

Το σημαντικό ύψος κύματος για κάθε περιοχή που υπολογίστηκε με βάση το σταθμικό μέσο για το ύψος κύματος προκύπτει ότι για τα τμήματα Α και Β το σημαντικό ύψος κύματος προσδιορίστηκε σε 0,6m, 0,7m, αντίστοιχα και αξιολογήθηκε ως χαμηλής τρωτότητας μεταβλητή, με τιμή 2. Για τα τμήματα Γ και Δ οι τιμές για το ύψος κύματος προσδιορίστηκαν

σε 0,8m και 0,7m αντίστοιχα που κατατάσσει τη μεταβλητή αυτή ως μέσης τρωτότητας με δείκτη 3. Τέλος, στο τμήμα Ε, το σημαντικό ύψος κύματος συμμετέχει στον υπολογισμό της τρωτότητας με δείκτη 4, καθώς το σημαντικό ύψος κύματος όντας 1,0m, είναι το μεγαλύτερο για την περιοχή μελέτης.

Για την μεταβλητή που αναφέρεται στην διάβρωση ή προέλαση της ακτογραμμής, λόγω έλλειψης στοιχείων που να στηρίζονται σε αριθμητικά δεδομένα, η ταξινόμηση για κάθε τμήμα έγινε με βάση μακροσκοπικές παρατηρήσεις των παράκτιων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, όπως είναι η καταστροφή παράκτιων ανθρωπίνων κατασκευών, η παρουσία ακτόλιθων κ.ά. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, την μικρότερη οπισθοχώρηση εμφανίζει το τμήμα Β, τα τμήματα Α, Δ και Ε εμφανίζουν μία μέση τρωτότητα ενώ το μεγαλύτερη τρωτότητα εμφανίζει το τμήμα Γ.

Πίνακας 2.Οι τιμές των μεταβλητών τρωτότητας για την περιοχή μελέτης

Μεταβλητές	Περιοχή	Α	Β	Γ	Δ	Ε
<b>Μήκος (km)</b>		21,05	31,7	15,5	23,95	58,74
<b>Κλίση (%)</b>	<b>Τιμή</b>	3,6	7,9	2,8	4,4	5,4
	<b>Ταξινόμηση</b>	4	3	5	4	4
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Υψηλή	Μέση	Πολύ Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή
<b>Ύψος κύματος (m)</b>	<b>Τιμή</b>	0,6	0,7	0,7	0,7	1,0
	<b>Ταξινόμηση</b>	2	2	3	3	4
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Χαμηλή	Χαμηλή	Μέση	Μέση	Υψηλή
<b>Διάβρωση / Προέλαση (m)</b>	<b>Τιμή</b>	0,5	0,1	1	0,5	0,5
	<b>Ταξινόμηση</b>	3	2	4	3	3
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Μέση	Χαμηλή	Υψηλή	Μέση	Μέση
<b>Άνοδος της θαλάσσιας σταθμής (mm/year)</b>	<b>Τιμή</b>	0,12	0,12	0,7	0,7	0,7
	<b>Ταξινόμηση</b>	1	1	1	1	1
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Πολύ Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή	Πολύ Χαμηλή
<b>Γεωμορφολογία</b>	<b>Τύπος Ακτής</b>	Ακτή με κροκάλες	Χαμηλοί κρημνοί	Αμμώδης ακτή	Χαμηλοί κρημνοί	Χαμηλοί κρημνοί
	<b>Ταξινόμηση</b>	4	2	5	3	3
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Υψηλή	Χαμηλή	Πολύ Υψηλή	Μέση	Μέση
<b>CVI</b>	<b>Τιμή</b>	4,4	2,2	7,8	4,7	5,4
	<b>Ταξινόμηση</b>	2	1	3	2	2
	<b>Χαρακτηρισμός</b>	Μέση	Χαμηλή	Υψηλή	Μέση	Μέση



Από τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας (CVI) προκύπτει ότι οι περιοχές Α, (ακτές ΒΑ Αττικής) και Δ, Ε (Νέα Μάκρη μέχρι το Λαύριο) εμφανίζουν να έχουν μια μέση τρωτότητα σε ότι αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σε σχέση πάντα με τις γειτονικές των υπό-περιοχές Β, η οποία εμφανίζει χαμηλή τρωτότητα λόγω της χαμηλής κυματικής ενέργειας και των απότομων παράκτιων κλίσεων (έλλειψη παραλιακών ζωνών) και το τμήμα Γ (όρμος Μαραθώνα), το οποίο εμφανίζει την υψηλότερη τρωτότητα καθώς πρόκειται για μια αμμώδη παραλιακή ζώνη με μικρές κλίσεις και μέσης κυματικής ενέργειας). Ακόμα η υψηλή τρωτότητα σε αυτό το τμήμα οφείλεται στη κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα που συγκρατεί τα φερτά υλικά του ποταμού διακόπτοντας την τροφοδοσία της παραλίας.

Γενικά, με την χρήση του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI) μπορούν να εξαχθούν ποσοτικά συμπεράσματα για το πόσο τρωτή είναι μια παράκτια περιοχή σε μια σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας, τα οποία μπορούν ακολούθως να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για την διαχείριση του παράκτιου συστήματος.

#### 4. Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, η παράκτια κλίση, το σημαντικό ύψος κυμάτων αλλά και η διαχρονική μεταβολή της ακτογραμμής είναι οι σημαντικότερες μεταβλητές στον καθορισμό του δείκτη τρωτότητας της παράκτιας περιοχής μελέτης (Ωρωπός-Λαύριο). Σε αντίθεση η παράκτια γεωμορφολογία και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας δεν φαίνεται να συμβάλλουν σημαντικά στη μεταβολή του δείκτη τρωτότητας στους επιμέρους τομείς της περιοχής μελέτης.

Τη μεγαλύτερη τρωτότητα εμφανίζει ο Όρμος του Μαραθώνα, λόγω κυρίως των μικρών κλίσεων της παραλιακής του ζώνης και τη μικρότερη οι βραχύδης και απότομες ακτές της Α. Αττικής. Ενδιάμεσες τιμές έχουν ορισμένες ακτές της ΒΑ Αττικής που «βλέπουν» στο Κόλπο των Πεταλιών, όπως και η περιοχή από Νέα Μάκρη μέχρι το Λαύριο.

#### Βιβλιογραφία

Αθανασούλης και Σκαρσουλής, 1996. Άτλας *Ανέμου και Κύματος Βορειοανατολικής Μεσογείου Θαλάσσης*. Αθήνα, ΕΜΠ/ΓΕΝ, p. 17.

Παπανικολάου Δ.Ι., Μαρσιολάκος Η.Δ., Λέκκας Ε.Λ. και Σ.Γ. Λόζιος Σ.Γ., 1988. Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού. Συμβολή στη νεοτεκτονική, της βόρειας Αττικής. Αθήνα, 30 *Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνική Γεωλογικής Εταιρίας*.

Παυλόπουλος Κ., 1997. *Γεωμορφολογική εξέλιξη της Νότιας Αττικής*. Γαία Ν 2, Αθήνα.

Υδρογραφική Υπηρεσία Π.Ν., 2005. Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων, Υδρογραφική Υπηρεσία, Αθήνα, 24 σ.

Χατζηλευθερίου Ε., 2007. Παράκτια γεωμορφολογική μελέτη των Α και ΒΑ ακτών του Νομού Αττικής. Διπλωματική Εργασία του Μεταπτυχιακού Κύκλου Σπουδών (MSc) Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Παν/μιο Αθηνών, 125 σ.

CERC (1984) *Shore protection Manual*, U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Washington D.C.

Fouache, E., Desruelles, St., Pavlopoulos, K., Dalongeville, R. Coquinot, Y., Peulvast, J.-P., Potdevin, J.L., 2005. *Using beachrocks as sea level indicators in the insular group of Mykonos, Delos and Rhenia (Cyclades, Greece)*. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 137, 37-43.

Gaki-Papanastassiou, K., Maroukian, H., Pavlopoulos, K. and Zamani, A., 1997. The

implications of the expected sea-level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens*, Vol. 1, p. 121-126.

Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., and Birdwell, K.R., 1994. The development of a coastal vulnerability assessment database, Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast *Journal of Coastal Research, Special Issue No. 12*, p. 327-338.

Hammar-Klose, E.S., and Thieler, E.R., 2001, *Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, A Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico Coasts*. U.S. Geological Survey, Digital Data Series, DDS-68.

Lambeck, K., 1996. *Sea-level changes and shoreline evolution in Aegean Greece since Upper Paleolithic time*. *Antiquity*, 70, 588-611.

Maroukian, H., Gaki-Papanastassiou, K., Xatziopoulos, S., Petalas, A., Sotiropoulos, A. and Synodynos, N., 2003. Coastal geomorphology and human interference along the eastern shores of Attica, Greece. *International Conference on "Quaternary coastal morphology and sea level changes" Puglia 2003, Otranto, Italy, 22-28 September 2003*. Proceedings in CD.

Pentelton e, Williams s., and Thieler E. R., 2004 Coastal vulnerability assessment of assateague island national seashore (asis) to sea-level rise. *U.S. Geological survey open-file report 2004-1020, electronic book 2004*.

Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H., and Solomon, S., 1998, *Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise*. Geological Survey of Canada Bulletin 505, 114 p.

Thieler and Hammar-Klose (1999) Thieler, E.R., and Hammar-Klose, E.S., 1999, *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Atlantic Coast*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 99-593,

Tsimplis M. and Blackman D. 1996 *Extreme Sea-level Distribution and Return Periods in the Aegean and Ionian Seas* *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1997) 44, 79-89.

Vouvalidis, K.G., Syrides, G.E., Albanakis, K.S., 2005. *Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: Impact of sea level rise*. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 137, 147-158.



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# *Κλιματολογία*



## ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ METEOSAT-8 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Κολιός Σ., Φείδας Χ.

*Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η συσχέτιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων (μεταξύ νεφών και επιφάνειας) με τις τιμές των θερμοκρασιών λαμπρότητας των κορυφών των νεφών στα δυο θερμικά κανάλια 9 και 10 του δορυφόρου Meteosat-8, στις όποιες αντιστοιχούν χωρικά, με σκοπό το βέλτιστο εντοπισμό των μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (ΜΚΣ). Η μελέτη πραγματοποιείται για 35 ημέρες του έτους 2005 με έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή της Μεσογείου. Μετά τη χωρική και χρονική συσχέτιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων και των τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 ακολουθεί ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιείται με βάση τιμές κατωφλίων τόσο στις τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας των νεφών όσο στη διαφορά αυτών. Η ανάλυση καταδεικνύει το γεγονός της συγκέντρωσης των καταγεγραμμένων ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μικρές τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας (220 – 230K) ενώ παράλληλα η ένταση του φαινομένου αυξάνεται καθώς οι τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μειώνονται. Παράλληλα, η καταιγιδοφόρος δραστηριότητα εντοπίζεται σε νεφικά εικονοστοιχεία με διαφορές στη θερμοκρασία λαμπρότητας των καναλιών 9 και 10 (BTD9-10) που βρίσκονται κοντά στο 0 (μεταξύ -1K και 1K). Ως καταλληλότερος συνδυασμός κατωφλίων για το βέλτιστο εντοπισμό των ΜΚΣ βρέθηκε η τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας 228K για το κανάλι 9 και η τιμή 2K για τη διαφορά BTD9-10.

### CORRELATION OF LIGHTING ACTIVITY WITH SPECTRAL FEATURES OF CLOUDS IN METEOSAT-8 IMAGERY OVER THE MEDITERRANEAN BASIN

Kolios S., Feidas H.

*University of the Aegean, Department of Geography*

### Abstract

This study is an attempt to correlate cloud to ground lightning activity and brightness temperature in the thermal infrared channels 9 and 10 of Meteosat-8, aiming at the optimum mesoscale convective systems (MCS's) detection. The study covers the Mediterranean basin using lightning and Meteosat-8 data for a period of 35 days of 2005 related to intense lightning activity. After the two datasets have been spatially and temporal correlated, a statistical analysis was conducted aiming at identifying the correlation between various thresholds of brightness temperature, cloud to ground lightnings and convective activity. The sensitivity study based on different thresholds on the brightness temperature in channel 9 and the brightness temperature difference of channels 9 and 10 (BTD9-10) yielded that lightning activity is likely for temperatures 220 – 230K and very small values of BTD9-10. The MCS detection is optimised when a threshold value of 228K for channel 9 is used along with a threshold value of 2K for the BTD9-10.

**Λέξεις κλειδιά:** ηλεκτρικές εκκενώσεις, δορυφορικές εικόνες, θερμοκρασία λαμπρότητας, καταιγιδοφόρος δραστηριότητα.

**Key words:** lightnings, satellite images, brightness temperature, convective activity.

## 1. Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό για τον εντοπισμό της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας σε ένα νεφικό σύστημα και των περιοχών με ισχυρά ανοδικά ρεύματα στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια αποτελούν ένδειξη εκδήλωσης έντονων βροχοπτώσεων και χαλαζόπτωσης. Ο λόγος είναι ότι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν φυσική απόρροια της δημιουργίας ηλεκτρικού δυναμικού στα νεφικά συστήματα κατά την παγοποίηση ποσότητας υδρατμών που υπάρχει σε αυτά (π.χ Williams et.al., 2005, Toracinta et.al., 2005). Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν κατά συνέπεια χρήσιμη πληροφορία για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (π.χ Parker et.al., 2000) και την εκτίμηση των ισχυρών βροχοπτώσεων που τα συνοδεύουν (π.χ Latham et. al., 2004; Grecu et al., 2000). Ειδικότερα στη περιοχή της Μεσογείου προηγούμενες μελέτες έχουν αναδείξει το σημαντικό ρόλο των ηλεκτρικών εκκενώσεων στην αξιολόγηση τεχνικών εκτίμησης της βροχόπτωσης (Katsanos et.al., 2006; Papadopoulos et.al., 2005). Πρόσφατες μελέτες εξάλλου επιβεβαιώνουν την συσχέτιση καταιγιδοφόρων συστημάτων μέσης κλίμακας (Correoso et.al.; 2006, Parker et.al., 2000) και των ηλεκτρικών εκκενώσεων. Στην περαιτέρω ανάδειξη της χρησιμότητας των ηλεκτρικών εκκενώσεων για τη μελέτη ακραίων καιρικών φαινομένων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η μεγάλη χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων που παρέχονται από τα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα (όπως ο Meteosat-8) στην υπέρυθρη φασματική περιοχή. Από τα δορυφορικά δεδομένα, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι τιμές θερμοκρασιών λαμπρότητας σε διάφορες φασματικές περιοχές και σε συνδυασμό με τον αριθμό των ηλεκτρικών εκκενώσεων στις οποίες καταγράφονται, μπορούν να αποτελέσουν βασικό κριτήριο για το διαχωρισμό των καταιγιδοφόρων νεφών (Lutz et.al), την εκτίμηση της έντασης της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας καθώς και γενικότερα για την εκτίμηση της βροχόπτωσης με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια συσχέτισης των φασματικών χαρακτηριστικών των μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (ΜΚΣ) στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, όπως αυτά υπολογίζονται στα δυο κανάλια του θερμικού υπέρυθρου του δορυφόρου Meteosat-8, με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που σχετίζονται με αυτά. Απώτερος σκοπός είναι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών για τον ακριβέστερο εντοπισμό των ΜΚΣ στις δορυφορικές εικόνες του Meteosat-8.

## 2. Δεδομένα

Η περιοχή ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης μελέτης καλύπτει την ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 1). Η χρονική περίοδος μελέτης καλύπτει συνολικά 35 ημέρες κατανεμημένες σε διαφορετικούς μήνες του έτους 2005, κατά τη διάρκεια των οποίων παρουσιάστηκε έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 1. Η γεωγραφική περιοχή μελέτης στο προβολικό σύστημα του Meteosat-8.

Για την περίοδο αυτή συγκεντρώθηκαν δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων (μεταξύ νεφών και επιφάνειας) που προέρχονται από το επίγειο δίκτυο καταγραφής ZEUS (Long Range Lightning Detection System), το οποίο παρέχει πληροφοριακό υλικό σε ολόκληρη την

περιοχή ενδιαφέροντος και καταγράφει ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νεφών και εδάφους (Cloud-to-Ground Lightnings) με χρονική ακρίβεια της τάξης των msec και χωρική ακρίβεια 20-25 Km στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Για τις ίδιες ημέρες συλλέχθηκαν επίσης περίπου 3360 εικόνες στο θερμικό υπέρυθρο από το δορυφορικό σύστημα Meteosat-8. Οι συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες διαθέτουν χρονική ανάλυση 15 min και χωρική ανάλυση στην περιοχή μελέτης η οποία κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5 Km. Σε κάθε εικόνα χρησιμοποιείται το κανάλι 9 στην φασματική περιοχή 9.8 - 11.8  $\mu\text{m}$  (φασματικό επίκεντρο 10.8  $\mu\text{m}$ ) και το κανάλι 10 στην περιοχή 11.0 - 13.0  $\mu\text{m}$  (φασματικό επίκεντρο 12.0  $\mu\text{m}$ ).

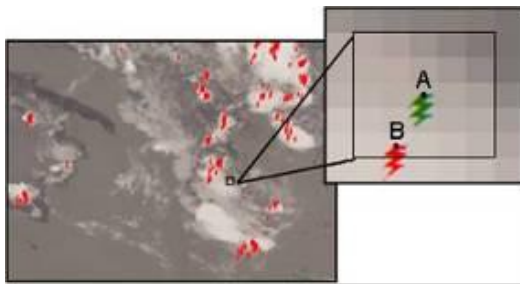
### 3. Ανάλυση δεδομένων

#### 3.1. Χρονική συσχέτιση των δεδομένων

Τα δεδομένα των ηλεκτρικών εκκενώσεων έχουν διαφορετική χρονική ανάλυση από τα δορυφορικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε καταρχήν το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο σαρώνεται από το ραδιόμετρο SEVIRI του Meteosat-8 η περιοχή ενδιαφέροντος και το οποίο είναι κατά προσέγγιση 3min. Με βάση το κέντρο του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο σαρώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος, επιλέχθηκε χρονικό διάστημα  $\pm 3\text{min}$  από το επίκεντρο αυτό για την αντιστοίχιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων στις δορυφορικές εικόνες. Το σύνολο των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε κάθε χρονικό διάστημα  $\pm 3\text{min}$  από το χρονικό επίκεντρο κάθε εικόνας αποτελεί το σύνολο των εκκενώσεων που συνδέονται τελικά με κάθε αντίστοιχη δορυφορική εικόνα.

#### 3.2. Χωρική συσχέτιση των δεδομένων

Η χωρική ακρίβεια του συστήματος καταγραφής των ηλεκτρικών εκκενώσεων ZEUS κυμαίνεται μεταξύ 10-25 Km με μέση τιμή τα 20 Km (Chronis et.al., 2006). Έτσι, για κάθε ηλεκτρική εκκένωση που επιλέχθηκε για αντιστοίχιση, δημιουργείται ένα κελί διαστάσεων (40 x 40) Km<sup>2</sup> με κέντρο, το εικονοστοιχείο στο οποίο αντιστοιχεί η κάθε καταγεγραμμένη ηλεκτρική εκκένωση (οι διαστάσεις του πλέγματος καθορίστηκαν με βάση τη μέση τιμή της χωρικής ακρίβειας που προαναφέρθηκε). Σημειώνεται ότι το κανάλι 9 είναι το πλέον βασικό για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων συστημάτων (Correoso et.al., 2006, Melani, et.al., 2003). Η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 (10.8 $\mu\text{m}$ ) του ραδιομέτρου SEVIRI μέσα στο κελί, αντιπροσωπεύει την περιοχή με τις ισχυρότερες ανοδικές κινήσεις και συνεπώς τη θέση με τη μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουν εκδηλωθεί οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που κατέγραψε το σύστημα. Η τελική θέση στην οποία αποδίδεται κάθε ηλεκτρική εκκένωση αντιστοιχεί στο εικονοστοιχείο με τη μικρότερη τιμή θερμοκρασίας μέσα στο πλέγμα (Σχήμα 2). Για την ίδια θέση υπολογίζεται και η αντίστοιχη θερμοκρασία λαμπρότητας στο κανάλι 10 (12  $\mu\text{m}$ ). Με τον τρόπο αυτό, σε κάθε ηλεκτρική εκκένωση αντιστοιχίζεται μια θερμοκρασία λαμπρότητας της κορυφής του νέφους στα δυο κανάλια 9 και 10.



Σχήμα 2. Απόδοση μιας ηλεκτρικής εκκένωσης (θέση A) στην ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας (θέση B) που σημειώνεται σε ένα κελί μεγέθους (40 x 40) Km<sup>2</sup> στην εικόνα.

### 3.3. Ανάλυση της συσχέτισης των δεδομένων

Από την αντιστοίχιση ηλεκτρικών εκκενώσεων και τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας στο θερμικό υπέρυθρο (10.8  $\mu\text{m}$  και 12  $\mu\text{m}$ ) προέκυψε ένα σύνολο εικονοστοιχείων με συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας στα κανάλια 9 και 10 και συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτρικών εκκενώσεων που καταγράφηκαν σε καθένα από αυτά στο διάστημα των 3 min (ένταση ηλεκτρικών εκκενώσεων).

Για τα εικονοστοιχεία αυτά υπολογίστηκε ακόμη η διαφορά των τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature Difference, BTD) μεταξύ των καναλιών 9 και 10 ( $\text{BTD}_{9-10} = \text{TB}_{\text{band}9} - \text{TB}_{\text{band}10}$ ). Έχει αποδειχθεί ότι η διαφορά αυτή αποτελεί κατάλληλο κριτήριο για τη διάκριση των νεφών Cirrus (Θύσανοι) από τα οπτικά παχύτερα νέφη Cumulonimbus (σωρειτομελανίες) και για τον εντοπισμό παγοκρυστάλλων στα νεφικά συστήματα (Lutz et.al., 2003, Melani et.al., 2003). Η τεχνική BTD αξιοποιεί τις διαφορετικές ικανότητες εκπομπής των ημιδιάφανων νεφών τύπου cirrus στις δυο φασματικές περιοχές, λόγω των παγοκρυστάλλων που τα συνθέτουν, για την ταξινόμηση των νεφών τύπου cirrus (νέφη άκμωνα) και των μεγαλύτερου οπτικού πάχους νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (Inoue, 1985; 1987; 2003). Πιο αναλυτικά, τα νέφη Cirrus αποτελούν υψηλά ημιδιαφανή νέφη τα οποία αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και παρόμοιες θερμοκρασίες λαμπρότητας με τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Λόγω του μικρού οπτικού πάχους των νεφών cirrus, η θερμική ακτινοβολία που καταγράφεται από το παθητικό ραδιόμετρο αποτελεί το άθροισμα της ακτινοβολίας των κορυφών των νεφών Cirrus και της ακτινοβολίας που προέρχεται από χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα ή/και της γήινης επιφάνειας και διέρχεται μέσα από αυτά. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από τους παγοκρυστάλλους στο κανάλι 9 (10.8  $\mu\text{m}$ ) είναι μικρότερη από αυτή στο κανάλι 10 (12.0  $\mu\text{m}$ ) με αποτέλεσμα στην πρώτη περίπτωση η ακτινοβολία που προέρχεται κάτω από τα νέφη να διαπερνά σε μεγαλύτερο ποσοστό τα ημιδιαφανή νέφη cirrus από ότι στη δεύτερη περίπτωση. Κατά συνέπεια, η συνολική ακτινοβολία που προέρχεται από την κορυφή ενός νέφους cirrus και καταγράφεται στο κανάλι 9 είναι μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που καταγράφεται στο κανάλι 10. Αυτό μεταφράζεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες λαμπρότητας στα δυο κανάλια. Νέφη cirrus που καλύπτουν ενεργά νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης εκπέμπουν ως μέλανα σώματα και συνεπώς εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές  $\text{BTD}_{9-10}$  (μικρότερες του 1 K) (Inoue, 1985; 1987; Inoue et al., 2002; Lutz et al., 2003). Αντιθέτως, όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο ενός ΜΚΣ το οπτικό πάχος των νεφών cirrus μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα να αυξάνονται αντίστοιχα οι τιμές της διαφοράς  $\text{BTD}_{9-10}$  (1- 2.5 K για παχιά νέφη και μεγαλύτερες των 2.5 K για λεπτά νέφη cirrus).

Για το σύνολο των νεφικών εικονοστοιχείων στα οποία αποδόθηκαν ηλεκτρικές εκκενώσεις δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα των απόλυτων και των αθροιστικών κατανομών τόσο στις αντίστοιχες θερμοκρασίες λαμπρότητας όσο και στις διαφορές  $\text{BTD}_{9-10}$ . Τα ιστογράμματα αυτά αποτέλεσαν τη βάση για την εύρεση του εύρους των θερμοκρασιών λαμπρότητας και διαφορών  $\text{BTD}_{9-10}$  για το οποίο έχουμε το μεγαλύτερο πλήθος ηλεκτρικών εκκενώσεων.

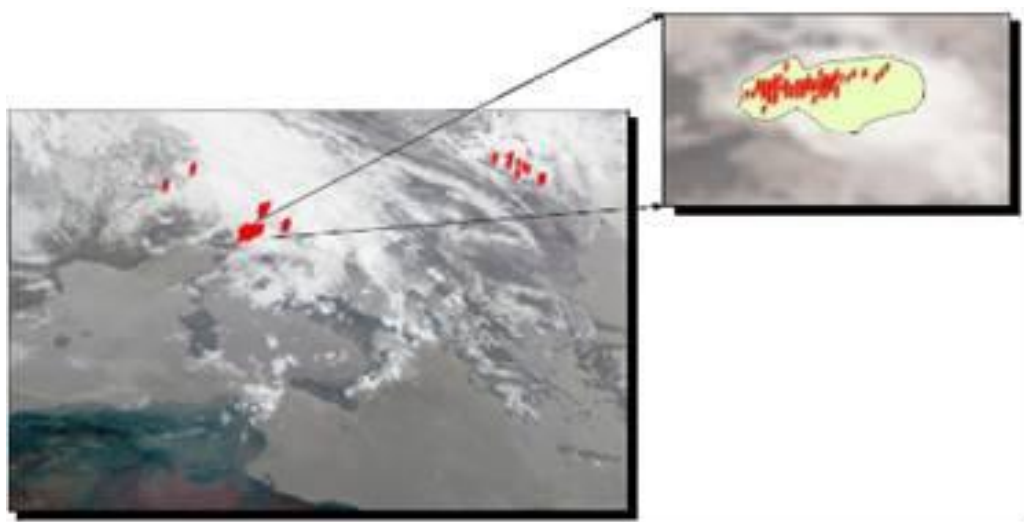
### 3.4 Αξιολόγηση των κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας

Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ανάλυσης τέθηκαν διάφορα κατώφλια στη θερμοκρασία λαμπρότητας και αξιολογήθηκε η ικανότητα τους εντοπισμού των μέσης κλίμακας καταγιδοφόρων συστημάτων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη μέθοδος εντοπισμού και παρακολούθησης ΜΚΣ που ανέπτυξαν οι Feidas and Cartalis (2001). Η μέθοδος αυτή εξετάζει όλη την περιοχή ενδιαφέροντος σε μια εικόνα του Meteosat-8 στο κανάλι 9 για τον εντοπισμό όλων των κορυφών των νεφών με θερμοκρασία λαμπρότητας μικρότερης από μία τιμή κατωφλίου. Κάθε σύνολο των εικονοστοιχείων με τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερης της τιμής κατωφλίου και με αριθμό εικονοστοιχείων μεγαλύτερο από 100  $\text{Km}^2$  καλείται νεφικός πυρήνας. Για κάθε νεφικό πυρήνα που εντοπίζεται, υπολογίζεται μία σειρά παραμέτρων που σχετίζονται με την έκταση,



το σχήμα και το δυναμικό βροχόπτωσης. Στο επόμενο στάδιο του αλγόριθμου παρακολουθούνται (tracking) όλα τα ΜΚΣ από τη δημιουργία τους μέχρι την διάλυσή τους λαμβάνοντας υπόψη τις τυχόν διασπάσεις και συνενώσεις των πυρήνων.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για το σύνολο των 35 διαθέσιμων ημερών με ηλεκτρική δραστηριότητα για διάφορα κατώφλια θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9. Σε κάθε περίπτωση εντοπίστηκαν και συλλέχθηκαν όλα τα νεφικά συστήματα με τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερες από αυτές τις τιμές. Από αυτά θεωρήθηκαν ως καταιγισδοφόρα νεφικά συστήματα όλα εκείνα στα οποία, τουλάχιστον σε ένα από τα στάδια εξέλιξής τους σημειώθηκε έστω και μία ηλεκτρική εκκένωση (Σχήμα 3). Ως μη καταιγισδοφόρα θεωρήθηκαν όλα εκείνα τα νεφικά συστήματα στα οποία δεν έχει σημειωθεί καμία ηλεκτρική εκκένωση σε κανένα από τα στάδια εξέλιξής τους. Ως καταλληλότερο κατώφλι θερμοκρασίας επιλέγεται εκείνο που εντοπίζει μεγαλύτερο ποσοστό νεφικών πυρήνων με αποδεδειγμένη καταιγισδοφόρο δραστηριότητα σύμφωνα με το προηγούμενο κριτήριο. Ακολουθώς, για το κατώφλι θερμοκρασίας αυτό εξετάζεται με τον ίδιο τρόπο η δυνατότητα εφαρμογής ενός ακόμη ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά BTD9-10 των θερμοκρασιών λαμπρότητας στα δυο κανάλια 9 και 10.

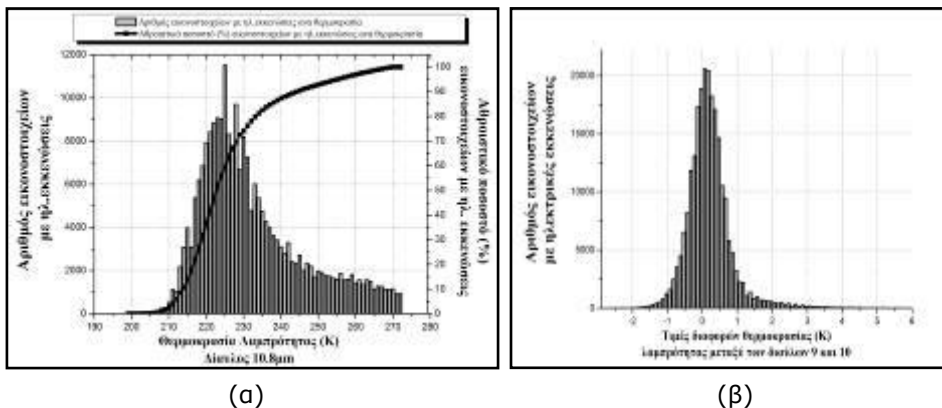


Σχήμα 3. Νεφικός πυρήνας σε εικόνα του καναλιού 9 του Meteosat-8 και οι καταγεγραμμένες ηλεκτρικές εκκενώσεις σε αυτόν. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται με βάση το κριτήριο της μιας ηλεκτρικής εκκένωσης ως καταιγισδοφόρο.

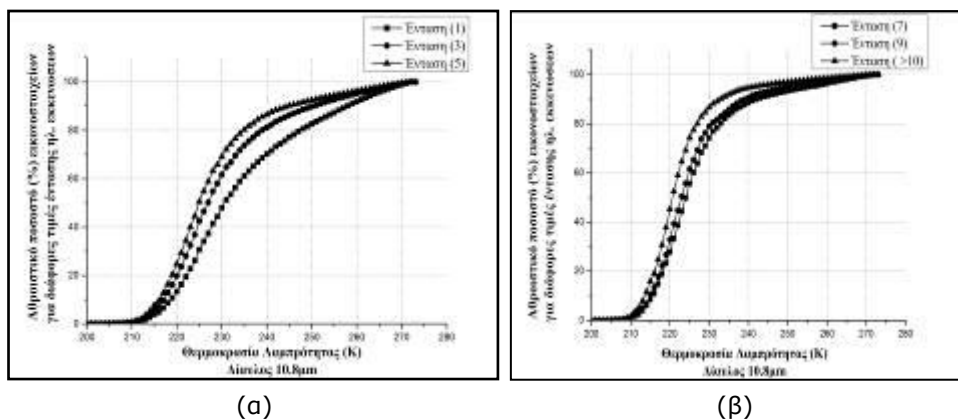
#### 4. Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 4α παρουσιάζεται η κατανομή των νεφικών εικονοστοιχείων - στα οποία εντοπίστηκε τουλάχιστον μία ηλεκτρική εκκένωση - στις διάφορες θερμοκρασίες λαμπρότητας. Παρατηρείται ότι το 70% περίπου των εικονοστοιχείων που συνδέονται με μια τουλάχιστον ηλεκτρική εκκένωση εμφανίζουν τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερες των 230K. Το μεγαλύτερο πλήθος των εικονοστοιχείων (περίπου το 50%) συγκεντρώνεται σε θερμοκρασίες από 218K ως 230K. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες αθροιστικές κατανομές για διάφορες τιμές έντασης εκδήλωσης ηλεκτρικών εκκενώσεων. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ένταση των ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά εικονοστοιχείο, τόσο το πλήθος των εικονοστοιχείων συγκεντρώνεται σε μικρότερες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας. Για παράδειγμα, το 90% περίπου των εικονοστοιχείων που συνδέονται με μια ηλεκτρική εκκένωση (τιμή έντασης 1) έχουν θερμοκρασίες μικρότερες των 260K. Το ίδιο ποσοστό των

εικονοστοιχείων που συνδέονται με πάνω από 10 ηλεκτρικές εκκενώσεις (τιμή έντασης μεγαλύτερη από 10) εμφανίζονται σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες (μικρότερες των 230K). Στο Σχήμα 4β παρατηρείται ότι, όπως αναμένονταν, οι τιμές διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ των καναλιών 9 και 10 συγκεντρώνονται γύρω από το 0.



Σχήμα 4. (α) Το ιστόγραμμα και η αθροιστική κατανομή (%) των νεφικών εικονοστοιχείων στα οποία εντοπίστηκε τουλάχιστον μία ηλεκτρική εκκένωση. (β) Η κατανομή των διαφορών θερμοκρασίας BTD9-10 για τα ίδια εικονοστοιχεία.



Σχήμα 5. Ενδεικτικές αθροιστικές κατανομές των ποσοστών (%) των εικονοστοιχείων για διάφορες τιμές έντασης (αριθμός ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά εικονοστοιχείο) (α) για τιμές έντασης 1, 3 και. (β) για τιμές έντασης 7, 9 και μεγαλύτερης από 10.

Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, εφαρμόστηκε η αυτοματοποιημένη μέθοδος εντοπισμού και παρακολούθησης ΜΚΣ των Feidas and Cartalis (2001) στο κανάλι 9 των εικόνων Meteosat-8 χρησιμοποιώντας ως κατώφλι θερμοκρασίας λαμπρότητας τιμές που βρίσκονται στο εύρος 220K - 230K με βήμα 2K. Η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόστηκε για το σύνολο των 35 διαθέσιμων ημερών με ηλεκτρική δραστηριότητα, με στόχο να ελεγχθεί το δυναμικό του κάθε κατωφλίου ή θερμοκρασίας στον εντοπισμό της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας σε νεφικά συστήματα μέσης κλίμακας (ΜΚΣ). Για το σκοπό αυτό, θεωρηθήκαν ως καταιγιδοφόρα τα νέφη όλα εκείνα στα οποία, τουλάχιστον σε ένα από τα στάδια εξέλιξής τους, σημειώθηκε έστω και μία ηλεκτρική εκκένωση. Έγινε επεξεργασία άνω των 20000 εικόνων Meteosat-8 που κάλυπταν το διάστημα των 35 αυτών ημερών. Στον Πίνακα 1

παρατίθενται τα ποσοστά των καταιγιδοφόρων νεφών που εντοπίστηκαν με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας στο εύρος 220 – 230K. Από τον πίνακα αυτόν παρατηρείται ότι αντιπροσωπευτικότερη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 του Meteosat-8 για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων είναι τα 228K, με ποσοστό επιτυχίας περίπου 60%.

Πίνακας 1. Ποσοστά εντοπισμένων καταιγιδοφόρων νεφών ( $P_{cv}$ ) με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας στην περίοδο των 35 ημερών μελέτης.

Τιμή Κατωφλίου Θερμοκρασίας (K)	$P_{cv}$ (%)
200	41,3
222	47,2
224	50,0
226	50,6
228	59,3
230	54,7

Η χρήση του κατωφλίου θερμοκρασίας στο κανάλι 9 βασίζεται στην απλή θεώρηση ότι πολύ ψυχρές κορυφές νεφών αντιστοιχούν σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Νέφη όμως cirrus που συνήθως βρίσκονται στο ίδιο ύψος εμφανίζουν παρόμοιες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να εκλαμβάνονται λανθασμένα ως νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, εξετάστηκε η δυνατότητα αξιοποίησης της διαφοράς στη θερμοκρασία λαμπρότητα των καναλιών 9 και 10 ( $BTD9-10 = TBband9 - TBband10$ ) η οποία, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να αποτελέσει κατάλληλο κριτήριο για τη διάκριση των νεφών cirrus από τα οπτικά παχύτερα νέφη Cumulonimbus, με απώτερο στόχο τη βελτίωση του ποσοστού των καταιγιδοφόρων συστημάτων που εντοπίζονται κάτω από το βέλτιστο κατώφλι των 228K. Για το σκοπό προστέθηκε ένας επιπλέον έλεγχος στον αλγόριθμο εντοπισμού και παρακολούθησης των ΜΚΣ με βάση ένα κατώφλι στη διαφορά  $BTD9-10$ . Πιο συγκεκριμένα, παράλληλα με το κατώφλι των 228K για τη θερμοκρασία λαμπρότητας, για το οποίο το ποσοστό των καταιγιδοφόρων συστημάτων που εντοπίστηκαν είναι το μεγαλύτερο (Πίνακας 2), εφαρμόζεται ένα επιπλέον κατώφλι για τη διαφορά  $BTD9-10$  και υπολογίζεται εκ νέου το ποσοστό των καταιγιδοφόρων νεφών από τους νεφικούς πυρήνες που εντοπίζονται. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ελέγχονται ενδεικτικά τρία βασικά κατώφλια τιμών  $BTD9-10$  (0, 1 και 2). Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρατίθενται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ποσοστά εντοπισμένων καταιγιδοφόρων νεφών ( $P_{cv}$ ) με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων για τη διαφορά  $BTD9-10$  στην περίοδο των 35 ημερών μελέτης.

Τιμή Κατωφλίου (K)	$P_{cv}$ (%)
0	49,0
1	51,7
2	63,5

Από τον Πίνακα 3 παρατηρείται ότι η εισαγωγή επιπλέον ελέγχου της διαφοράς  $BTD9-10$  βελτιώνει οριακά (από 59.3% σε 63.5%) τα ποσοστά επιτυχίας στην ανίχνευση των ΜΚΣ, για τιμές  $BTD9-10$  μικρότερες των 2K. Η τιμή αυτή είναι κατά 1K μεγαλύτερη από το κατώφλι που βρήκε ο Ιπουε (1987; 2002) για το διαχωρισμό των νεφών cirrus από τα οπτικά παχύτερα νέφη τύπου cumulonimbus.

## 5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης των ηλεκτρικών εκκενώσεων και των φασματικών χαρακτηριστικών των καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων μέσης κλίμακας με βάση τα δύο θερμικά κανάλια του δορυφόρου Meteosat-8 για την περιοχή της Μεσογείου. Από τη συσχέτιση αυτή προέκυψε ότι μεγάλη συχνότητα εκδήλωσης ηλεκτρικών εκκενώσεων εμφανίζεται σε νεφικά εικονοστοιχεία με θερμοκρασίες λαμπρότητας στο κανάλι 9 (10.8μm) που κυμαίνονται από 220K έως 230K. Όσο αυξάνει η ένταση των ηλεκτρικών εκκενώσεων που καταγράφονται σε ένα νεφικό εικονοστοιχείο τόσο μειώνεται η θερμοκρασία λαμπρότητας του εικονοστοιχείου αυτού. Παρατηρήθηκε ακόμη, σαφής συσώρευση των τιμών διαφοράς των θερμοκρασιών λαμπρότητας των καναλιών 9 και 10 γύρω από το 0 (κυρίως μεταξύ -1K και 1K). Οι πολύ μικρές αυτές τιμές της BTD9-10 κορυφών νεφών που αντιστοιχούν σε νεφικά συστήματα μεγάλου οπτικού πάχους τα οποία με βάση τις θερμοκρασίες των κορυφών τους βρίσκονται σε μεγάλα ύψη (θερμοκρασία μικρότερη των 228K) και συνεπώς αποτελούν νεφικά συστήματα κατακόρυφης ανάπτυξης.

Ο έλεγχος ευαισθησίας που έγινε για διάφορα κατώφλια θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 με σκοπό το βέλτιστο εντοπισμό των καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων έδειξε ότι το καταλληλότερο κατώφλι είναι η θερμοκρασία των 228K. Σε αυτή την τιμή, το ποσοστό επιτυχίας εντοπισμού των ΜΚΣ είναι περίπου 60%. Το ποσοστό αυτό βελτιώνεται ελαφρά κατά 4.2 ποσοστιαίες μονάδες με τη χρήση ενός επιπρόσθετου κατωφλίου στη διαφορά θερμοκρασίας των καναλιών 9 και 10. Η τιμή του κατωφλίου αυτού βρέθηκε ότι είναι 2K. Η μικρή σχετικά βελτίωση που σημειώθηκε με τη χρήση δύο κατωφλίων οφείλεται στο γεγονός ότι το επιπλέον κατώφλι στη διαφορά BTD9-10 βοηθά στον εντοπισμό με μεγαλύτερη ακρίβεια των καταιγιδοφόρων περιοχών των ΜΚΣ αποκλείοντας τα μικρότερο οπτικού πάχους νέφη τύπου cirrus που επικρατούν στην περιφέρεια του συστήματος και τα οποία δεν συνδέονται με καταιγιδοφόρα δραστηριότητα. Η εξέταση της εισαγωγής και άλλων διαφορών καναλιών του Meteosat-8 (π.χ. της φασματικής περιοχής 10.7 μm και της ζώνης απορρόφησης των υδρατμών στα 6.7 μm) και η εύρεση του καταλληλότερου συνδυασμού των κατωφλίων για το βέλτιστο εντοπισμό των ΜΚΣ αποτελεί το επόμενο στάδιο της παρούσας έρευνας.

## Βιβλιογραφία

Greco, M., Anagnostou, E.M., Adler, R.F., 2000: Assessment of the Use of Lightning Information in Satellite Infrared Rainfall Estimation. *J. Hydrometeorol.* 1(3): 211-221.

Chronis, T., Anagnostou, E., 2006: Evaluation of a Long-Range Lightning Detection Network with Receivers in Europe and Africa. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44.

Correoso, J.F., Hernandez, E., Garcia-Herrera, R., Barriopedro, E., Paredes, D. 2006: A 3-year study of cloud-to-ground lightning flash characteristics of MCS over Western Mediterranean Sea. *Atmos. Res.*, 79: 89-107.

Feidas, H. and Cartalis, C., 2001: Monitoring mesoscale convective cloud systems associated with heavy storms with the use of Meteosat imagery, *J. Appl. Meteorol.*, 40, 491-512.

Inoue, T., 1985: On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus clouds by bi-spectral measurements in the 10 mm window region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 63: 88-99.

Inoue, T., 1987: A cloud type classification with NOAA7 split-window measurements. *J. Geophys. Res.*, 92, 3991-4000.

Inoue, T., 2003: Convective/Stratiform rain by PR/TRMM and life stage of deep

convection. Geophysical Research Abstracts, 5, 08446

Inoue, T., Ackerman, S.A., 2002: Radiative effects of various cloud types as classified by the split window technique over the eastern sub-tropical Pacific derived from collocated ERBE and AVHRR data. J. Meteor. Soc. Japan, 80(6): 1383-1394.

Katsanos, D., Viltard, N., Lagouvardos, K, Kotroni, V. 2006: Performance of a rain retrieval algorithm using TRMM data in the Eastern Mediterranean. Advances in Geosciences, 7: 321–325.

Latham, J., Blyth, M., Christian Jr., Deierling, W., Gadian, M. 2004: Determination of precipitation rates and yields from lightning measurements. J. Hydrology, 288: 13–19,.

Lutz, J.H., Inoue, T., Schmetz, J. 2003: Comparison of a split-window and a multi-spectral cloud classification for MODIS observations. J. Meteorol. Soc. Japan, 81: 623–631.

Melani, S., Cattani, E., Levizzani, V., Cervino, M., Toricella, F., Costa, J.M. 2003: Radiative effects of Cirrus clouds on top of deep convective storm in Meteosat second generation SEVIRI channels. Meteorol. and Atm. Physics, 83: 109 -122.

Papadopoulos, A., Chronis, T., Anagnostou, E. 2005: Improving Convective Precipitation Forecasting Through Assimilation of Regional Lightning Measurements in a Mesoscale Model. Mon. Weath. Rev., 133: 1961-1977.

Parker, M., Rutledge, S., Johnson, S. 2000: Cloud to Ground Lightning in Linear Mesoscale Convective Systems. Mon. Weath. Rev., 129: 1232-1242.

Toracinta, R., Mohr, K. 1995: A comparison of WSR-88D Reflectivities, SSM/I Brightness Temperatures and Lightning in Mesoscale Convective System in Texas, Part I: Radar Reflectivity and Lightning. J. Appl. Meteorol., 35: 902 – 918.

Williams, E.R., 2005: Lightning and climate: A review. Atmos. Res., 76: 272–287.

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΑΧΑΡΑ, ΠΑΝΩ ΑΠ'Ο ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Κοσμοπούλος Π.<sup>1</sup>, Νάστος Π.<sup>1</sup>, Κασκαούτης Δ.<sup>2</sup>, Καμπεζίδης Χ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος,  
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών

<sup>2</sup> Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

### Περίληψη

Η μελέτη αυτή εστιάζει στον προσδιορισμό των Επεισοδίων Σκόνης από την Σαχάρα (ΕΣΣ), που εμφανίζονται πάνω από την Αθήνα, καλύπτοντας μια περίοδο έξι ετών (2000-2005). Τα ημερήσια δεδομένα του Οπτικού Βάθους των Αερολυμάτων (ΟΒΑ) στα 550 nm, που συνδέονται με τις τιμές του κλάσματος των αερολυμάτων Μικρού Μεγέθους (ΜΜ), από το φασματοραδιόμετρο (MODIS) που είναι εγκατεστημένο στον δορυφόρο πολικής τροχιάς EOS-TERRA καθώς επίσης και οι τιμές του Δείκτη Αερολυμάτων (ΔΑ) από το φασματομέτρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος (TOMS) έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μελετηθούν η μεταβλητότητα και οι εποχικές τάσεις των ΕΣΣ πάνω από την Αθήνα. Όλες οι ανωτέρω παράμετροι λαμβάνονται σε ημερήσια βάση με χωρική ανάλυση 1x1ο (10x10 km), που έχει στο επίκεντρο του πλέγματος την Αθήνα (37.5οN, 23.43ο E). Αρχικά, από τη σχέση μεταξύ ΟΒΑ550 και ΜΜ, διαχωρίστηκαν τα χοντρόκοκκα αερολύματα, που πιθανόν να αντιστοιχούν σε σωματίδια σκόνης προερχόμενα από την έρημο Σαχάρας. Για αυτή την διάκριση επιλέχτηκαν τα κατώφλια ΟΒΑ550>0.3 και ΜΜ<0.6. Από τις 1809 ημέρες των μετρήσεων, 337 ικανοποιούν αυτό το κριτήριο. Εντούτοις, όλες αυτές οι περιπτώσεις δεν αντιστοιχούν σε ΕΣΣ. Αυτά τα επεισόδια ξεχωρίζονται περαιτέρω με τη χρήση των οπισθοτροχιών τεσσάρων ημερών, που υπολογίζονται από το μοντέλο HYSPLIT σε 3 ύψη (500m, 1000m και 4000m). Χρησιμοποιώντας αυστηρά κριτήρια σχετικά με την τροχιά και την πηγή των αερίων μαζών, υπολογίστηκε ότι 79 από τις ανωτέρω 337 περιπτώσεις αντιστοιχούν σε ΕΣΣ. Αυτά τα επεισόδια εμφανίζουν την μεγαλύτερη συχνότητα τον Ιούλιο, και ακολουθεί ο Σεπτέμβριος και ο Απρίλιος.

### DETERMINATION OF SAHARAN DUST EPISODES OVER ATHENS

Kosmopoulos P.<sup>1</sup>, Nastos P.<sup>1</sup>, Kaskaoutis D.<sup>2</sup>, Kambezidis H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and  
Geoenvironment, University of Athens

<sup>2</sup>Institute for Environmental Research and Sustainable Development,  
National Observatory of Athens

### Abstract

This study focuses on the identification of the Saharan dust (SD) events occur over Athens covering a 6-year (2000-2005) period. Daily data of aerosol optical depth (AOD) at 550 nm associated with fine-mode FM fraction values from the MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) onboard EOS-TERRA polar-orbiting satellite and Aerosol Index (AI) values from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) have been used in order to obtain the climatology and seasonal trends of SD events over Athens. FM fraction is the proportion of AOD contributed by the small particles, mainly soot or anthropogenic aerosols, while AI is an index that indicates the presence of elevated absorbing aerosols (desert dust) in the atmosphere. All the above parameters are obtained on daily basis with spatial resolution of 1x1ο (10x10 km) centered at Athens (37.5οN 23.43οE). Firstly, from the relation between AOD550 and FM, the coarse-mode aerosols were discriminated, probably

corresponding to dust particles originated from Sahara desert. For this discrimination the threshold values  $AOD_{550} > 0.3$  and  $FM < 0.6$  were selected. Out of 1809 days of measurements, 337 satisfy this criterion. However, not all these cases correspond to SD events. These events are further discriminated with the use of 4-day back trajectories computed from the HYSPLIT model at 3 altitudes (500m, 1000m and 4000m). Using strict criteria regarding the trajectory and the source of the air masses, it is established that 79 of the above 337 cases correspond to SD events. These events exhibit higher occurrence in July, followed by September and April.

**Λέξεις κλειδιά:** σκόνη Σαχάρας, οπτικό βάθος αερολυμάτων, οπισθοτροχιές, Αθήνα.

**Key words:** Saharan dust, aerosol optical depth, back trajectories, Athens.

## 1. Εισαγωγή

Η έρημος της Σαχάρας αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή σκόνης στον κόσμο. Τα σωματίδια αυτά της σκόνης από τη Σαχάρα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη Μεσόγειο θάλασσα και τα παράλια της Ευρώπης, αφού μπορούν και ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις και σε μεγάλα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να παραμένουν εκεί από μερικές μέρες μέχρι και μερικές εβδομάδες (Pandis et al., 1995). Η ύπαρξη σκόνης από τη Σαχάρα εντοπίζεται και προσδιορίζεται στις περιοχές της Ευρώπης από την χαρακτηριστική κόκκινη βροχή που αποτελεί και την υγρή απόθεση σκόνης, ή από την σκόνη που βρίσκεται παγιδευμένη στο χιόνι ή στον πάγο και που αποτελεί την ξηρή απόθεση σκόνης. Η εμφάνιση των επεισοδίων σκόνης πάνω από τη Μεσόγειο έχει ένα συγκεκριμένο εποχικό κύκλο, που κατευθύνεται και επηρεάζεται κυρίως από κάποιους έντονους κυκλώνες που αποκαλούνται Sharav και δρουν νότια των βουνών Atlas στο Μαρόκο (Moulin et al., 1998). Αυτοί οι κυκλώνες γεννώνται στο μέτωπο των διαφορετικών αερίων μαζών, όπου από τη μια πλευρά έρχονται οι κρύες αέριες μάζες της θαλάσσιας περιοχής του Ατλαντικού και από την άλλη οι θερμές μάζες της ηπειρωτικής περιοχής. Οι αέριες αυτές μάζες διασταυρώνονται πάνω από τη βόρεια Αφρική κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του Καλοκαιριού και για αυτό τον λόγο σε αυτές τις εποχές κυρίως έχουμε ανύψωση σκόνης που στη συνέχεια ανάλογα και με τις μετεωρολογικές συνθήκες κατευθύνεται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Η σκόνη της Σαχάρας, ορυκτολογικώς αποτελείται σε ποσοστό 89% από ιλίτη, καολινίτη και μοντμοριλλονίτη (Sokolik and Toon, 1999), αλλά και από αιματίτη (Quijano et al., 2000). Ο αιματίτης έχει τη φυσική ιδιότητα να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, και συνδυαζόμενος με τα υπόλοιπα τρία αργιλικά ορυκτά που είναι σχετικά διαφανή στην ηλιακή ακτινοβολία, έχει σαν αποτέλεσμα μια μεγαλύτερης τάξης απορρόφηση ιδιαίτερα στις μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίες. Επιπροσθέτως, τα σωματίδια σκόνης με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας επιδρούν έτσι και στη θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας. Σαν αποτέλεσμα, ένα μεμονωμένο επεισόδιο σκόνης μπορεί να προκαλέσει στην κατώτερη ατμόσφαιρα, δηλαδή στο ύψος των 1,5 μέχρι και των 3.5 χιλιομέτρων, μια μέση αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,2 βαθμούς Κελσίου τη μέρα. Σε διάστημα λοιπόν ενός χρόνου και με περίπου 30 επεισόδια σκόνης να έχουν συμβεί, η επίδρασή τους στη συνολική θέρμανση της περιοχής στην οποία επιδρούν είναι της τάξης των 6 βαθμών Κελσίου το χρόνο (Alpert et al., 1998).

Λόγω των σπουδαίων επιπτώσεων από τις εξάρσεις της σκόνης στο κλίμα, την ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα, έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες έρευνες για την ατμόσφαιρα της Μεσογείου, αλλά και πολλά επιστημονικά όργανα και τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό και τη διερεύνηση των εξάρσεων σκόνης από τη Σαχάρα. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις αερολυμάτων από τον αισθητήρα Terra-MODIS όπως επίσης και οι τιμές του δείκτη αερολυμάτων από το φασματόμετρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος (TOMS) για το χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων της σκόνης που μας ενδιαφέρει, αλλά και για την ανάλυση των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την ευρύτερη περιοχή

της Αθήνας για τη χρονική περίοδο 2000-2005. Βασικός σκοπός της έρευνας είναι ο ακριβής προσδιορισμός της εποχικής διακύμανσης των οπτικών ιδιοτήτων της σκόνης με έμφαση στην αέρια μεταφορά των σωματιδίων σκόνης από την έρημο Σαχάρα. Χρησιμοποιώντας τέλος τις οπισθοτροχιές των αερίων μαζών αναλύουμε επιπλέον και τις γενικές διόδους μεταφοράς της σκόνης αλλά και την κατακόρυφη κατανομή της στην ατμόσφαιρα.

## 2. Δεδομένα και Ανάλυση

Για την πραγματοποίηση της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον δορυφορικό αισθητήρα Terra-MODIS, από το φασματόμετρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος (TOMS) και υπολογίστηκαν οπισθοτροχιές αερίων μαζών με τη βοήθεια του μοντέλου HYSPLIT. Ειδικότερα για τα ανακτημένα δεδομένα του MODIS αναφέρουμε τα παρακάτω: ο λογικός αναλυτής φασματικού μετρητή ραδιενέργειας (MODIS) εκτοξεύτηκε το Δεκέμβριο του 1999 με τον πολιτική τροχιάς δορυφόρο NASA-EOS Terra. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης ανακτήθηκαν οι παράμετροι οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550 νανόμετρα ( $OBA_{550}$ ) και οι τιμές του κλάσματος των αερολυμάτων Μικρού Μεγέθους (MM). Οι ανωτέρω παράμετροι ελήφθησαν σε ημερήσια βάση με χωρική ανάλυση  $1 \times 1^\circ$  ( $10 \times 10$  km), και με επίκεντρο του πλέγματος την Αθήνα ( $37.5^\circ N$ ,  $23.43^\circ E$ ). Η ανάλυση των παραμέτρων έχει ως σκοπό την εποχική και χωρική κατανομή και διακύμανση των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα και που στην περίπτωση μας το ρόλο των αερολυμάτων παίζει η σκόνη από τη Σαχάρα. Οι ημερήσιες μετρήσεις που συλλέχθηκαν φτάνουν τις 1809 και λαμβάνουν χώρα από τις 26 Φεβρουαρίου του 2000 μέχρι και τις 31 Δεκεμβρίου του 2005.

Όσον αφορά τα δεδομένα από το φασματόμετρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος (TOMS) να εξηγήσουμε ότι η παράμετρος που μας ενδιαφέρει είναι οι τιμές του Δείκτη Αερολυμάτων (ΔΑ). Ο δείκτης αερολυμάτων είναι το μέτρο της μεταβλητότητας του μήκους κύματος κατά την απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα αερολύματα. Και επομένως με τη βοήθεια του δείκτη αυτού μπορούμε να διαπιστώσουμε κάθε στιγμή και να εντοπίζουμε την ύπαρξη ανυψωμένων αερολυμάτων πάνω από επιφάνειες υψηλής αντανάκλασης, δηλαδή σε περιοχές στην ξηρά όπου έχουμε ύπαρξη ερήμου. Για τις ανάγκες της μελέτης ανακτήσαμε τις τιμές του ΔΑ για την περίοδο 2000-2005 από τον δορυφόρο TOMS ο οποίος είναι εξοπλισμένος με το φασματόμετρο χαρτογράφησης του ολικού όζοντος (Ahmad *et al.*, 2003).

Τέλος, για τις οπισθοτροχιές και το HYSPLIT πρέπει να πούμε πως στο μοντέλο αυτό υπολογίσαμε τις αναλυτικές τροχιές των αερίων μαζών για χρονικό διάστημα τεσσάρων ημερών (Draxler and Rolph, 2003). Αυτό στάθηκε αναγκαίο για να μπορούμε να αναγνωρίσουμε και να ταξινομήσουμε τις κύριες διόδους κατευθύνσεως της σκόνης πάνω από την Αθήνα. Οι οπισθοτροχιές υπολογίστηκαν για συγκεκριμένους λόγους σε τρία διακριτά υψόμετρα. Στα 500 μέτρα για να δώσουμε τις αντιπροσωπευτικές πηγές των αερίων μαζών κοντά στην επιφάνεια, στα 1000 μέτρα, υψόμετρο που εξηηρετεί στην οριοθέτηση του ανώτερου ορίου μέχρι το οποίο εμφανίζεται η πλειοψηφία των αερολυματικών σωματιδίων και στα 4000 μέτρα για την περιοχή εμφάνισης της σκόνης από τη Σαχάρα. Συγκεκριμένα, μεταξύ των 3,5 και 4,5 χιλιομέτρων πάνω από την Αθήνα σχηματίζεται μια στρώση η οποία απαρτίζεται από σκόνη προερχόμενη από την έρημο Σαχάρα (Papayannis *et al.*, 2005). Επομένως, όταν η σκόνη αυτή φτάνει από τη βόρεια Αφρική στην Αθήνα στις περισσότερες των περιπτώσεων εντοπίζεται σε αυτής της τάξης το υψόμετρο. Οι οπισθοτροχιές του μοντέλου HYSPLIT υπολογίστηκαν σε ημερήσια βάση και αναφέρονται στις 11:00 UTC, ώρα δηλαδή κοντινή στη διέλευση και του δορυφόρου Terra-MODIS, ώστε η διασταύρωση των αποτελεσμάτων των δύο αυτών πηγών να είναι αξιόπιστη.

Στον εναέριο χώρο των Αθηνών παρατηρούνται 4 βασικοί τύποι αερολυμάτων. i) Τα ηπειρωτικά αερολύματα, ή βιομηχανικά αερολύματα που παράγονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα εναέρια απόβλητα από την καύση του πετρελαίου, οι εκπομπές καυσαερίων των αυτοκινήτων αλλά και των κεντρικών θερμαντικών συστημάτων των πόλεων. Στα ηπειρωτικά αερολύματα επίσης ανήκουν και τα αέρια από τις εποχικές φωτιές των δασών.



ii) Τα θαλάσσια αερολύματα που οφείλουν την προέλευσή τους στους ανέμους, οι οποίοι επιδρούν στις θαλάσσιες επιφάνειες με αποτέλεσμα να ανυψώνουν θαλάσσια σωματίδια. iii) Αερολύματα καπνού (καμένης βιομάζας) από τις εποχικές φωτιές στα δάση. iv) Σκόνη ερήμου που προέρχεται από τις άνυδρες περιοχές της βόρειας Αφρικής, δηλαδή από την έρημο Σαχάρα.

Όλοι οι παραπάνω τύποι αερολυμάτων λόγω των διαφορετικών προελεύσεών τους, παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές στα οπτικά αλλά και στα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά (Dubovik et al., 2002). Ειδικότερα, στα αστικά περιβάλλοντα οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων απαρτίζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από σωματίδια μικρού μεγέθους (Remer and Kaufman, 1998), ενώ αντίθετα στη σκόνη της ερήμου τα σωματίδια που κυριαρχούν είναι τα χοντρόκοκκα (Masmudi et al., 2003), δηλαδή αυτά με το μεγαλύτερο σχετικά πάντα μέγεθος. Στα θαλάσσια περιβάλλοντα, η σχετική συνεισφορά των χοντρόκοκκων σωματιδίων, αν και έχει μεγάλη μεταβλητότητα, είναι υψηλότερη από ότι συμβαίνει στις αστικές συνθήκες και χαμηλότερη από ότι στη σκόνη της ερήμου (Smirnov et al., 2002). Βασίζομενοι σε αυτά τα στοιχεία, διαχωρίζουμε την παρουσία και τη συνεισφορά των διαφόρων τύπων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα της Αθήνας. Ο διαχωρισμός αυτός καθορίστηκε βάση του συνδυασμού των δεδομένων του OBA550 και του MM (Barnaba and Gobbi, 2004). Τα σωματίδια σκόνης λοιπόν που μας ενδιαφέρουν, που εμφανίζονται σε ολόκληρη τη Μεσόγειο και συνήθως παίζουν το ρόλο δείκτη για τον προσδιορισμό διαφόρων επεισοδίων έξαρσης σκόνης, παρουσιάζουν υψηλές τιμές OBA αλλά και μικρή αναλογία των μικρών σωματιδίων προς τα χοντρόκοκκα (Balis et al., 2004). Συνεπώς, για το διαχωρισμό των σωματιδίων σκόνης από την έρημο, επιλέγουμε τα κατώφλια  $OBA550 > 0.3$  και  $MM < 0.6$  (Kaskaoutis et al., 2007). Έτσι, σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, από τις 1809 μέρες των μετρήσεων, 337 το ικανοποιούν αριθμητικώς.

Η βασική υπόθεση τώρα για το διαχωρισμό των καθαρών επεισοδίων σκόνης από τις 337 περιπτώσεις των χοντρόκοκκων σωματιδίων, έχει να κάνει με τις αέριες μάζες οι οποίες φτάνουν στην Αθήνα στα 4000 μέτρα υψόμετρο κυρίως ή και στις κατώτερες στρώσεις. Αυτές οι μάζες θα πρέπει να είναι φορτωμένες με σκόνη ερήμου και να έχουν προέλευση από την έρημο Σαχάρα. Πρέπει να σημειωθεί πως μια αέρια μάζα για να χαρακτηρίζεται ως ερημικής προέλευσης πρέπει να έχει περάσει μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα πάνω από τη Σαχάρα. Ειδικότερα, η άνοδος της σκόνης συμβαίνει όταν η αέρια μάζα περνά περισσότερο από το 70% της διάρκειας των 4 τελευταίων ημερών της διαδρομής της πάνω από την έρημο Σαχάρα. Αυτές οι συνθήκες έχουν ελεγχθεί για τις οπισθοτροχίες τεσσάρων ημερών που καταλήγουν στα 4000 μέτρα πάνω από την Αθήνα, αλλά και για τις οπισθοτροχίες που φτάνουν στα 1000 και τα 500 μέτρα, δηλαδή τις εγκύτερες στην επιφάνεια. Μετά από αυτήν την ανάλυση, οι περιπτώσεις που αντιστοιχούν σε επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα, πέφτουν από τις 337 στις 79. Επομένως η μελέτη αυτή έχει να ασχοληθεί με 79 επεισόδια σκόνης από την έρημο Σαχάρα σε διάστημα χρόνου 6 ετών, από το 2000 μέχρι το 2005.

### 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

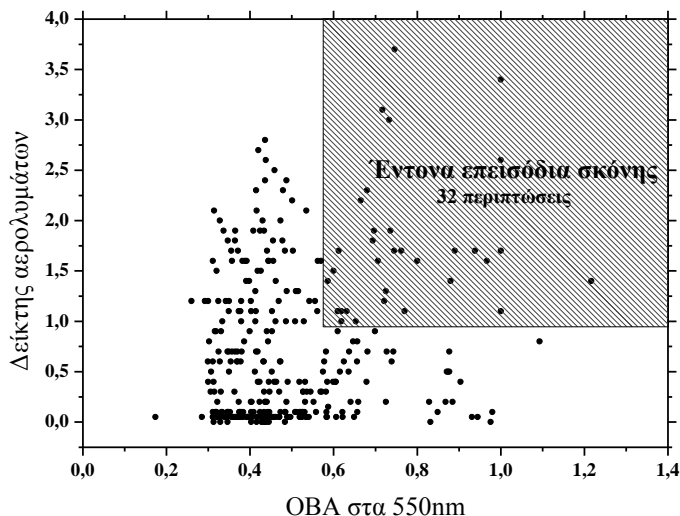
Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας καλύπτει μια έκταση περίπου 450 τετραγωνικών χιλιομέτρων και έχει καταγεγραμμένους 4 εκατομμύρια κατοίκους. Η λεκάνη στην οποία βρίσκεται η πόλη της Αθήνας απαρτίζεται από τις τρεις πλευρές της με βουνά και με τον Σαρωνικό κόλπο στα νότια. Αυτή η σύνθετη τοπογραφία έχει σαν αποτέλεσμα τη φτωχή γενικά αέρια κυκλοφορία πάνω από την Αθήνα (Kambezidis et al., 1995). Συνοπτικά, η ατμόσφαιρα της Αθήνας από μετεωρολογικής άποψης ανάλογα με την εποχή, επηρεάζεται και τελικώς καθορίζεται από τη γενικότερη αέρια κυκλοφορία της Μεσογείου αλλά και της Ευρώπης. Συγκεκριμένα κατά τους χειμερινούς μήνες επιδρά ο αντικυκλώνας της Σιβηρίας όπου και προκαλεί κάθοδο ψυχρών αέριων μαζών από την βορειοανατολική Ευρώπη, επιδρά επίσης ο αντικυκλώνας της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης και τέλος τα χαμηλού βαρομετρικού συστήματα της δυτικής Ευρώπης και του Ατλαντικού ωκεανού που προκαλούν κινήσεις από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Κατά το καλοκαίρι η Ελλάδα αλλά και γενικότερα η ανατολική Μεσόγειος βρίσκεται υπό την επίδραση δύο βαρομετρικών συστημάτων που

οδηγούν σε ένα κυκλικό και επαναλαμβανόμενο μετεωρολογικό μοτίβο. Από τη μια πλευρά ο μόνιμος και ημιαυτόνομος αντικυκλώνας των Αζωρών και από την άλλη οι ασθενείς θερμές αέριες μάζες της Ινδίας. Τέλος στην αρχή της άνοιξης αλλά και στην αρχή του Καλοκαιριού όπου οι άνεμοι είναι ασθενείς και η γενική κυκλοφορία επηρεάζεται αποκλειστικά από την αύρα της θάλασσας, τότε και η επίδραση των ανθρωπογενών αερολυμάτων και η αέρια μόλυνση βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα της χρονιάς. Οπότε τότε και η στασιμότητα στην ατμόσφαιρα των πάσης φύσεως αερίων σωματιδίων οποιασδήποτε προέλευσης θα γίνεται εντονότερα αισθητή.

### 3.1 Προσδιορισμός επεισοδίων εμφάνισης σκόνης από Σαχάρα

Από τις 337 μέρες που χαρακτηρίζονται από χονδρόκοκκα σωματίδια (πιθανή ύπαρξη σκόνης), οι 79 (23%) ικανοποιούν το κριτήριο χαρακτηρισμού τους ως επεισόδια σκόνης Σαχάρας (ΕΣΣ). Μέσα στις 79 αυτές περιπτώσεις υπάρχουν και ακραία φαινόμενα εντονότατων επεισοδίων σκόνης τα οποία παρακάτω θα αποκαλούμε ως έντονα επεισόδια σκόνης. Τα επεισόδια σκόνης Σαχάρας λοιπόν έχουν μια μέση τιμή  $OBA_{550}$  (οπτικού βάθους αερολυμάτων) της τάξεως του  $0.54 \pm 0.21$  ενώ η μέση τιμή των  $MM$  (αερολυμάτων μικρού μεγέθους) είναι  $0.46 \pm 0.13$ . Τέλος, ο  $\Delta A$  (δείκτης αερολυμάτων) παρουσιάζει την υψηλή τιμή του  $1.11 \pm 0.77$ .

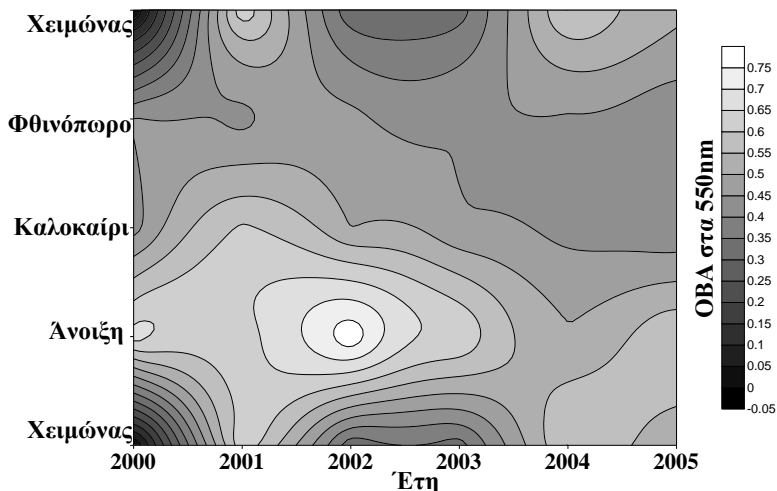
Οι υψηλότερες τιμές του  $OBA_{550}$  συνδυασμένες με τις υψηλότερες του  $\Delta A$  εξετάστηκαν για τις περιπτώσεις των επεισοδίων σκόνης από Σαχάρα. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκαν τα κατώφλια  $OBA_{550} > 0.6$  και  $\Delta A > 1.0$ . Χρησιμοποιώντας αυτό το κριτήριο, από τις 79 μέρες ΕΣΣ, μόνο οι 32 (42%) μπορούν να χαρακτηριστούν ως έντονα επεισόδια σκόνης. Σε αυτήν την περίπτωση οι μέσες τιμές των παραγόντων που εξετάζουμε μεταβάλλονται. Συγκεκριμένα το  $OBA_{550}$  γίνεται  $0.79 \pm 0.20$ , το  $MM$   $0.51 \pm 0.13$  και ο  $\Delta A$   $1.74 \pm 0.76$ , δηλαδή έχουμε μεγάλη σχετικά αύξηση και στους τρεις παράγοντες, πράγμα που εξηγεί και την ένταση του φαινομένου. Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι στα 79 ΕΣΣ οι οπισθοτροχιές δεν παρουσιάζουν σκόνη και στα τρία υψόμετρα. Αντιθέτως τα 32 επεισόδια έντονης σκόνης (ΕΕΣ) εμφανίζουν σκόνη και στα τρία υψόμετρα, δηλαδή και στα 4000 μέτρα αλλά και χαμηλότερα στα 1000 και στα 500 μέτρα. Όλα τα αποτελέσματα φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα αυτής της μελέτης. Η συσχέτιση επίσης από την οποία προέκυψαν τα έντονα επεισόδια σκόνης ( $OBA_{550}$  με  $\Delta A$ ) δίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Συσχέτιση των τιμών του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550nm και του δείκτη αερολυμάτων για όλη την περίοδο των δεδομένων. Οι υψηλές τιμές του  $OBA_{550} (> 0.6)$  και του  $\Delta A (> 1.0)$  είναι χαρακτηριστικές για τα έντονα επεισόδια σκόνης.

## 3.2 Κατανομή των επεισοδίων σκόνης από Σαχάρα

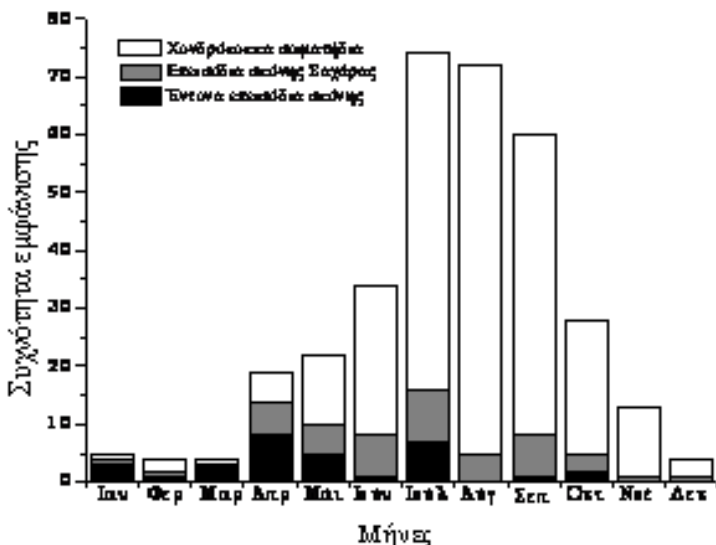
Η εποχική μεταβλητότητα των επεισοδίων σκόνης μπορεί να εξηγηθεί συνοπτικά από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αλλά και στη βόρεια Αφρική. Έτσι, την άνοιξη στην βόρεια Αφρική λαμβάνουν χώρα πολλά κυκλωνικά φαινόμενα όπως ο κυκλώνας Sharav, όπου προκαλούν ανοδικές κινήσεις σωματιδίων σκόνης μέσα στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά από την έρημο Σαχάρα (βόρεια Αφρική) κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις με κυριότερες τις κινήσεις από δυτικά προς τα ανατολικά (Barnaba and Gobbi, 2004). Ωστόσο, η μεταφορά της σκόνης πάνω από τη Μεσόγειο παρουσιάζει μια περιοδικότητα που μας βοηθάει στον κατά προσέγγιση προσδιορισμό της διακύμανσής της μέσα στο χρόνο. Οι υψηλές τιμές του  $OBA_{550}$  την άνοιξη στην ανατολική Μεσόγειο και την Αθήνα ειδικότερα επαληθεύονται από την ύπαρξη καταγεγραμμένων έντονων επεισοδίων σκόνης με προέλευση από την έρημο της Σαχάρας. Η εποχική διακύμανση του  $OBA_{550}$  για όλη την περίοδο των μετρήσεων φαίνεται στο Σχήμα 2 όπου και παρατηρείται καθαρά πως οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται την άνοιξη.



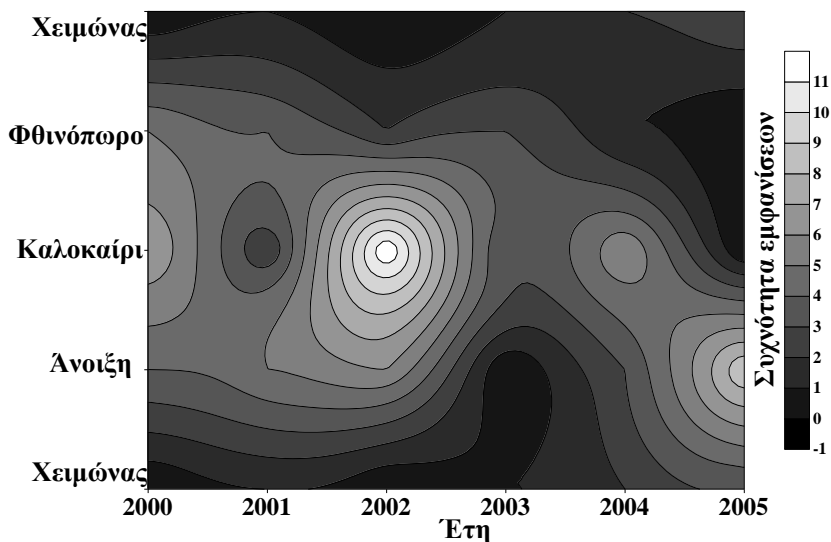
Σχήμα 2. Εποχική διακύμανση του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550nm των χονδρόκοκκων σωματιδίων για την περίοδο 2000-2005.

Η μηνιαία μεταβλητότητα των χονδρόκοκκων σωματιδίων, των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα και των έντονων επεισοδίων σκόνης φαίνεται στο Σχήμα 3. Είναι προφανές ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την άνοιξης το μεγαλύτερο ποσοστό των χονδρόκοκκων σωματιδίων αντιστοιχεί και σε επεισόδια σκόνης, ενώ αντίθετα τους καλοκαιρινούς μήνες συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο. Έχει βρεθεί ότι το καλοκαίρι και συγκεκριμένα τον Αύγουστο, η πλειοψηφία των χονδρόκοκκων σωματιδίων προέρχεται από αέριες μάζες που έρχονται από τα βόρεια και σηκώνουν θαλάσσια σωματίδια κατά το πέρασμά τους από το βόρειο Αιγαίο πέλαγος. Αντιθέτως το χειμώνα σχεδόν όλες οι περιπτώσεις χονδρόκοκκων σωματιδίων χαρακτηρίζουν και καθαρά επεισόδια σκόνης. Την περίοδο την άνοιξης και του καλοκαιριού τώρα και ειδικότερα τον Απρίλιο, τον Μάιο και τον Ιούλιο έχουμε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση έντονων επεισοδίων σκόνης στην ατμόσφαιρα την Αθήνας. Αυτό το φαινόμενο οδηγείται από τις μετεωρολογικές συνθήκες αυτής της περιόδου. Δηλαδή οι γενικές κατευθύνσεις των αερίων μαζών έρχονται από τις νοτιοδυτικές περιοχές, οπότε και από την έρημο Σαχάρα. Οι αρχές του φθινοπώρου μπορούν να χαρακτηριστούν επίσης ως περίοδοι αρκετών αερίων μεταφορών σκόνης. Πρέπει να αναφερθεί τέλος ότι συνήθως η διάρκεια των επεισοδίων σκόνης διαρκεί από μια μέχρι και τέσσερις ημέρες. Η εποχική διακύμανση των επεισοδίων σκόνης για όλη την περίοδο των δεδομένων περιγράφεται στο Σχήμα 4. Τα

μέγιστα που εμφανίζονται το καλοκαίρι του 2003 και την άνοιξη του 2005 αποτελούν έντονα επεισόδια σκόνης, αλλά πάντως η γενική διακύμανση δείχνει ότι τα επεισόδια σκόνης ξεκινούν την άνοιξη, διαρκούν όλο το καλοκαίρι και καταλήγουν το φθινόπωρο.



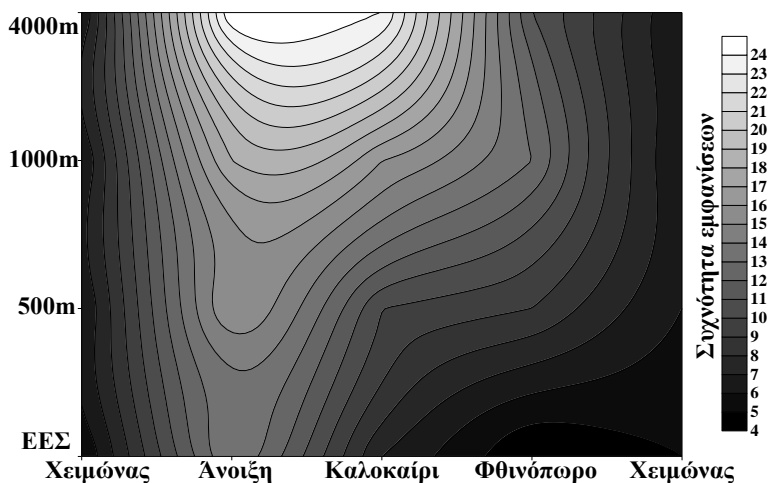
Σχήμα 3. Μηνιαία μεταβολή των εμφανίσεων των χονδρόκοκκων σωματιδίων (άσπρο χρώμα), των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα (γκρι χρώμα) και των έντονων επεισοδίων σκόνης στην ατμόσφαιρα της Αθήνας για την περίοδο 2000-2005. Τα έντονα επεισόδια σκόνης αναφέρονται σε  $OBA550 > 0.6$  και σε  $\Delta A > 1.0$ .



Σχήμα 4. Εποχική διακύμανση της συχνότητας των εμφανίσεων των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα για την περίοδο 2000-2005.

## 3.3 Ανάλυση οπισθοτροχιών

Οι οπισθοτροχιές υπολογίστηκαν για όλες τις περιπτώσεις επεισοδίων σκόνης μέσα στην περίοδο από το 2000 ως το 2005. Για αυτές τις 79 περιπτώσεις αναλύθηκαν οι πορείες των αερίων μαζών στα τρία υψόμετρα που προκαθορίσαμε. Βρέθηκε λοιπόν πως οι δυτικές και οι νοτιοδυτικές περιοχές, όπως είναι η Αλγερία, είναι χαρακτηριστικές για τη μεταφορά αερίων μαζών στην ελεύθερη τροπόσφαιρα (4000 μέτρα) κατά τη διάρκεια των επεισοδίων σκόνης. Από την άλλη μεριά οι αέριες μάζες που καταλήγουν στην Αθήνα και που περιέχουν σκόνη στα χαμηλότερα υψόμετρα, έχουν ανυψωθεί ανατολικότερα στη Λιβύη, και σαν αποτέλεσμα οι νοτιότερες περιοχές κρατούν το μεγαλύτερο ποσοστό σκόνης. Έτσι στην Αθήνα, οι αέριες αυτές μάζες φτάνουν με μικρά ποσοστά σκόνης μέσα τους. Η μεγάλη συχνότητα των επεισοδίων σκόνης κατά τις θερμές περιόδους είναι κυρίως συνδεδεμένη με τη συνοπτική μετεωρολογική κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα, όπου κατά τις θερμότερες περιόδους, οι αέριες μάζες έρχονται από τα νοτιοδυτικά την ίδια στιγμή που και τα επεισόδια σκόνης είναι συχνότερα. Στο Σχήμα 5 παριστάνεται η εποχική κατανομή της συχνότητας των εμφανίσεων των επεισοδίων σκόνης με βάση το ύψος των οπισθοτροχιών των εκάστοτε αερίων μαζών. Τα ύψη αυτά καλύπτουν τόσο το στρώμα εμφάνισης σκόνης πάνω από την Αθήνα (4000 m), όσο και τα εγγύτερα στρώματα προς στην επιφάνεια. Δείχνουμε επιπλέον και τις περιπτώσεις που η ύπαρξη σκόνης υψίσταται στα τρία υψόμετρα, δηλαδή έχουμε περιπτώσεις έντονων επεισοδίων σκόνης. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι καθώς οι αέριες μάζες πλησιάζουν στα 4000 μέτρα, που όπως έχουμε αναφέρει είναι το στρώμα εμφάνισης επεισοδίων σκόνης, η συχνότητά τους είναι πολύ μεγαλύτερη. Μια ακόμα πληροφορία που λαμβάνουμε από το ίδιο Σχήμα είναι ότι σε γενικές γραμμές τα επεισόδια σκόνης επικεντρώνονται την άνοιξη και εξαπλώνονται το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Τέλος, στις περιπτώσεις που και στα τρία υψόμετρα έχουμε σκόνη, το μέγιστο των εμφανίσεων βρίσκεται πάλι την άνοιξη κάτι που επαληθεύει αλλά και μαρτυρεί την εποχή με τις ιδανικότερες συνθήκες για τη μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρα στην Αθήνα.



Σχήμα 5. Εποχική κατανομή της συχνότητας των εμφανίσεων των επεισοδίων σκόνης με βάση το ύψος των οπισθοτροχιών των εκάστοτε αερίων μαζών. Τα ύψη αυτά καλύπτουν τόσο το στρώμα εμφάνισης σκόνης πάνω από την Αθήνα, όσο και τα εγγύτερα στρώματα προς στην επιφάνεια. Με την έννοια 'ΕΕΣ' συμβολίζουμε την ύπαρξη σκόνης και στα τρία υψόμετρα, δηλαδή έχουμε περιπτώσεις έντονων επεισοδίων σκόνης.

#### 4. Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας δεδομένα δορυφορικής προέλευσης αλλά και με τη βοήθεια του μοντέλου HYSPLIT μπορέσαμε και μελετήσαμε με αρκετή ακρίβεια τους μηχανισμούς, τις χρονικές διακυμάνσεις και τις κλιματολογικές παραμέτρους των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα. Εκμεταλλευόμενοι τις παραμέτρους του οπτικού βάθους αερολυμάτων στα 550 nm και το ποσοστό των μικρών σωματιδίων φτάσαμε στο διαχωρισμό των χονδρόκοκκων σωματιδίων για την περίοδο 2000-2005. Από τις περιπτώσεις αυτές, και με την παρατήρηση των οπισθοτροχιών καταλήξαμε στα επεισόδια σκόνης που η προέλευσή τους είναι από την έρημο Σαχάρα. Τα επεισόδια αυτά λαμβάνουν χώρα κυρίως την άνοιξη σε όλη την ανατολική Μεσόγειο και επεκτείνονται το καλοκαίρι αλλά και το φθινόπωρο. Το κύριο ύψος εμφάνισης της σκόνης στην ατμόσφαιρα της Αθήνας είναι τα 4000 μέτρα. Οι περιπτώσεις όπου η σκόνη εμφανίζεται σε όλα τα υψόμετρα αποτελούν τα έντονα επεισόδια σκόνης που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές OBA<sub>550</sub> και ΔΑ (δείκτη αερολυμάτων). Τόσο τα χονδρόκοκκα σωματίδια, όσο τα επεισόδια σκόνης αλλά και τα έντονα επεισόδια σκόνης μελετήθηκαν για την ετήσια, την εποχική αλλά και τη μηνιαία μεταβλητότητά τους. Έτσι, τους καλοκαιρινούς μήνες επικρατούν τα χονδρόκοκκα σωματίδια, την άνοιξη και ιδιαίτερα τον Απρίλιο και Μάιο έχουμε την πλειοψηφία των έντονων επεισοδίων σκόνης και στην περίοδο από άνοιξη μέχρι και φθινόπωρο εμφανίζονται τα επεισόδια σκόνης από τη Σαχάρα.

#### Βιβλιογραφία

- Ahmad S.P., P.F. Levelt, P.K. Bhartia, E. Hilsenrath, G.W. Leppelmeier and J.E. Johnson, 2003: *Atmospheric Products* from the Ozone Monitoring Instrument (OMI). Proceedings of SPIE conference on Earth Observing Systems VIII, Volume 5151, pp 619630. ([http://acdisc.gsfc.nasa.gov/ozone/docs/omispie\\_2003.doc](http://acdisc.gsfc.nasa.gov/ozone/docs/omispie_2003.doc))
- Alpert P., Y. Kaufman, Y. Shay-El, D. Tanrè, A. da Silva, S. Schubert and J. Joseph, 1998: Quantification of dust-forced heating of the lower troposphere. *Nature*, 395, 367-370
- Balis D.S., V. Amiridis, S. Nickovic, A. Papayannis and C.S. Zerefos, 2004: Optical properties of Saharan dust layers as detected by a Raman lidar at Thessaloniki, Greece. *Geophysical Research Letters*, 31 L13104, doi: 10.1029/2004GL019881.
- Barnaba F. and G.P. Gobbi, 2004: Aerosol seasonal variability over the Mediterranean region and relative impact of maritime, continental and Saharan dust particles over the basin from MODIS data in the year 200. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 2367-2391.
- Draxler R.R. and G.D. Rolph, 2003: HYSPLIT (Hybrid single-particle Lagrangian Integrated Trajectory) model, <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, NOAA Air Resources Laboratory, Silver, Spring, MD.
- Dubovik O., B.N. Holben, T.F. Eck, A. Smirnov, Y.J. Kaufman, M.D. King, D. Tanrè and I. Slutsker, 2002: Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *Journal of Atmospheric Sciences*, 59, 590-608.
- Kambezidis H.D., R. Tulleken, G.T. Amanatidis, A.G. Paliatsos and D.N. Asimakopoulos, 1995: Statistical evaluation of selected air pollutants in Athens, Greece. *Environmetrics*, 6, 349-361.
- Kaskaoutis D.G., H.D. Kambezidis, N. Hatzianastassiou, P. Kosmopoulos and Badarinath K.V.S., 2007: Aerosol climatology: On the discrimination of the aerosol types over four AERONET sites. *Atmospheric Chemistry and Physics, Discuss.* (submitted).
- Masmoudi M., M. Chaabane, D. Tanré, P. Gouloup, L. Blarel and F. Elleuch, 2003: Spatial and temporal variability of aerosol: size distribution and optical properties. *Atmospheric Research*, 66, 1-19.

Moulin C., C.E., Lambert, U. Dayan, et al., 1998: Satellite climatology of African dust transport in Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 103, 13137-13144.

Pandis S., A. Wexler and J. Seinfeld, 1995: Dynamics of tropospheric aerosol. *Journal of Physics and Chemistry*, 99, 9646-9659.

Papayannis A., D. Balis, V. Amiridis, G. Chourdakis, G. Tsaknakis, C.S. Zerefos, A.D.A. Castanho, S. Nickovic, S. Kazadzis and J. Grabowski, 2005: Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 2065-2079.

Quijano A., I.N. Sokolik and O.B. Toon, 2000: Radiative heating rates and direct radiative forcing by mineral dust in cloudy atmospheric conditions. *Journal of Geophysical Research*, 105, 12207-12219.

Remer L.A. and Y.J. Kaufman, 1998: Dynamic aerosol model: urban/industrial aerosol. *Journal of Geophysical Research*, 103, 13859-13871.

Smirnov A., B.N. Holben, Y.J. Kaufman, O. Dubovic, T.F. Eck, I. Slutsker, C. Pietras and R.N. Halthore, 2002: Optical properties of atmospheric aerosol in Maritime Environments. *Journal of Atmospheric Sciences*, 59, 501-523.

Sokolik I.N. and O.B. Toon, 1999: Incorporation of mineralogical composition into models of the radiative properties of mineral aerosol from UV to IR wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, 104, 9423-9444.

## ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΥΠΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Κωστοπούλου Ε.<sup>1</sup>, Τολικά Κ.<sup>2</sup>, Αναγνωστοπούλου Χ.<sup>2</sup>, Μαχαίρας Π.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης  
<sup>2</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας

### Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να ερευνήσει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στους τύπους κυκλοφορίας που χαρακτηρίζουν την Ελληνική περιοχή σε σχέση με τις ακραίες βροχοπτώσεις. Για τη πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχοπτώσης, για έναν ορισμένο αριθμό σταθμών της Ελληνικής περιοχής, κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1958-2000. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ημερήσιο ημερολόγιο τύπων κυκλοφορίας της Ελληνικής περιοχής βασισμένο στην επιφάνεια των 500hPa. Ειδικότερα, κάθε τύπος κυκλοφορίας, αντικυκλωνικός ή κυκλωνικός, χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη συνοπτική κατάσταση που καθορίζει η ροή των ανέμων πάνω από την Ελληνική περιοχή. Οι ακραίες βροχοπτώσεις μελετήθηκαν με τη χρήση δεικτών. Υπάρχει ένα πλήθος δεικτών στη διεθνή βιβλιογραφία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των ακραίων καταστάσεων. Η επιλογή των δεικτών στη παρούσα εργασία βασίστηκε στην ικανότητα τους να περιγράφουν καλύτερα τις ακραίες καταστάσεις στην Ελληνική περιοχή. Επιλέχθηκαν οι ποσοστιαίοι δείκτες της βροχοπτώσης και δείκτες που εκφράζουν την ιδιαίτερη κλιματική κατάσταση της Ελληνικής περιοχής. Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης υπολογίστηκαν οι τάσεις των δεικτών σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0.05$ . Από τα πρώτα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι οι δείκτες της βροχοπτώσης εμφανίζουν τάση, η σημαντικότητα της οποίας διαφέρει ανάλογα με τη περιοχή και την εποχή. Στο δεύτερο και τελικό στάδιο της εργασίας εντοπίζεται η σχέση που εμφανίζουν συγκεκριμένοι τύποι κυκλοφορίας (αντικυκλωνικοί ή κυκλωνικοί) με τους δείκτες της ακραίας βροχοπτώσης.

## EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN GREECE AND THEIR RELATIONS WITH CIRCULATION TYPES

Kostopoulou E.<sup>1</sup>, Tolika K.<sup>2</sup>, Anagnostopoulou C.<sup>2</sup>, Maheras P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Observatory of Athens,

Institute for Environmental Research and Sustainable Development

<sup>2</sup>Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, Division of Meteorology-Climatology

### Abstract

Aim of this work is to study the relationships between circulation patterns and extreme precipitation events in Greece. Daily precipitation data during the period 1958-2000 were used from a number of Greek stations, as well as daily calendars of the circulation types at the 500hPa, which affect the Greek region. In particular, each type (anticyclonic or cyclonic) corresponds to a specific synoptic pattern with typical directions of the prevailing airflow. The extreme events were analysed by calculating indices of extreme precipitation. Several indices are used for the analysis of extreme climatic events. The indices used here were chosen so as to describe better extreme events in the area of Greece. Percentile-based indices of precipitation extremes were chosen adequate to outline the climate conditions of Greece. In the first stage of the analysis the trends of the indices were calculated at the significance level of 0.05. Primarily results revealed trends in the precipitation indices, which



vary by region and season. In the final stage of the study, the relationships between certain circulation types with indices of extreme precipitation are discussed.

**Λέξεις κλειδιά:** ακραία φαινόμενα, βροχόπτωση, τύποι κυκλοφορίας.

**Key words:** extreme events, precipitation, circulation types.

## 1. Εισαγωγή

Η αλλαγή του κλίματος και οι ακραίες καιρικές συνθήκες που παρατηρούνται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια έχουν προβληματίσει τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Διάφορα ερευνητικά προγράμματα επικεντρώθηκαν στην ανάλυση τέτοιων φαινομένων φιλοδοξώντας να συνεισφέρουν στην κατανόηση των αιτιών που τα προκαλούν και να προτείνουν λύσεις για την αντιμετώπιση των καταστροφικών συνεπειών τους. Βροχοπτώσεις που συνδέονται με μεγάλα ύψη βροχής συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πιο μελετούμενα ακραία φαινόμενα διότι έχουν επιπτώσεις σε σημαντικούς κοινωνικό-οικονομικούς τομείς. Στην περιοχή της Μεσογείου έχει παρατηρηθεί μια γενική τάση ελάττωσης των βροχοπτώσεων (IPCC, 2001) όπως και της συχνότητας των 'βροχοφόρων' τύπων κυκλοφορίας (Maheras *et al.*, 1999; Kostopoulou and Jones, 2007). Ωστόσο, οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι πολυπλοκότερες κυρίως όσον αφορά σε φαινόμενα ακραίας βροχόπτωσης. Μια πρόσφατη μελέτη (Kostopoulou and Jones, 2005) υποδεικνύει ότι κατά την περίοδο 1958-2000 παρατηρήθηκε αύξηση των βροχοπτώσεων στην κεντρική Μεσόγειο, τόσο σε επίπεδο ετήσιου ύψους, όσο και σε αριθμό και ένταση επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. Αντίθετα, η ανατολική Μεσόγειος εμφανίζει τάση ξήρανσης με αυξανόμενες περιόδους συνεχών ξηρών ημερών. Η παρούσα εργασία στοχεύει στη μελέτη των φαινομένων ακραίας βροχόπτωσης σε πέντε σταθμούς της Ελληνικής περιοχής. Οι σταθμοί επιλέχθηκαν σε χαμηλό υψόμετρο (παράκτιοι ή νησιωτικοί) ώστε να μελετηθούν βροχοπτώσεις που οφείλονται κυρίως στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και όχι στην αλληλεπίδραση με τοπικούς παράγοντες (ορογραφία). Αρχικά γίνεται στατιστική ανάλυση των ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ στη συνέχεια μελετούνται οι συνοπτικές καταστάσεις που συνδέονται με ακραία φαινόμενα.

## 2. Δεδομένα

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα υψών βροχής που προέρχονται από πέντε μετεωρολογικούς σταθμούς (Αλεξανδρούπολη, Μυτιλήνη, Σκύρος, Σάμος και Ηράκλειο), οι οποίοι δέχονται την επίδραση του Αιγαίου Πελάγους. Η περίοδος μελέτης καλύπτει τα έτη από το 1958 ως το 2000. Λόγω του γεγονότος ότι στον ελλαδικό χώρο τα ύψη βροχής κατά τη θερμή θερινή περίοδο είναι χαμηλά ως και αμελητέα, η μελέτη επικεντρώθηκε στην ψυχρή – υγρή περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Οι χρονοσειρές που επιλέχθηκαν δεν περιλαμβάνουν ελλείπουσες τιμές και σύμφωνα με το τεστ ομοιογένειας Alexandersson (Alexandersson, 1986) έχουν κριθεί ως ομοιογενείς.

Οι τύποι κυκλοφορίας που αναλύθηκαν προέρχονται από μια νέα αυτόματη κατάταξη, βασισμένη στην προηγούμενη κατάταξη των Maheras and Anagnostopoulou (2003) και η οποία περιγράφεται αναλυτικά από τους Anagnostopoulou *et al.*, 2007. Στην νέα αυτή κατάταξη, ο αριθμός των τύπων κυκλοφορίας έχει μειωθεί στους 12. Η κυριότερη όμως βελτίωσή της, έγκειται στο ότι παρουσιάζει την ευελιξία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη τη Μεσόγειο και όχι μόνο στην Ελληνική περιοχή. Για τη δημιουργία του ημερήσιου ημερολογίου των τύπων κυκλοφορίας για τη στάθμη των 500hPa χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα Re-analysis NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996), για ένα χωρικό παράθυρο που καλύπτει ολόκληρο τον ευρωπαϊκό χώρο και με ανάλυση  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ . Για κάθε σταθμό έγινε ξεχωριστή κατάταξη, το κέντρο της οποίας αλλάζει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του σταθμού, στο σημείο πλέγματος που είναι πλησιέστερα σε αυτόν. Έτσι, στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν τα ακόλουθα κέντρα:

- α) Για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης (κέντρο: 25° Ανατολικά και 40° Βόρεια)
- β) για το σταθμό της Μυτιλήνης (κέντρο: 25° Ανατολικά και 40° Βόρεια)
- γ) για το σταθμό της Σκύρου (κέντρο: 25° Ανατολικά και 37.5° Βόρεια)
- δ) για το σταθμό της Σάμου (κέντρο: 25° Ανατολικά και 30° Βόρεια)
- ε) και για το σταθμό του Ηρακλείου (κέντρο: 27.5° Ανατολικά και 37.5° Βόρεια)

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι για τη μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε ο ακραίος δείκτης του 95<sup>ου</sup> ποσοστημορίου. Ένας τέτοιος ποσοστιαίος δείκτης προτιμάται σε σχέση με κάποιο δείκτη καθορισμένου κατώφλιου, διότι είναι συγκρίσιμος για περιοχές που παρουσιάζουν διαφορετικά κλιματικά και βροχομετρικά τοπικά χαρακτηριστικά.

### 3. Στατιστική ανάλυση των ακραίων φαινομένων βροχής

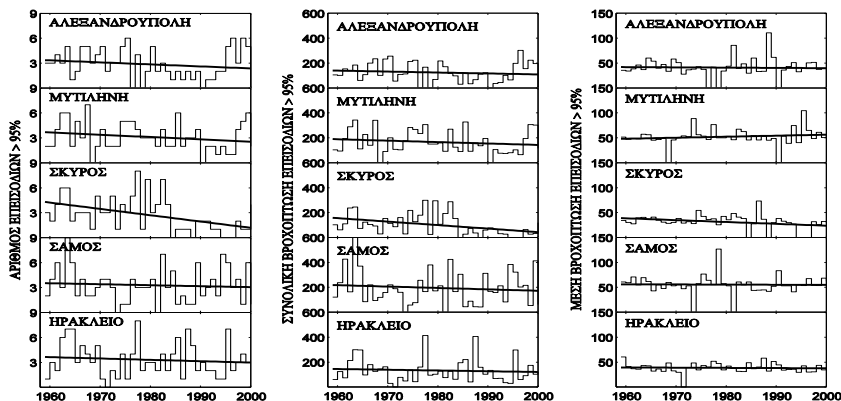
Η στατιστική ανάλυση ακραίων τιμών προτείνει τη χρήση ανωτέρων/κατωτέρων ορίων για τον καθορισμό των ακραίων τιμών. Τα όρια αυτά που είναι γνωστά ως κατώφλια, είναι απόλυτες τιμές ή ποσοστημόρια (percentiles). Ως ποσοστημόριο  $p$  ορίζεται η τιμή των διατεταγμένων τιμών μιας κατανομής, όπου τουλάχιστον το  $100p$  % των δεδομένων είναι κάτω και το  $100(1-p)$  % είναι πάνω από αυτήν την τιμή. Στην περίπτωση μελετών ακραίων βροχοπτώσεων υπολογίζεται το 90ο, το 95ο ή το 99ο ποσοστημόριο με βάση την κατανομή των τιμών υετού που καταγράφησαν στην περίοδο μελέτης. Τιμές που ξεπερνούν το κατώφλι του καθορισμένου ποσοστημορίου χαρακτηρίζονται ως ακραία φαινόμενα και επιλέγονται για περαιτέρω ανάλυση. Στην παρούσα εργασία ως κατώφλι ορίστηκε το 95ο ποσοστημόριο.

Η πρώτη στήλη του Πίνακα 1, παρουσιάζει το 95<sup>ο</sup> ποσοστημόριο της βροχόπτωσης όπως υπολογίστηκε από τα ημερήσια δεδομένα βροχής των πέντε σταθμών μελέτης. Τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου Σάμος και Μυτιλήνη παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ύψη με 41.2 και 36.9 χιλιοστά βροχής αντίστοιχα. Ακολουθούν η Αλεξανδρούπολη, το Ηράκλειο και η Σκύρος με παραπλήσια ποσά (27.4, 25.4, 23.8 αντίστοιχα). Στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι ημέρες όπου σημειώθηκαν βροχοπτώσεις με ποσά μεγαλύτερα του 95<sup>ου</sup> ποσοστημορίου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και πάλι η Σάμος που αν και έχει το μεγαλύτερο κατώφλι (41.2 mm) εμφανίζει και μεγάλο αριθμό ημερών με ακραίες βροχοπτώσεις (138 ημέρες). Με μία περισσότερη ημέρα (139) το Ηράκλειο είναι ο σταθμός με τις περισσότερες ημέρες 'ακραίου' υετού. Ακολουθεί η Μυτιλήνη με 131 ημέρες υποδεικνύοντας ότι σταθμοί με υψηλά κατώφλια παρουσιάζουν επίσης τις περισσότερες ημέρες με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων. Με αναφορά τα απόλυτα μέγιστα ποσά βροχής κατά τη μελετούμενη περίοδο, υπερέχει ο σταθμός του Ηρακλείου όπου σε διάστημα μιας ημέρας σημειώθηκαν 222.2 mm βροχής και ακολουθεί η Αλεξανδρούπολη με 140.2 mm. Η τελευταία στήλη του Πίνακα 1, δίνει τους λόγους ανάμεσα στην απόλυτη μέγιστη βροχόπτωση προς το 95<sup>ο</sup> ποσοστημόριο. Οι λόγοι αυτοί έχουν ιδιαίτερη αξία αφού αποτελούν δείκτες της ραγδαιότητας της ημερήσιας βροχής που έχει παρατηρηθεί στις περιοχές μελέτης. Εξαιρετικά ακραία περίπτωση χαρακτηρίζεται το επεισόδιο των 222.2 mm του Ηρακλείου, το οποίο είναι σχεδόν 9-φορές μεγαλύτερο από το 95<sup>ο</sup> ποσοστημόριο του σταθμού. Από τους μελετούμενους σταθμούς η Σκύρος είναι εκείνος με τα χαμηλότερα ποσά βροχής αλλά και τις λιγότερες ημέρες ακραίων βροχοπτώσεων.

Πίνακας 1. Στατιστικά χαρακτηριστικά των ακραίων βροχοπτώσεων στους πέντε μελετούμενους μετεωρολογικούς σταθμούς για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου των ετών 1958-2000.

	95% (mm)	Αριθμός ημερών με βροχ.>95%	Απόλυτη μέγιστη βροχ.(Α.Π.Μ.)	A.M.B./95%
Αλεξανδρούπολη	27.4	120	140.2	5.1
Μυτιλήνη	36.9	131	127.9	3.5
Σκύρος	23.8	115	90.0	3.8
Σάμος	41.2	138	165.6	4.0
Ηράκλειο	25.4	139	222.2	8.8

Η διαχρονική εξέλιξη (κατ'έτος) των ακραίων βροχοπτώσεων στους πέντε Ελληνικούς σταθμούς εξετάστηκε με ανάλυση των τάσεων τους. Υπολογίστηκαν οι τάσεις για τον αριθμό των ημερών με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων (Σχήμα 1α), για το συνολικό ποσό βροχής (Σχήμα 1β) και για το μέσο ποσό βροχής (Σχήμα 1γ) των επεισοδίων που ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων υπολογίστηκε με το Kendall tau-test στη στάθμη σημαντικότητας  $\alpha=0.05$ . Εξετάζοντας ξεχωριστά κάθε σταθμό βλέπουμε ότι η Αλεξανδρούπολη παρουσιάζει πτωτικές τάσεις τόσο στον αριθμό των ημερών ακραίων βροχοπτώσεων όσο και στο συνολικό ποσό βροχής που σημειώνεται σε τέτοια επεισόδια. Ωστόσο οι τάσεις δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές. Αμετάβλητη παραμένει η μέση βροχόπτωση των ακραίων επεισοδίων βροχής, όπου απουσιάζει οποιαδήποτε τάση. Πτωτικές τάσεις παρουσιάζονται στις ημέρες με ακραία βροχόπτωση, αλλά και στα ποσά ολικής βροχόπτωσης στους υπόλοιπους τέσσερις Ελληνικούς σταθμούς. Εντονότερες τάσεις βρέθηκαν στη Σκύρο, που είναι στατιστικά σημαντικές στη στάθμη του 0.05. Παρουσιάζεται ελάττωση στον αριθμό των περιπτώσεων κατά 3 ημέρες στο σύνολο των μελετούμενων ετών και στο συνολικό ποσό βροχής ακραίων επεισοδίων κατά 2.8 mm ανά έτος. Οι τάσεις στα ποσά μέσης βροχής (Σχήμα 1γ) που σημειώνονται σε επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης διαφοροποιούνται στους πέντε μελετούμενους σταθμούς. Όπως στην Αλεξανδρούπολη έτσι και στη Σάμο και στο Ηράκλειο δεν παρατηρείται καμία τάση. Η Μυτιλήνη τείνει να αυξήσει τη μέση βροχόπτωση σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95% (αν και τα επεισόδια ελαττώνονται αυξάνει το ποσό βροχής ανά επεισόδιο), ενώ σε αντίθεση η Σκύρος την ελάττωνει. Ωστόσο μόνο η περίπτωση της Σκύρου βρέθηκε στατιστικά σημαντική. Από το σύνολο των γραφημάτων του Σχήματος 1 αξίζει να αναφερθεί η αύξηση του αριθμού ημερών και του ολικού ποσού βροχής σε επεισόδια, που ξεπερνούν το 95%, κατά τα τελευταία χρόνια της μελετούμενης περιόδου. Προκύπτει ότι στο τέλος της δεκαετίας του 1990, τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης έκαναν συχνότερη την εμφάνιση τους, ιδιαίτερα στους σταθμούς της Αλεξανδρούπολης και της Μυτιλήνης.

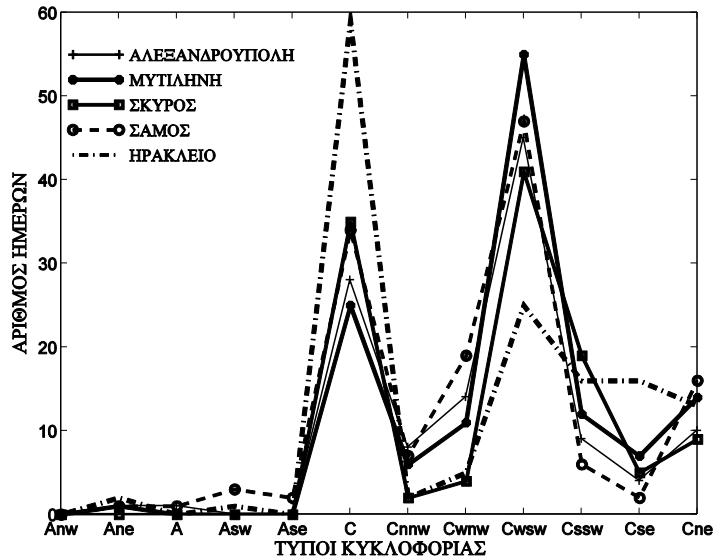


Σχήμα 1. Χρονοσειρές και τάσεις του αριθμού ημερών με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων (α), της συνολικής (β) και της μέσης βροχόπτωσης (γ) σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95%.

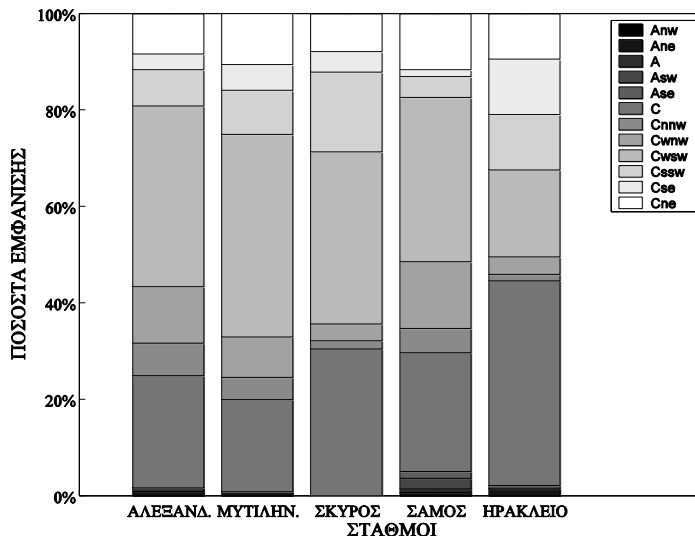
#### 4. Δυναμική ανάλυση των ακραίων φαινομένων βροχής σε σχέση με τους επικρατούντες τύπους κυκλοφορίας.

Οι Eshel and Farrell (2000) έδειξαν ότι στην περιοχή της Μεσογείου οι έντονες βροχοπτώσεις συνδέονται με τύπους κυκλοφορίας νοτιοδυτικής συνιστώσας. Στην παρούσα εργασία οι ημέρες με υψηλά ποσά βροχής επιλέχθηκαν και για κάθε ημέρα προσδιορίστηκε η επικρατούσα συνοπτική κατάσταση βάσει της ταξινόμησης τύπων κυκλοφορίας των Maheras and Anagnostopoulou (2003). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 2 όπου οι τύποι κυκλοφορίας C και C<sub>sw</sub> παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε όλους τους

σταθμούς. Στη συνέχεια τα ποσοστά εμφάνισης των τύπων υπολογίστηκαν και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 3. Το σχήμα αυτό επίσης παρουσιάζει την μεγάλη συχνότητα εμφάνισης των τύπων C και C<sub>sw</sub> κατά τις ημέρες όπου οι βροχοπτώσεις ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Ο C<sub>sw</sub> είναι ο πιο συχνός τύπος κυκλοφορίας σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση το Ηράκλειο όπου σχεδόν οι μισές ακραίες βροχοπτώσεις (42.4%) οφείλονται στην εμφάνιση του τύπου C.

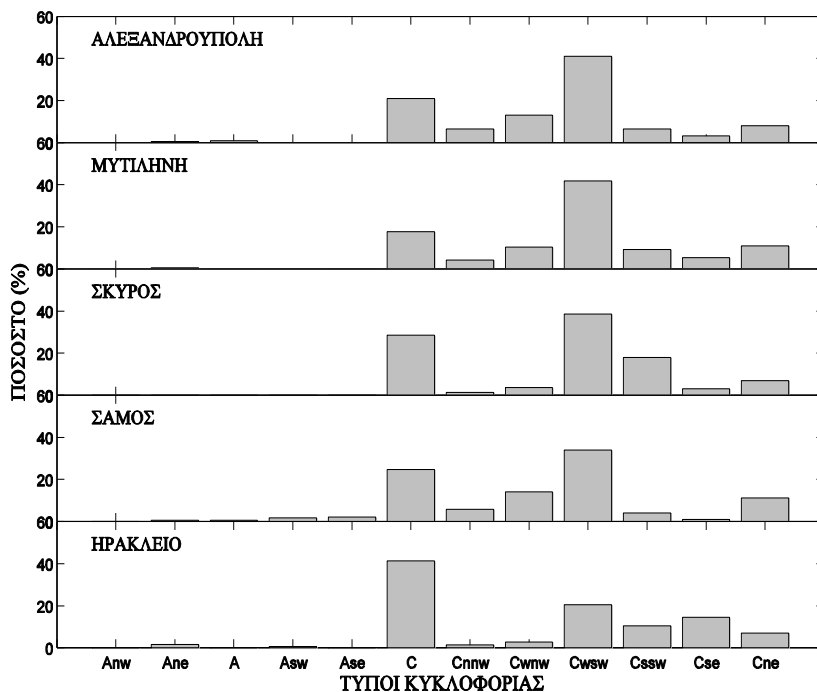


Σχήμα 2. Οι περιπτώσεις εμφάνισης των τύπων κυκλοφορίας στους σταθμούς μελέτης τις ημέρες με ακραία βροχόπτωση.



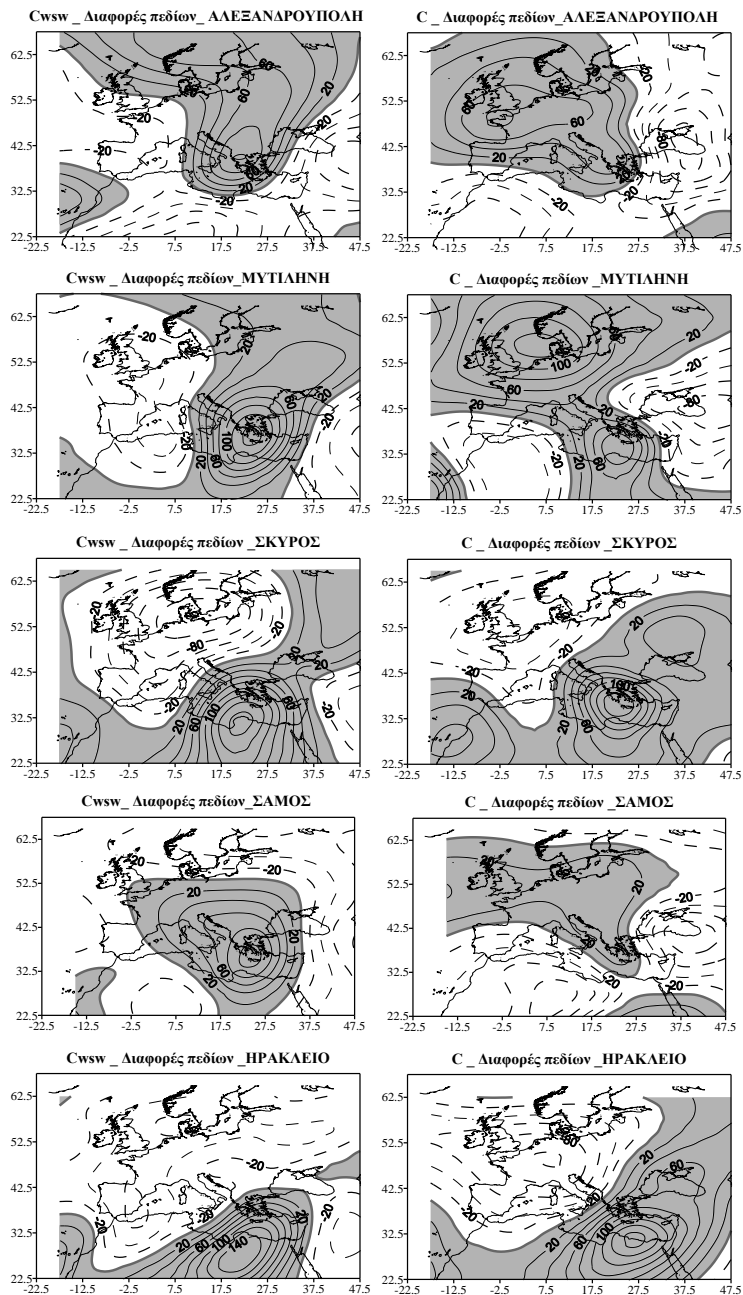
Σχήμα 3. Ποσοστά εμφάνισης του κάθε τύπου κυκλοφορίας σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95%.

Επίσης υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής κάθε τύπου στο συνολικό ύψος βροχής που σημειώθηκε από επεισόδια βροχοπτώσης που ξεπερνούν το 95%, κατά τα 43 χρόνια της περιόδου μελέτης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4, όπου γίνεται φανερό πως οι περισσότερες ακραίες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά την επικράτηση κυκλωνικών συνοπτικών καταστάσεων και οι ισχυρότερες αυτών με υφειακά συστήματα των τύπων C και C<sub>sw</sub>. Είναι οι ίδιοι τύποι οι οποίοι επίσης είναι υπεύθυνοι για το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής βροχοπτώσης για όλους τους σταθμούς στην Ελληνική περιοχή (Maheras *et al.*, 2004). Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4, σε ορισμένους σταθμούς έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις ακραίων βροχοπτώσεων κατά την επικράτηση αντικυκλωνικών τύπων. Αναφέρεται η περίπτωση της Σάμου όπου μεμονωμένα επεισόδια με ακραίες βροχοπτώσεις παρατηρήθηκαν σχεδόν με όλους τους αντικυκλωνικούς τύπους. Ωστόσο, αυτές οι περιπτώσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως τυχαία γεγονότα.



Σχήμα 4. Ποσοστά συμμετοχής κάθε τύπου στο σύνολο της βροχοπτώσης που σημειώθηκε από ακραίες καταστάσεις κατά την περίοδο μελέτης 1958-2000.

Με σκοπό τη διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν τις ακραίες βροχοπτώσεις μελετήθηκαν οι συνοπτικές καταστάσεις με τη χρήση της στάθμης των 500hPa. Όπως προαναφέρθηκε δύο είναι οι τύποι κυκλοφορίας που συνδέονται περισσότερο με επεισόδια ακραίας βροχοπτώσης: C<sub>sw</sub> και C. Για τους τύπους αυτούς υπολογίστηκαν τα μέσα γενικά πεδία τους για όλη την περίοδο μελέτης, καθώς και τα πεδία που προκύπτουν μόνο από τις ημέρες εκείνες όπου οι τύποι εμφάνισαν ακραίες βροχοπτώσεις. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι διαφορές ανάμεσα στη μέση και την 'ακραία' κατάσταση των τύπων, ώστε να εντοπιστεί ο βαθμός και ο τρόπος που διαφοροποιούνται οι τύποι αυτοί κατά τις ημέρες όπου καταγράφηκαν επεισόδια ακραίας βροχοπτώσης. Η χωρική απεικόνιση των διαφορών αυτών φαίνεται στο Σχήμα 5. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές έχουν πολλαπλασιαστεί επί 100 για να διευκολυνθεί η μελέτη των χαρτών. Οι σκιασμένες περιοχές των χαρτών παρουσιάζουν τις θετικές διαφορές, ενώ οι αρνητικές απεικονίζονται με διακεκομμένες γραμμές.



Σχήμα 5. Διαφορές ανάμεσα στο μέσο γενικό πεδίο και το πεδίο των περιπτώσεων (μέσο γενικό πεδίο – μέσο πεδίο περιπτώσεων) που συνδέονται με ακραίες βροχοπτώσεις των τύπων κυκλοφορίας Csws (αριστερή στήλη) και C (δεξιά στήλη) για τους πέντε μελετούμενους σταθμούς.

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 5, πάνω από τον ελλαδικό χώρο κυριαρχούν θετικές διαφορές σε όλους τους χάρτες. Οι τύποι που εξετάζονται είναι υφειακοί και συνεπώς οι ανωμαλίες τους έχουν αρνητικές τιμές. Κατά συνέπεια οι θετικές διαφορές υποδηλώνουν μεγαλύτερες απόλυτες ανωμαλίες στις συνοπτικές καταστάσεις των περιπτώσεων ακραίας βροχόπτωσης, που σημαίνει ότι κατά τις ημέρες αυτές τα κυκλωνικά κέντρα των μελετούμενων τύπων είναι βαθύτερα σε σχέση με τη μέση κατάσταση τους. Συγκρίνοντας τους δύο τύπους, μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στον C<sub>sw</sub> τύπο. Ενδιαφέρουσα είναι η διάταξη των θετικών διαφορών στους χάρτες του Σχήματος 5. Για τον τύπο C<sub>sw</sub> τα θετικά κέντρα των ανωμαλιών για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολη, Μυτιλήνη και Σάμο συμπίπτουν σχεδόν με τη θέση των σταθμών, ενώ στην Σκύρο και στο Ηράκλειο τα θετικά κέντρα βρίσκονται νοτιότερα της θέσης των σταθμών. Για τον τύπο C, για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολη και Σάμο, τα κέντρα των ασθενών θετικών ανωμαλιών βρίσκονται βορειότερα του Ελληνικού χώρου, ενώ για τη Μυτιλήνη, τη Σκύρο και το Ηράκλειο βρίσκονται ελάχιστα νοτιότερα της θέσης των σταθμών.

## 5. Συζήτηση - συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα στατιστικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των ακραίων βροχοπτώσεων που έχουν σημειωθεί σε πέντε Ελληνικούς σταθμούς χαμηλού υψομέτρου (νησιωτικούς και παράκτιους) κατά την περίοδο 1958-2000. Οι ημέρες με επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης εντοπίστηκαν βάσει του 95ου ποσοστημορίου του ύψους βροχής που έχει παρατηρηθεί σε κάθε σταθμό, κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου (Οκτωβρίου – Απριλίου) στο σύνολο των εξεταζόμενων 43 ετών. Η Μυτιλήνη και η Σάμος παρουσίασαν τόσο τα μεγαλύτερα ύψη βροχής όσο και τις περισσότερες ημέρες ακραίων επεισοδίων. Αντίθετα το απόλυτο μέγιστο ύψους βροχής σημειώθηκε στο Ηράκλειο. Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι τάσεις των περιπτώσεων ακραίων βροχοπτώσεων, όπως και των συνολικών και μέσων ποσών βροχής σε επεισόδια βροχοπτώσεων που ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Η συνολική εικόνα των τάσεων έδειξε πτωτική πορεία των ακραίων επεισοδίων αλλά και του ύψους βροχής που τα συνοδεύουν. Οι μεγαλύτερες τάσεις εντοπίστηκαν στη Σκύρο όπου και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές στη στάθμη σημαντικότητας 0.05. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην σημαντική ελάττωση της συχνότητας εμφάνισης των κυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας σε συνδυασμό με τη μηδενική συμμετοχή των αντικυκλωνικών συστημάτων στα φαινόμενα εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων στο σταθμό αυτό. Εξάλλου, ο σταθμός της Σκύρου παρουσιάζει σημαντική ελάττωση των συνολικών βροχοπτώσεων κατά την ίδια περίοδο μελέτης (Maheras et al., 2004).

Τα περισσότερα φαινόμενα ακραίας βροχόπτωσης προέκυψε ότι σημειώνονται κατά την επικράτηση δύο συγκεκριμένων υφειακών τύπων (C<sub>sw</sub>, C). Είναι οι τύποι των οποίων το κέντρο των ανωμαλιών βρίσκεται πλησιέστερα της θέσης των σταθμών. Αναλύοντας τα πεδία τους προέκυψε ότι για τις ημέρες με ύψη βροχής που ξεπερνούν το 95ο ποσοστημόριο, οι τύποι C<sub>sw</sub> και C εμφανίζονται με μεγαλύτερο βάθος. Από τη θέση των θετικών ανωμαλιών και για τους δύο τύπους προκύπτει ότι για το Ηράκλειο οι έντονες βροχοπτώσεις θα πρέπει να οφείλονται στο συνδυασμό δύο συστημάτων, ενός αντικυκλώνα στα βόρεια και ενός χαμηλού στα νότια (Maheras et al., 2000), όπου ο ρόλος της ορογραφίας συμβάλλει σημαντικά στην εμφάνιση του φαινομένου. Για τους υπόλοιπους σταθμούς κατά την επικράτηση του τύπου C<sub>sw</sub> πολύ σημαντική επίδραση φαίνεται να έχει η ένταση του συστήματος (έντονες θετικές ανωμαλίες). Το ίδιο ισχύει και κατά την επικράτηση του τύπου C για τους σταθμούς της Σκύρου και της Μυτιλήνης. Τέλος, για τους υπόλοιπους σταθμούς (Αλεξανδρούπολη και Σάμος) κατά την επικράτηση του ίδιου τύπου τον σημαντικότερο ρόλο φαίνεται ότι παίζει η μετωπική δραστηριότητα (ασθενείς θετικές ανωμαλίες).

## Βιβλιογραφία

Alexandersson H., 1986: A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661-675.

Anagnostopoulou Chr., K. Tolika, P. Maheras, H. Kutiel, HA Flocas, 2007: Performance of the general circulation HadAM3P model in simulating circulation types over the Mediterranean region. Accepted for publication on the International Journal of Climatology.

Eshel G., B.F. Farrell, 2000: Mechanisms of eastern Mediterranean rainfall variability. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57, 3219-3232.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.

Kalnay E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.

Kostopoulou E., P.D. Jones, 2005: Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85.

Kostopoulou E., P.D. Jones, 2007: Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean. Part II: relationships between atmospheric circulation patterns and surface climatic elements. *International Journal of Climatology* (in press)

Maheras P., E. Xoplaki, H. Kutiel, 1999: Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation; 1860-1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 189-199.

Maheras P., I Patrikas, Th. Karacostas, Ch. Anagnostopoulou, 2000: Automatic classification of circulation types in Greece: Methodology, Description, Frequency, Variability and Trend Analyses. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 205-223

Maheras P., Ch. Anagnostopoulou, 2003: Circulation Types and their Influence on the Interannual variability and precipitation changes in Greece. *Mediterranean Climate-Variability and Trends*. Springer Verlag, Berlin. 215-239.

Maheras P., K. Tolika, Chr. Anagnostopoulou, M. Vafiadis, I. Patrikas, H. Flocas, 2004: On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology*, 24: 109-130.



## ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΙΝΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΣΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Μαυροματιδής Η.<sup>1</sup>, Κάλλος Γ.<sup>1</sup>, Κατσαφάδος Π.<sup>2</sup>, Αστήθα Μ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής,  
Τομέας Φυσικής Εφαρμογών, Πανεπιστημιούπολη, Κτίριο Φυσικής-5,  
τηλ.: 210-7276832, 210-7276923, fax: 210-9631967, imavr@mg.uoa.gr

<sup>2</sup>Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελ. Βενιζέλου 70, Αθήνα, 17671.

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθούν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την ένταση ισχυρών καταιγίδων από σύγκλιση αερίων μαζών στη Β. Ελλάδα. Η περίπτωση μελέτης (case study) αφορά καταιγιδόφορο δραστηριότητα, που εξελίχθηκε στην πεδιάδα της Κεντρικής Μακεδονίας στις 21 Ιουνίου 1999. Με το αριθμητικό ατμοσφαιρικό μοντέλο περιορισμένης περιοχής RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) προσομοιώθηκαν οι συνθήκες που επέδρασαν στην ανάπτυξη της δραστηριότητας στην περιοχή, αλλά και οι μικροφυσικές διεργασίες κατά την διάρκεια των φαινομένων. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις συνθήκες εμφάνισης χαλαζιού, που αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για την ευρύτερη περιοχή. Από τη μελέτη προέκυψε ότι, εκτός από τη συνοπτική κατάσταση, ιδιαίτερα σημαντικός είναι και ο ρόλος του ανάγλυφου του εδάφους αλλά και των θερμοφυσικών συνθηκών του εδαφικού στρώματος, τα οποία επηρεάζουν τόσο την ανάπτυξη των καταιγίδων όσο και την ένταση και τις μέγιστες τιμές των φαινομένων. Κατά την διάρκεια της καταιγίδας, η εμφάνιση 'γλώσσας' ψυχρού αέρα (ρεύμα πυκνότητας) βοηθά στη δημιουργία των δευτερευόντων κυττάρων καταιγίδας και συντηρεί τα ήδη υπάρχοντα. Όσον αφορά στα μέγιστα των συγκεντρώσεων χαλαζιού μέσα στο καταιγιδόφορο νέφος, αυτά συμπίπτουν χωροχρονικά με τις περιοχές στις οποίες εμφανίζει μέγιστα η τυρβώδης κινητική ενέργεια και εκεί όπου επικρατούν έντονες ανοδικές κινήσεις, ενώ αύξηση της ποσότητας των πρωτογενών μικρών παγοκρυστάλλων (pristine ice), κοντά στην τροπόπαυση, συνδέεται και με ανάλογη αύξηση στην ποσότητα των χαλαζοκόκκων.

### STUDY OF A SUMMER STORM IN NORTHERN GREECE WITH THE AID OF A REGIONAL ATMOSPHERIC MODELING SYSTEM

Mavromatidis E.<sup>1</sup>, Kallos G.<sup>1</sup>, Katsafados P.<sup>2</sup>, Astitha M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National and Kapodistrian University of Athens, School of Physics,  
Division of Applied Physics, University Campus, Bldg Phys-5,

tel.: 30-210-7276832, 30-210-7276923, fax: 30-210-9631967. E-mail: imavr@mg.uoa.gr

<sup>2</sup>Harokopio University of Athens, School of Geography, El. Venizelou 70, Athens, 17671.

### Abstract

In this work an effort is made to estimate the several factors that affect the development and intensity of strong convective storms in North Greece. The case study concerns a storm activity that developed in Central Macedonia during 21 June 1999. The RAMS modeling system was used to simulate the atmospheric conditions that influenced the phenomenon, as well as the microphysical processes during the storm. Emphasis is given to the production of hail, which is a serious problem for the area under consideration. The study showed that the summertime convective storms over the Greek Peninsula (especially over northern

Greece) are large-scale weather phenomena. However, the mesoscale phenomena and primarily those related to the physiographic characteristics of the area have an important role at the intensity and peaks of the convective activity. The density current, which is created from the downdrafts within a cell of the primary storm, is the fuss that triggers the secondary cells of the storm and conserve the primarily ones. The higher number concentration, within the convective cloud formation, has been calculated by the model at areas with high values of Turbulent Kinetic Energy (TKE). At the same areas the vertical component of the wind was also very high. Finally, the formation of large amounts of pristine ice at the top of the cloud formation usually precedes the development of larger hydrometeors (e.g. hail) within the middle levels of the cloud.

**Λέξεις κλειδιά:** Ατμοσφαιρικό Μοντέλο, θερινή καταιγίδα, μικροφυσική νεφών.

**Key words:** Atmospheric Model, summer thunderstorm, cloud microphysics.

## 1.Εισαγωγή

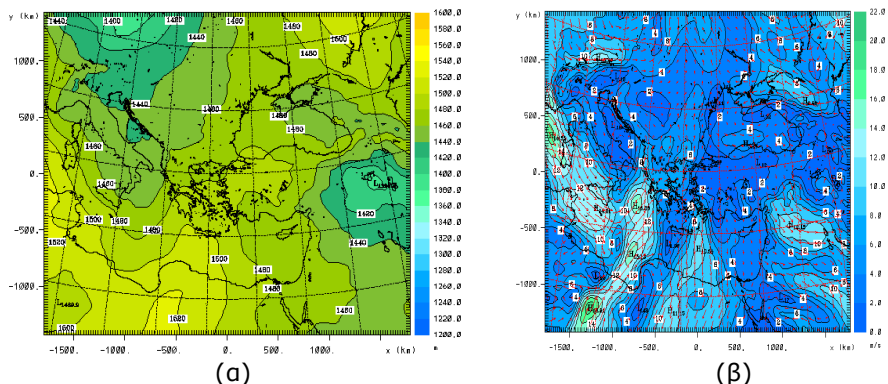
Τα τελευταία χρόνια, με σκοπό τη διερεύνηση των μηχανισμών που οδηγούν στην απότομη ενίσχυση βαρομετρικών χαμηλών σε μέσα γεωγραφικά πλάτη, πολλοί ερευνητές προσομοίωσαν με αριθμητικά μοντέλα χαρακτηριστικές περιπτώσεις τέτοιων καταιγίδων (μεταξύ άλλων Kallos and Segal, 1991; Krichak et al., 2000). Από τις παραπάνω μελέτες φαίνεται ότι τα συστήματα αυτά επηρεάζονται από την επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, την αισθητή και τη λανθάνουσα ροή θερμότητας, καθώς και από τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι θερινές καταιγίδες στον Ελλαδικό χώρο, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος μιας γραμμής σύγκλισης που ακολουθεί τον κύριο άξονα της Ελληνικής Χερσονήσου. Η εμφάνιση των καταιγίδων της θερμής περιόδου του έτους, ιδιαίτερα στον βορειοελλαδικό χώρο, έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές (Φλόκα και Καρακώστας, 1988 και Kotroni et al., 1997 μεταξύ άλλων). Στις μελέτες αυτές είτε διερευνήθηκαν οι κύριοι παράγοντες (συνοπτικής και μέσης κλίμακας) που συνέβαλαν στην εκδήλωση και ισχυροποίηση του φαινομένου, είτε αναπτύχθηκαν προγνωστικοί δείκτες και δείκτες αστάθειας. Στην παρούσα μελέτη γίνεται μία πρώτη προσπάθεια - με την εφαρμογή ενός ατμοσφαιρικού μοντέλου - να μελετηθούν επιπλέον οι παράμετροι και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροφυσική δομή των νεφικών συστημάτων, τα οποία προκαλούν τέτοιες ακραίες καταιγίδες σύγκλισης.

## 2.Περίπτωση Μελέτης – Συνοπτικές Συνθήκες

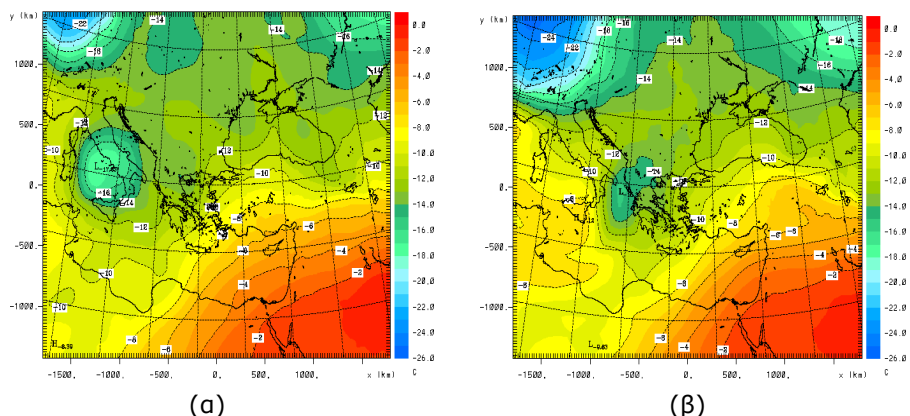
Η περίπτωση μελέτης αφορά καταιγιδόφορο δραστηριότητα με πτώση χαλαζιού στις 21 Ιουνίου 1999 (6:00-19:00 UTC) στην πεδιάδα της Κεντρικής Μακεδονίας. Ο συνοπτικός τύπος καιρού που επικράτησε κατά την ημέρα αυτή (Νοτιοδυτικό ρεύμα), θεωρείται ο πιο «παραγωγικός» σε χαλάζι και ο δεύτερος σε συχνότητα εμφάνισης χαλαζιού (Φλόκα, 1993). Σύμφωνα με τα στοιχεία που προέρχονται από δεδομένα ανάλυσης του ECMWF, η Ιταλική Χερσονήσος καταλαμβάνονταν στη μέση τροπόσφαιρα από μία trough με άξονα δυτικά της Ιταλίας, η οποία ενισχύθηκε και προχώρησε ελαφρώς ανατολικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτή η συνοπτική κατάσταση διαμόρφωσε ένα ΝΔ ρεύμα αέρα πάνω από την Ελλάδα στη μέση και κατώτερη τροπόσφαιρα (1). Το ρεύμα αυτό μετέφερε θερμές και υγρές αέρια μάζες δια μέσου της Ελληνικής Χερσονήσου από το Ιόνιο Πέλαγος προς τη Βόρεια χώρα (Δεν παρουσιάζεται εδώ).

Παράλληλα, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας αναπτύχθηκε ένα δυτικό ρεύμα ψυχρού αέρα πάνω από τον Ελληνικό χώρο. Αυτές οι ψυχρές αέρια μάζες μετατοπίστηκαν προς την Ήπειρο και έφθασαν κατά τις 12:00 UTC μέχρι την κεντρική Μακεδονία (Σχήμα 2). Η μεταφορά θερμών και υγρών αερίων μαζών στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας από το ΝΔ ρεύμα αέρα, σε συνδυασμό με την μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών από Δυτικές διευθύνσεις στα ψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ευνόησε τη δημιουργία ασταθών

συνθηκών κατά τις επόμενες ώρες. Η σύγκλιση των θερμών αερίων μαζών κατά μήκος της οροσειράς της Ελληνικής Χερσονήσου (ενισχυμένη και από μηχανική ανύψωση λόγω των ορεινών όγκων) είχε σαν συνέπεια την ανάπτυξη ανοδικών κινήσεων που οδήγησαν στη γρήγορη συμπύκνωση των υδρατμών και στο σχηματισμό συμπλεγμάτων καταιγιδοφόρων κυττάρων. Η δραστηριότητα εξελίχθηκε σταδιακά πάνω από τη βόρεια Ελλάδα και άρχισε να φθίνει κατά τις βραδινές ώρες.



Σχήμα 1. Οριζόντια τομή, στα 850 hPa, των πεδίων: α) γεωδυναμικό ύψος στις 06:00 UTC και β) πεδίο ανέμου στις 06:00 UTC, στις 21 Ιουνίου 1999.



Σχήμα 2. Οριζόντια τομή της θερμοκρασία στα 500 hPa α) στις 00:00 UTC, και β) στις 12:00 UTC, στις 21 Ιουνίου 1999.

### 3. Περιγραφή του Ατμοσφαιρικού Μοντέλου

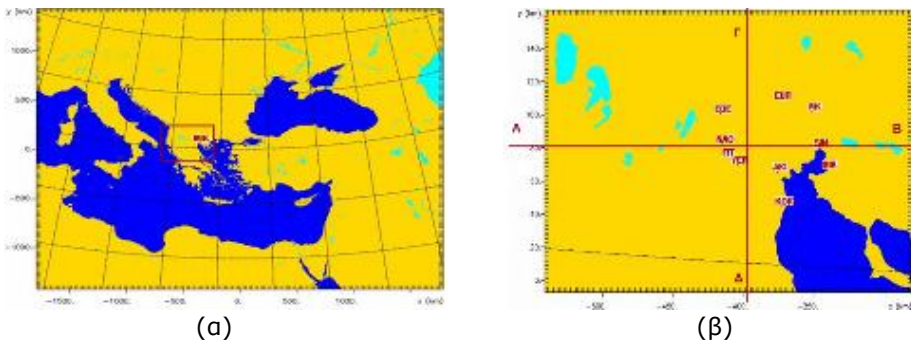
Το αριθμητικό μοντέλο RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) αναπτύχθηκε αρχικά στο Colorado State University σε συνεργασία με την Aster Division of Mission Research Inc. (<http://www.atmet.com>) για ερευνητικές εφαρμογές (Pielke et al., 1992). Χρησιμοποιείται κυρίως για προσομοιώσεις ατμοσφαιρικών φαινομένων μέσης κλίμακας (οριζόντια κλίμακα από 2 km έως 2000 km). Μπορεί να περιγράψει διάφορα ατμοσφαιρικά φαινόμενα συμπεριλαμβανομένων και των μικροφυσικών διαδικασιών στα νέφη. Το σχήμα μικροφυσικής του μοντέλου περιλαμβάνει κατηγορίες υδρομετεώρων σε στερεή, υγρή και μεικτή φάση. Συγκεκριμένα, η υγρή φάση περιλαμβάνει δύο κατηγορίες: τα νεφροσταγονίδια

(cloud) και τις υδροσταγόνες (rain), που μπορεί να βρίσκονται και σε κατάσταση υπέρτυξης. Τελειώς παγωμένα υδρομετέωρα είναι οι κρύσταλλοι χιονιού (snow), τα συσσωματώματα παγοκρυστάλλων (aggregates) και οι πρωτογενείς μικροί παγοκρύσταλλοι (pristine ice). Μεικτής φάσης είναι τα μορφώματα πάγου (graupel) και οι χαλαζόκοκκοι (hail).

Το σχήμα περιλαμβάνει προγνωστικές εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζονται η αναλογία μίγματος (mixing ratio) και ο αριθμός συγκέντρωσης (number concentration (Nt)) των διαφόρων τύπων υδρομετεώρων. Θεωρείται ότι τα υδρομετέωρα σε κάθε κατηγορία κατανέμονται σύμφωνα με μία γενικευμένη κατανομή γάμα ( $\gamma$ ) (Verlidge et al. 1990). Η μορφή της κατανομής καθορίζεται από την παράμετρο  $\nu$ , που μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεγαλύτερη ή ίση με τη μονάδα. Αυτή η παράμετρος μορφής ελέγχει στην κατανομή την ποσότητα των μικρότερων υδρομετεώρων σε σχέση με τα μεγαλύτερα. Όταν η παράμετρος μορφής λειφθεί ίση με τη μονάδα, θεωρείται ότι το μέγεθος των υδρομετεώρων ακολουθεί την εκθετική κατανομή (Marshall-Palmer).

#### 4. Σχεδιασμός των προσομοιώσεων και μεθοδολογία

Έγινε μία σειρά από προσομοιώσεις με διάρκεια 48 ώρες, οι οποίες ξεκίνησαν στις 00:00 UTC της 20ης Ιουνίου. Χρησιμοποιήθηκαν τρία επάλληλα πλέγματα σε πολικές στερεογραφικές συντεταγμένες που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3. Η οριζόντια χωρική διακριτικότητα των πλεγμάτων ήταν 24 km για το πρώτο, 6 km για το δεύτερο και 2 km για το τρίτο πλέγμα. Η περιγραφή της κατακόρυφης δομής της ατμόσφαιρας έγινε με 49 επίπεδα σε κατακόρυφο σύστημα συντεταγμένων σΖ.



Σχήμα.3. α) 1ο και 2ο πλέγμα των περιοχών ολοκλήρωσης του μοντέλου και β) η περιοχή που καλύπτεται από το τρίτο πλέγμα.

Σαν αρχικές και πλευρικές συνθήκες του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα προερχόμενα από το ECMWF (European Center of Medium Range Weather Forecasts), με οριζόντια ανάλυση 0.5ο για κάθε 6 ώρες. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν, ανά 6ωρο, οι διαθέσιμες ραδιοβολίσεις και παρατηρήσεις σταθμών εδάφους από το ίδιο κέντρο. Η τοπογραφία και τα δεδομένα χρήσης γης με οριζόντια ανάλυση 30'' προέρχονται από το USGS (United States Geological Survey). Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε κυψελίδα πλέγματος χωρίσθηκε σε 5 υποπλεγματικά τμήματα (με δικό του τύπο βλάστησης το καθένα), για να γίνει όσο το δυνατόν πιο ακριβής η αναπαράσταση της κάλυψης του εδάφους, ενώ για να αναπαρασταθεί το εδαφικό στρώμα στο οποίο περιγράφονται οι μεταβολές της εδαφικής θερμοκρασίας και υγρασίας, χρησιμοποιήθηκαν μέσα στο έδαφος 10 επίπεδα που έφθαναν σε βάθος τα 2 m.

Για να διερευνηθεί κατά πόσο επιδρά η κατανομή μεγέθους των υδρομετεώρων στην ποσότητα του νερού που φθάνει στο έδαφος, έγιναν προσομοιώσεις με διαφορετικές τιμές του παραμέτρου μορφής ( $\nu=1$  ή  $\nu=2$ ), ενώ για να διερευνηθεί η επίδραση των ιδιοτήτων του εδάφους έγιναν προσομοιώσεις με διαφορετικές αρχικές τιμές στις θερμοφυσικές

παραμέτρους του εδαφικού στρώματος. Σε όλες τις προσομοιώσεις το μοντέλο αναπαρήγαγε με σχετική επιτυχία την χωροχρονική εξέλιξη των φαινομένων αλλά και την ποσότητα της βροχής. Όμως πιο επιτυχημένες θεωρήθηκαν αυτές που αναπαρήγαγαν επιτυχώς και την χαλαζόπτωση. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στις οποίες η παράμετρος μορφής της γάμα κατανομής ( $\nu$ ) θεωρήθηκε ίση με 1, κατέδειξαν θερμοφυσικά χαρακτηριστικά εδάφους, τα οποία εφαρμόστηκαν κατά τη διαμόρφωση νέας προσομοίωσης με τιμή για την παράμετρο μορφής ( $\nu$ ) ίσης με 2, η οποία θεωρήθηκε και η κύρια προσομοίωση.

## 5. Αποτελέσματα των προσομοιώσεων

### 5.1 Αποτελέσματα των προσομοιώσεων με $\nu=1$ (single-modal)

Έγιναν τρεις προσομοιώσεις (ST1/normal, ST2/wet και ST3/dry), στις οποίες η παράμετρος μορφής ( $\nu$ ) θεωρήθηκε ίση με τη μονάδα. Οι διαφορές τους είναι ότι στην ST2 το έδαφος θεωρήθηκε πολύ υγρό, στην ST1 αρκετά υγρό, ενώ στην ST3 το έδαφος θεωρήθηκε σχετικά ξηρό. Από τις τρεις προσομοιώσεις λιγότερο επιτυχημένη θεωρήθηκε η προσομοίωση ST1. Οι ποσότητες του χαλαζιού, που έφθασαν στο έδαφος ήταν εξαιρετικά μικρές και σε περιορισμένη έκταση. Παρόλα αυτά η γενικότερη εξέλιξη της δραστηριότητας αναπαράχθηκε αρκετά ικανοποιητικά. Οι επόμενες δύο προσομοιώσεις (ST2 και ST3) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Από το μοντέλο εκτιμήθηκαν αρκετές ποσότητες χαλαζιού στην ευρύτερη περιοχή αλλά και στην περιοχή ενδιαφέροντος. Γενικά και στις δύο προσομοιώσεις τα κέντρα της δραστηριότητας ήταν τα ίδια περίπου με μικρές μόνο διαφοροποιήσεις. Εκείνο που ξεχωρίζει τις δύο προσομοιώσεις είναι το γεγονός ότι στην προσομοίωση ST2 έφθασαν αθροιστικά στο έδαφος μεγαλύτερες ποσότητες νερού και σε μεγαλύτερη έκταση, συγκριτικά με τα αντίστοιχα μεγέθη που υπολογίσθηκαν στην προσομοίωση ST3. Όμως, στην ST3 η ένταση των φαινομένων ήταν μεγαλύτερη.

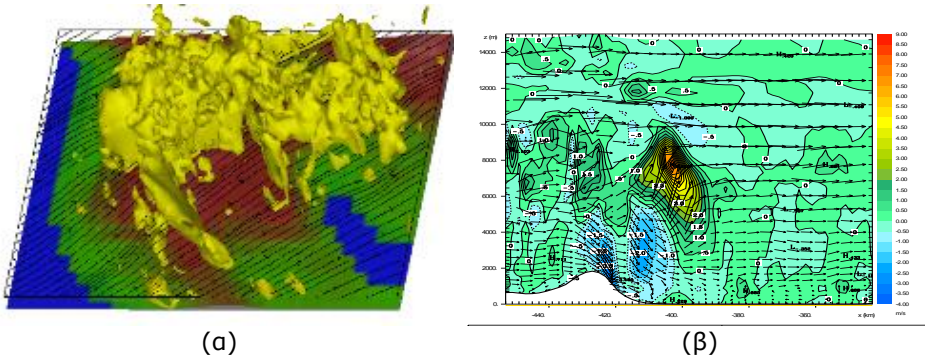
Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα καλύτερα αποτελέσματα των δύο άλλων προσομοιώσεων σε σχέση με την ST1 οφείλονται στο πιο θερμό έδαφος (στις προσομοιώσεις ST2 και ST3), αφού το έδαφος τροφοδοτώντας με θερμότητα τον υπερκείμενο αέρα ενισχύει τα ανοδικά ρεύματα. Το ξηρό και θερμό έδαφος στην προσομοίωση ST3 ενίσχυσε κατά πολύ την ανοδική μεταφορά, με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες να φθάνουν ψηλότερα, όπου επικράτησαν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Δεν μπορούσε όμως να τροφοδοτήσει με υγρασία τον αέρα, γεγονός που συμβαίνει στην προσομοίωση ST2, στην οποία ενισχύθηκαν μεν λιγότερο τα ανοδικά ρεύματα (μικρότερης έντασης φαινόμενα) αλλά εμπλουτίστηκε με υγρασία ο υπερκείμενος αέρας. Έτσι οι συνολικές ποσότητες νερού που έφθασαν στο έδαφος ήταν αρκετά μεγαλύτερες.

### 5.2 Αποτελέσματα της κύριας προσομοίωσης ( $\nu=2$ , bi-modal)

Η συγκεκριμένη προσομοίωση, της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πιο αναλυτικά, θεωρήθηκε η κύρια προσομοίωση. Το έδαφος θεωρήθηκε σχετικά υγρό, όπως και στην ST1, καθώς εντοπίστηκε καταγίδοφόρος δράση στην περιοχή, 2-3 ημέρες πριν από την περίπτωση μελέτης, ενώ χρησιμοποιήθηκε σαν αρχική κατατομή θερμοκρασίας στα υπεδάφια στρώματα η ίδια με αυτήν της προσομοίωσης ST2. Συγκεκριμένα τα υπεδάφια στρώματα θεωρήθηκαν λίγο θερμότερα από το πρώτο ατμοσφαιρικό επίπεδο. Από τις μικροφυσικές παραμέτρους, το χαλάζι είναι αυτό που δημιουργεί τα προβλήματα στις καλλιέργειες κατά τη διάρκεια των θερινών καταιγίδων στην βόρεια Ελλάδα και ως εκ τούτου δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διερεύνηση της ανάπτυξής του. Η παράμετρος μορφής των υδρομετεώρων ( $\nu$ ) θεωρήθηκε ίση με 2, διότι, όταν θεωρηθεί ίση με τη μονάδα (Marshall-Palmer), ευνοείται η επικράτηση σωματιδίων νέφους με μικρές διαμέτρους και όχι η ανάπτυξη μεγαλύτερων σωματιδίων, όπως είναι οι χαλαζόκοκκοι.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης διαπιστώνεται η ανάπτυξη έντονων ανοδικών κινήσεων στην περιοχή της Ηπείρου και της Αλβανίας, που οφείλονται στην εκτιμώμενη αστάθεια της ατμόσφαιρας. Η αλληλεπίδραση των θερμών και υγρών

αερίων μαζών με το ανάγλυφο της περιοχής και με τις ψυχρότερες ηπειρωτικές αέριες μάζες διατάραξε τη ροή του αέρα και οδήγησε σε σύγκλιση των αερίων μαζών κατά μήκος της κορυφογραμμής της Ελληνικής Χερσονήσου. Αυτή η κατάσταση είχε σαν αποτέλεσμα τη γρήγορη συμπύκνωση των υδρατμών και το σχηματισμό συμπλεγμάτων καταιγιδοφόρων κυττάρων, τα οποία κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταφέρθηκαν μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Κατά την διάρκεια των φαινομένων εκτιμήθηκαν από το μοντέλο ανοδικές ταχύτητες μέχρι και 8 m/s σε ύψη μεταξύ 5 και 6 km (Σχήμα 4), ενώ από τους πιλότους του ΕΛΓΑ (Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων) αναφέρθηκαν κατακόρυφες ταχύτητες περίπου 10 m/s (Σιούτας κ. α, 2000).

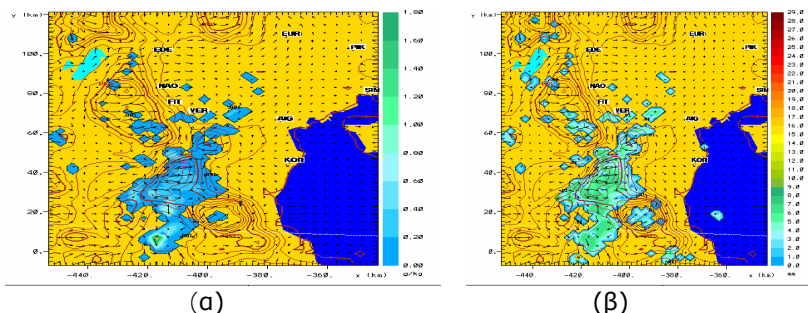


Σχήμα 4. Εκτίμηση συνθηκών της 21ης Ιουνίου 1999:

α) Οι τρισδιάστατες κίτρινες επιφάνειες απεικονίζουν τις ισοταχείς του 1 m/s των ανοδικών κινήσεων, ενώ οι ρευματογραμμές αναφέρονται στον οριζόντιο άνεμο στα 2000 m ύψος, στις 12:00 UTC και

β) Κατακόρυφη τομή του πεδίου της κατακόρυφης ροής του αέρα στις 9:55 UTC, κατά μήκος της γραμμής ΑΒ του Σχήματος 3β στην κατεύθυνση Ανατολή-Δύση μέσα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης.

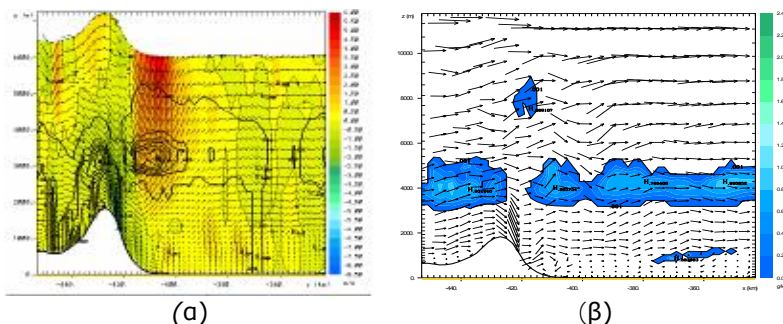
Τα πρώτα καταιγιδοφόρα κύτταρα αφού έδωσαν φαινόμενα κατά τις 09:00 UTC στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, μεταφέρθηκαν στη συνέχεια μέσα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και ενισχύθηκαν, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν και νέα θυγατρικά κύτταρα, που έδωσαν καταιγίδες μικρής διάρκειας. Συνολικά, κατά τη διάρκεια της ημέρας, προσομοιώθηκαν σημαντικές ποσότητες χαλαζιού σε όλα τα ορεινά της Δυτικής Μακεδονίας, των νομών Κιλκίς και Σερρών, καθώς και στον Όλυμπο. Μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος, παρατηρήθηκε μία σημαντική ζώνη χαλαζιού από τη Νάουσα μέχρι την περιοχή της Σίνδου, ενώ μικρότερες ποσότητες σημειώθηκαν στα νότια της περιοχής. Η ένταση της χαλαζόπτωσης, όπως εκτιμήθηκε από το μοντέλο, ήταν σχετικά μικρή στα πεδινά (5-10 mm/hr ισοδύναμα σε υγρό νερό), συγκριτικά με την ένταση των 100 mm/hr που έφθασε στους ορεινούς όγκους της γύρω περιοχής (Δεν παρουσιάζεται εδώ). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ανάλογοι ρυθμοί χαλαζόπτωσης είναι συνηθισμένοι σε έντονες χαλαζοκαταιγίδες (Federer and Waldvogel, 1975). Στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, οι μέγιστες τιμές της αναλογίας μίγματος του χαλαζιού στα πεδινά υπολογίστηκαν σε μερικά δέκατα του γραμμαρίου ανά χιλιόγραμμο αέρα φθάνοντας μέχρι και τα 2.5 g/kg στις πλαγιές των γύρω ορεινών όγκων (Σχήμα 5α). Σε αντιστοιχία με την αναλογία μίγματος, η χαλαζόπτωση ήταν πυκνή στα γύρω ορεινά (μέχρι και 2000 σωματίδια/kg περίπου), ενώ μέσα στην πεδιάδα ο αριθμός συγκέντρωσης ήταν μερικές εκατοντάδες σωματίδια (Δεν παρουσιάζεται εδώ). Οι μεγάλες τιμές της αναλογίας μίγματος και αριθμού συγκέντρωσης, στα ορεινά, επιβεβαιώνονται και από την εξέταση των διαμέτρων των χαλαζοκόκκων. Οι μέγιστες διαμέτροι έφθασαν μέχρι και τα 30 mm, ενώ οι αντίστοιχες τιμές στα πεδινά έφθασαν κατά τόπους τα 8-10 mm (Σχήμα 5β).



Σχήμα 5. Οριζόντιες τομές στο πρώτο από την επιφάνεια επίπεδο του μοντέλου α) της αναλογίας μίγματος (g/kg) του χαλαζιού και β) των διαμέτρων των χαλαζοκόκκων (mm), σε ένα τμήμα του εσωτερικού πλέγματος της προσομοίωσης.

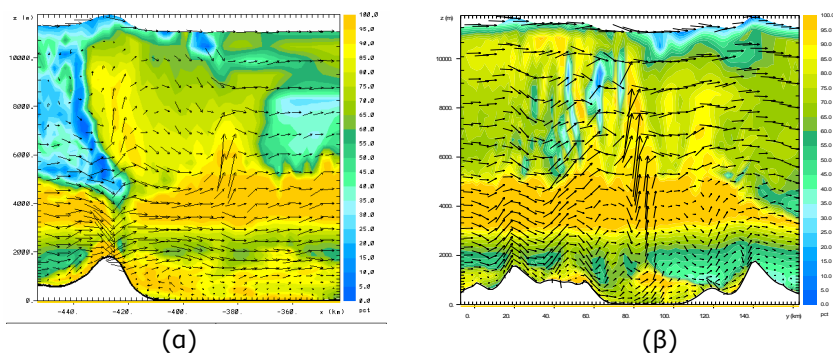
Για την λεπτομερέστερη μελέτη των μηχανισμών που ενίσχυσαν τη σύγκλιση και την ανάπτυξη των υδρομετεώρων στην περιοχή ενδιαφέροντος, δημιουργήθηκαν κατακόρυφες τομές μιας σειράς παραμέτρων κατά μήκος των αξόνων ΑΒ και ΓΔ (Σχήμα 3β). Επιλέχθηκαν οι άξονες αυτοί, διότι, κατά μήκος τους, αναπτύχθηκε έντονη δραστηριότητα. Ο άξονας ΑΒ διασχίζει την περιοχή με κατεύθυνση: Ανατολή – Δύση, τέμνοντας το Βέρμιο στο ύψος της Νάουσας. Αντίστοιχα, ο άξονας ΓΔ διασχίζει την περιοχή με κατεύθυνση Βορρά- Νότου.

Η μεγαλύτερη παραγωγή χαλαζιού εκτιμήθηκε από το μοντέλο εκεί όπου επικράτησαν έντονες ανοδικές κινήσεις. Αυτές είναι οι περιοχές που τροφοδοτούν το καταγιδοφόρο κύτταρο. Αντίθετα, πτώση χαλαζιού στο έδαφος παρατηρήθηκε σε περιοχές με έντονα καθοδικά ρεύματα (Σχήμα 6α). Αυτά τα καθοδικά ρεύματα μέσα στο κύτταρο της καταγίδας ενισχύονται και από την πτώση των υδρομετεώρων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα παγοσωματίδια μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα καταγιδοφόρο κύτταρο και να φθάσουν σε μέγεθος κατακρημνισμάτων μέσα σε ζώνες, στις οποίες επικρατούν κατακόρυφες ταχύτητες μεταξύ 2 και 5 m/s (Yuter and Huzar, 1995). Στις ζώνες αυτές τα παγοσωματίδια αυξάνουν το μέγεθός τους με το μηχανισμό της εναπόθεσης υδρατμών, εκεί όπου τα ανοδικά ρεύματα είναι ικανά να τα συγκρατήσουν στον αέρα και να μην τα επιτρέψουν να κινηθούν καθοδικά λόγω της βαρύτητας (Pruppacher and Klett, 1997). Κάτι ανάλογο παρατηρείται και στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνεται ότι τα έντονα ανοδικά ρεύματα ανύψωσαν τα νεφοσταγονίδια σε ύψη μέχρι και 8 km, όπου το νερό βρίσκεται σε κατάσταση υπέρτηξης (Σχήμα 6β).



Σχήμα 6. Κατακόρυφες τομές κατά μήκος της γραμμής ΑΒ (Σχήμα 3β) α) της κατακόρυφης συνιστώσας του ανέμου (m/s) και της αναλογίας μίγματος του χαλαζιού (g/kg), στις 9:50 UTC. Ο χρωματισμός είναι ανάλογος της κατακόρυφης ταχύτητας του ανέμου, ενώ η αναλογία μίγματος του χαλαζιού αναπαριστάνεται με ισοπληθείς, β) της αναλογίας μίγματος (g/kg) των νεφοσταγονιδίων στις 10:05 UTC.

Από την ανάλυση κατακόρυφων τομών της σχετικής υγρασίας κατά μήκος του άξονα AB παρατηρείται ότι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, διαταράχθηκε η ροή των αερίων μαζών στις υπήνεμες πλαγιές του Βερμίου με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν κύματα από την ορογραφία. Με αυτό τον τρόπο, ενισχύθηκαν τα ανοδικά ρεύματα και δόθηκε η δυνατότητα στις αέριες μάζες να φθάσουν στο επίπεδο ελεύθερης ανοδικής μεταφοράς (LFC). Έτσι, δημιουργήθηκαν νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης που έδωσαν τα φαινόμενα στην περιοχή. Με το πέρασμα της ημέρας, ο αέρας κινήθηκε, κατά διαστήματα, έντονα ανοδικά πάνω από το LFC και, έτσι, δημιουργήθηκαν καινούργια κύτταρα. Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η περίπτωση, που έδωσε τα φαινόμενα του μεσημεριού, όπου φαίνεται η ανάπτυξη του κυττάρου και οι έντονες ανοδικές κινήσεις του αέρα στο κέντρο του, ενώ είναι ορατός και ο σχηματισμός νέφους σε μορφή άκμονα στην κορυφή της σωρειτόμορφης ανάπτυξης. Γύρω στις 14:30 έχει πια μπει στο στάδιο της διάλυσης, καθώς παρατηρείται η εισχώρηση αέρα (entrainment) μέσα στο κύτταρο που είναι ξηρότερος από το περιβάλλον (Σχήμα 7α). Αντίστοιχη μελέτη έγινε και με τη βοήθεια μιας σειράς κατακόρυφων τομών κατά μήκος του άξονα ΓΔ. Παρατηρείται ότι η ροή των αερίων μαζών, που περνούν από τα Πιέρια όρη από νότιες-νοτιοδυτικές διευθύνσεις, διαταράσσεται πάνω από την κορυφή του ορεινού όγκου. Αυτή η διαταραχή των ρευματογραμμών δίνει την απαραίτητη ενέργεια για να ξεπεράσουν οι αέριες μάζες το επίπεδο της ελεύθερης ανοδικής μεταφοράς. Στο κέντρο της πεδιάδας, από την θέρμανση του εδάφους, οι ανοδικές κινήσεις είναι εξαιρετικά έντονες, με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες να έχουν τη δυνατότητα να φθάσουν στο επίπεδο ελεύθερης ανοδικής μεταφοράς και να τροφοδοτήσουν το κύτταρο της καταιγίδας (Σχήμα 7β).



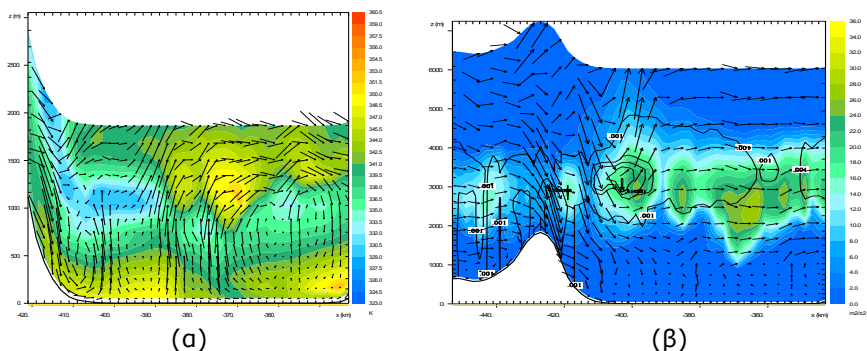
Σχήμα 7. Κατακόρυφες τομές της σχετικής υγρασίας (%) και βέλη ανέμου: α) κατά μήκος του άξονα AB στις 14:35 UTC και β) κατά μήκος του άξονα ΓΔ στις 9:55 UTC.

Σε κατακόρυφες τομές, κατά μήκος του άξονα AB, της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας, καθώς εξελίσσεται η καταιγίδα στο όρος Βέρμιο, γίνεται εμφανής μία 'γλώσσα' ψυχρού αέρα στις υπήνεμες πλαγιές του ορεινού όγκου (Σχήμα 8α). Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό σαν ρεύμα πυκνότητας (density current). Είναι μία σφήνα ψυχρού αέρα, που τον κατεβάζει η ίδια η καταιγίδα και εισχωρεί κάτω από το θερμό αέρα της κοιλάδας, όπως, ακριβώς, συμβαίνει κατά τη μετακίνηση ενός ψυχρού μετώπου. Ο ρόλος του ρεύματος πυκνότητας και εδώ φαίνεται να είναι πολύ σημαντικός, διότι βοήθησε τόσο στην ανάπτυξη των δευτερογενών καταιγίδων όσο και στη συντήρησή τους. Παρατηρείται επίσης ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις χαλαζιού στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 8β) συμπίπτουν χωροχρονικά με τις περιοχές στις οποίες παρουσιάζει μέγιστα η τυρβώδης κινητική ενέργεια, με την οποία απεικονίζεται το σπάσιμο των κυμάτων της ατμόσφαιρας από μεγάλα μήκη κύματος σε μικρότερα και η μετατόπιση της ενέργειας στα μικρότερα μήκη κύματος.

Συμπληρωματικά, από τη μελέτη της αναλογίας μίγματος των μικρών πρωτογενών παγοκρυστάλλων (pristine ice) διαπιστώνεται ότι αυτός ο τύπος σωματιδίων καταλαμβάνει το στρώμα της ατμόσφαιρας μεταξύ 4 και 10 km κατά το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας, με τις



μεγαλύτερες ποσότητες αυτών των υδρομετεώρων να βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (~10 km), αφού η θερμοκρασία σχηματισμού τους είναι μικρότερη από αυτήν των άλλων σωματιδίων (Δεν παρουσιάζεται εδώ). Παρατηρείται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης ότι αύξηση της ποσότητας των pristine ice, κοντά στην τροπόπαυση, συνδέεται και με ανάλογη αύξηση στην ποσότητα του χαλαζιού στην ατμόσφαιρα ή και με χαλαζόπτωση ακόμη στο έδαφος λίγο αργότερα. Το γεγονός αυτό προσιδιάζει με το μηχανισμό seeder-feeder, παρόλο που, συνθήως, ο μηχανισμός αυτός παρατηρείται κατά τις βραδινές ώρες.



Σχήμα 8. Κατακόρυφες τομές κατά μήκος του άξονα AB α) της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στις 9:50 UTC και β) της τυρβώδους κινητικής ενέργειας ( $m^2/s^2$  – σε χρωματισμό) και της αναλογίας μίγματος χαλαζιού ( $g/kg$  – σε ισοπληθείς) στις 9:55 UTC.

## 6. Συμπεράσματα

Από τη μελέτη προέκυψε ότι η συνοπτική κατάσταση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των καταιγίδων στην συγκεκριμένη περιοχή. Εξ' ίσου όμως καθοριστικός είναι και ο ρόλος των φαινομένων μέσης κλίμακας και κυρίως αυτών που σχετίζονται με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν η μέση κλίμακα υπερκαλύπτει τη συνοπτική κατάσταση (αν είναι ασθενής) και τη γενική κυκλοφορία. Ειδικότερα βρέθηκε ότι οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους, στις πεδινές κυρίως περιοχές, επηρεάζουν τόσο τη χωροχρονική μεταβολή όσο και τα μέγιστα των ακραίων ή όχι καιρικών φαινομένων. Ξηρότερο έδαφος έχει σαν συνέπεια ισχυρότερη καταιγίδα κατά το ξεκίνημα και χαλαζόπτωση με μεγαλύτερη ένταση από τις περιπτώσεις με πιο υγρό έδαφος. Στην περίπτωση όμως αυτή η καταιγίδα εξασθενεί πιο γρήγορα λόγω της απουσίας ποσότητας υδατμών ικανής να την τροφοδοτήσει με τις απαραίτητες ποσότητες νερού και λανθάνουσας θερμότητας. Εξίσου σημαντικός παράγοντας για τις ατμοσφαιρικές διαδικασίες είναι η διάταξη των ορεινών όγκων. Ο ρόλος τους είναι καθοριστικός για την δημιουργία των ζωνών σύγκλισης κατά μήκος της κορυφογραμμής της οροσειράς της Ελληνικής Χερσονήσου, οι οποίες δίνουν τα γωνστά έντονα καιρικά φαινόμενα, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα.

Κατά την διάρκεια της καταιγίδας από την προσομοίωση προέκυψαν τα εξής: α) η εμφάνιση του ρεύματος πυκνότητας (density current), εισχωρώντας κάτω από τον θερμό αέρα και εκτοπίζοντας τις θερμές και υγρές αέριες μάζες του ΑΟΣ σε ανώτερα ύψη, αποτελεί τη θρυσάδα για την δημιουργία δευτερογενών κυττάρων και συντηρεί τα ήδη υπάρχοντα, β) η ανάπτυξη μεγάλων ποσοτήτων πρωτογενών παγοκρυστάλλων (pristine ice) στην κορυφή των νεφικών σχηματισμών, προηγείται της παραγωγής μεγαλύτερων παγοκρυστάλλων (π.χ. χαλαζιού) στα μεσαία στρώματα του νέφους και γ) η παραγωγή μεγάλων παγοκρυστάλλων στο καταιγιδόφορο νέφος, συμπίπτει χωροχρονικά με τις περιοχές στις οποίες εμφανίζεται μέγιστα η τυρβώδης κινητική ενέργεια και εκεί όπου επικρατούν έντονες ανοδικές κινήσεις,

**Βιβλιογραφία**

Σιούτας Β. Μ., Τατιάνα Τζουμάκη, Κυριάκος Τσιτουρίδης και Δημήτρης Φόρης, 2000: Εθνικό Πρόγραμμα χαλαζικής προστασίας, Ετήσια Έκθεση 1999, Κέντρο Τροποποίησης καιρού, ΕΛΓΑ.

Φλόκα, Ε. Α. και Θ. Σ. Καρακώστας, 1988: Συμβολή στην πρόγνωση καταιγίδων στο βορειοελλαδικό χώρο. *Μετεωρολογικά*, 73, 229-238, Θεσσαλονίκη 1988.

Φλόκα, Ε. Α., 1993: Συμβολή στη μελέτη του προβλήματος της κυκλογένεσης στο Αιγαίο Πέλαγος. *Διδακτορική Διατριβή*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 200 pp.

Federer, B. and A. Waldvogel, 1975: Hail and Raindrop Size Distributions from a Swiss Multicell Storm. *J. Appl. Meteor.*, 14 (1), 91-97.

Kallos, G., and M. Segal, 1991: "On the meteorological conditions during post-precipitation periods. Implications to air pollution". *J. Appl. Meteorol.*, 30, pp. 297-311.

Kotroni, V., Lagouvardos, K., Kallos, G., and D. Ziakopoulos, 1999: Severe flooding over central and southern Greece associated with pre-cold frontal orographic lifting. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 125, 967-991

Krichak, S. O., M. Tsidulko, and P. Alpert, 2000: November 2, 1994, severe storms in the southeastern Mediterranean. *Atmos. Res.*, 53, 45-62.

Pielke, R.A, W.R. Cotton, R.L Walko, C.J. Tremback, W.A Lyons, L.D. Grasso, M.E. Nicholls, M.D. Moran, D.A. Wesley, T.J. Lee, and J.H. Copeland, 1992: A comprehensive meteorological modelling system - RAMS. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 49, 69-91.

Pruppacher, R., H and J. D. Klett, 1997: *Microphysics of clouds and precipitation* (Second revised and enlarged edition). Kluwer Academic Publishers, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Vol. 18, ISBN: 0-7923-4211-9

Verliden, J., P. J. Flatau and W. R. Cotton, 1990: Analytical solutions to the collection growth equation: Comparison with approximate methods and application to cloud microphysics parameterization schemes. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2871-2880.

Yuter, S. E., and R. A. Houze Jr., 1995: Three-Dimensional Kinematic and Microphysical Evolution of Florida Cumulonimbus. Part II: Frequency Distributions of Vertical Velocity, Reflectivity, and Differential Reflectivity. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 1941-1963.

## ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Νάστος Π.<sup>1</sup>, Παλιατσός Α.<sup>2</sup>, Νίκα Κ.<sup>1</sup>, Ξηρού Κ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

<sup>2</sup> *Γενικό Τμήμα Μαθηματικών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά*

### Περίληψη

Στην εργασία επιχειρείται η εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ), με τη χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου και μονοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1996-2000, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) και συγκρίνονται με τα όρια πίνακα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Υπολογίζονται τα ποσοστά εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στις διάφορες θέσεις καταγραφής των ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Επιχειρείται η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων σχετικών με τις αιτίες που ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στις διάφορες θέσεις μέτρησης και γίνεται συγκριτική αποτίμηση της ποιότητας του αέρα των περιοχών αυτών. Τέλος, μελετάται η χωρική κατανομή της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ, για διάφορες χρονικές περιόδους, επιχειρείται δε η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις αιτίες που προκαλούν τις διάφορες χωρικές και χρονικές μεταβολές της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

### SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF AIR QUALITY IN GREATER ATHENS AREA

Nastos P.<sup>1</sup>, Paliatsos A.<sup>2</sup>, Nika K.<sup>1</sup>, Xirou K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Department of Geology and Geoenvironment, University of Athens*

<sup>2</sup> *General Department of Mathematics, Technological and Education Institute of Piraeus*

### Abstract

In the present work an assessment of the air quality in the Greater Athens Area (GAA) is attempted by the use of an environmental index. Data with respect to the air pollutants concentrations measured over this area through the years 1996-2000 are used for the calculation of the Pollutant Standard Index (PSI). PSI is a complex index and in this work is calculated by compounding appropriately the concentrations of ozone (O<sub>3</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO). The spatial and temporal variation of the PSI is studied and the results are analyzed in terms of air pollution daily levels in the area. Air quality comparisons among regions within the broader area of the basin under study are also given.

**Λέξεις κλειδιά:** ποιότητα ατμόσφαιρας, τυπικός δείκτης ρύπανσης, χωρική κατανομή, Αθήνα.

**Key words:** air quality, pollutant standard index, spatial distribution, Athens.

## 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Αυτή λοιπόν η συχνή εμφάνιση τέτοιων υπερβάσεων, έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αστικών και βιομηχανικών περιοχών (Παλιατσός κ. ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002a; Τριανταφύλλου κ. ά., 2002; Triantafyllou et al. 2002), γεγονός που συνδέεται άμεσα με την υγεία των κατοίκων αυτών των περιοχών (Katsouyanni et al., 1993, Nastos et al., 2003; Bartzokas et al., 2004; Paliatsos et al., 2006).

Από μελέτες που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί έχει διαπιστωθεί ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται τόσο από τις κατά τόπους επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Singapore Meteorological Service, 1995), όσο και από τις ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη περιοχών (Παλιατσός κ.ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002; Τριανταφύλλου κ. ά., 2002; Triantafyllou et al., 2002).

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ρυπασμένες περιοχές. Λόγω της ανομοιομορφίας των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν εισαχθεί διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες, των οποίων η χρήση καθιστά δυνατή την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μιας περιοχής. Ένας περιβαλλοντικός δείκτης είναι μια αριθμητική ή περιγραφική κατηγοριοποίηση μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών παραμέτρων, με αντικειμενικό σκοπό την παροχή δυνατότητας για εξαγωγή πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σχετιζόμενους με την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και να βοηθήσουν στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας παράλληλα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και επιστημονικής τους ανάλυσης (Canter, 1997; Thom and Ott, 1976; Tunstall, 1979; Washington, 1984).

Για να εκτιμηθεί η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής είναι δυνατή η χρησιμοποίηση περιβαλλοντικών δεικτών. Ένας τέτοιος δείκτης είναι ο δείκτης ποιότητας του αέρα PSI που προτάθηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency και για συντομία EPA), περίπου στα μέσα της δεκαετίας του '70 (Ott and Thom, 1976; Ott and Hunt, 1976; Thom and Ott, 1976), με αντικειμενικό σκοπό την τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης απέβλεπαν στη διευκόλυνση των συγκρίσεων που σχετίζονταν με την ποιότητα της ατμόσφαιρας διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Ο δείκτης PSI είναι σύνθετος δείκτης που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM10) έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm, που αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται από 0 μέχρι 500 και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας. Τιμές του δείκτη 0 - 50, 51 - 100, 101 - 200, 201 - 300 και 301 - 500, καθορίζουν ποιότητα ατμόσφαιρας "καλή" (I), "μέτρια" (II), "ανθυγιεινή" (III), "πολύ ανθυγιεινή" (IV) και "επικίνδυνη" (V) αντίστοιχα, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Boubel et al., 1994), όπου αναφέρονται και πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του

πληθυσμού. Οπότε ο δείκτης αυτός καθορίζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του PSI, με βάση τη σχέση:

$$PSI = \max (I_1, I_2, I_3, I_4, I_5) \quad (1)$$

όπου του επιμέρους δείκτη  $I_1$  οι τιμές καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, του  $I_2$  από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, του  $I_3$  από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του  $I_4$  από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και τέλος του  $I_5$  από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου. Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε τέτοιο υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με επιπτώσεις ενδεχομένως πολύ επιβλαβείς για την υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής. Ο υπολογισμός των τιμών κάθε επιμέρους δείκτη αναφέρεται σε προηγούμενες μελέτες (Παλιατσός κ.ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002a; Τριανταφύλλου κ.ά., 2002; Triantafyllou et al., 2002).

## 2. Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων

### 2.1. Μελέτη των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στη μελέτη αυτή υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, όπου η υπό μελέτη περίοδος αναφέρεται στη 5-ετία 1996-2000. Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη PSI, στην υπό μελέτη περιοχή, λήφθηκαν τα δεδομένα των σταθμών που ανήκουν στο δίκτυο για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, οι οποίοι λειτουργούν υπό την επίβλεψη της Διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ (Πίνακας 1). Τα δεδομένα αυτά είναι οι χρονοσειρές των ωριαίων συγκεντρώσεων του όζοντος, του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Από τις χρονοσειρές με 24-ωρες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, κυλιόμενες μέσες 8-ωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος και ωριαίες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου, στη διάρκεια της 5-ετούς χρονικής περιόδου, των υπό μελέτη σταθμών (Πίνακας 1), έγινε καθορισμός των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση:

$$PSI = \max (I_2, I_3, I_4) \quad (2)$$

διότι η καταγραφή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) άρχισε από τον 10/2000 και οι ωριαίες τιμές διοξειδίου του αζώτου δεν ξεπέρασαν την οριακή τιμή των 1130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Boubel et al., 1994). Επιπλέον, προσδιορίστηκε ο ρύπος που διαμορφώνει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, ανά σταθμό.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών με τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, για κάθε σταθμό στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι και την κατηγορία «III», σε όλους τους υπό μελέτη σταθμούς, εκτός του σταθμού «Πατησίων» όπου έφτασε μέχρι και την κατηγορία «IV».

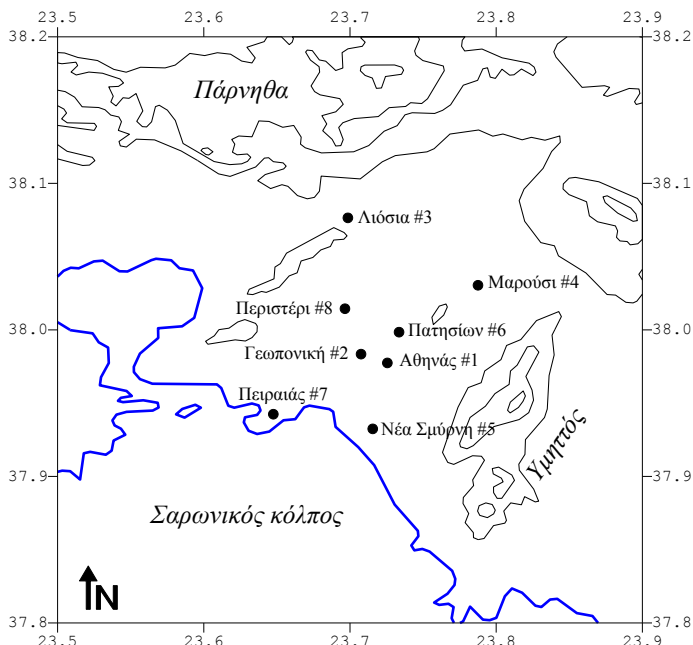
Από το Σχήμα 2 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, στην περιοχή του κέντρου της αστικής περιοχής της Αθήνας (σταθμοί #1 και #6), η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι την κατηγορία «IV». Από τη μελέτη των ανά έτος ποσοστών εμφάνισης κάθε μιας από τις κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, διαπιστώνεται μια σχετική βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, από τη διαχρονική εξέλιξη και τις παρατηρούμενες τάσεις των ετήσιων ποσοστών που παρουσιάζουν οι εμφανιζόμενες κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας, διαπιστώνονται τα εξής: Η ποιότητα της ατμόσφαιρας βελτιώνεται, κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, σχεδόν σ' ολόκληρη την ΕΠΑ, με εξαίρεση τις περιοχές των περιφερειακών σταθμών «Γεωπονική» και «Λιόσια».

Όσον αφορά την παρατηρούμενη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, αυτή μπορεί να αποδοθεί στις καθοδικές τάσεις που εμφανίζουν οι «συνεισφέροντες» στον καθορισμό της τιμής του PSI ρύποι (σχέση (2), στην ατμόσφαιρα της ΕΠΑ (Kalabokas et al., 1999a; Paliatsos et al., 2002b). Ειδικότερα, η παρατηρούμενη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, μπορεί να αποδοθεί στην πτωτική τάση που εμφανίζουν όλοι οι ρύποι στο σταθμό «Πατησίων», κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1986-2000 (Paliatsos et al., 2002b).

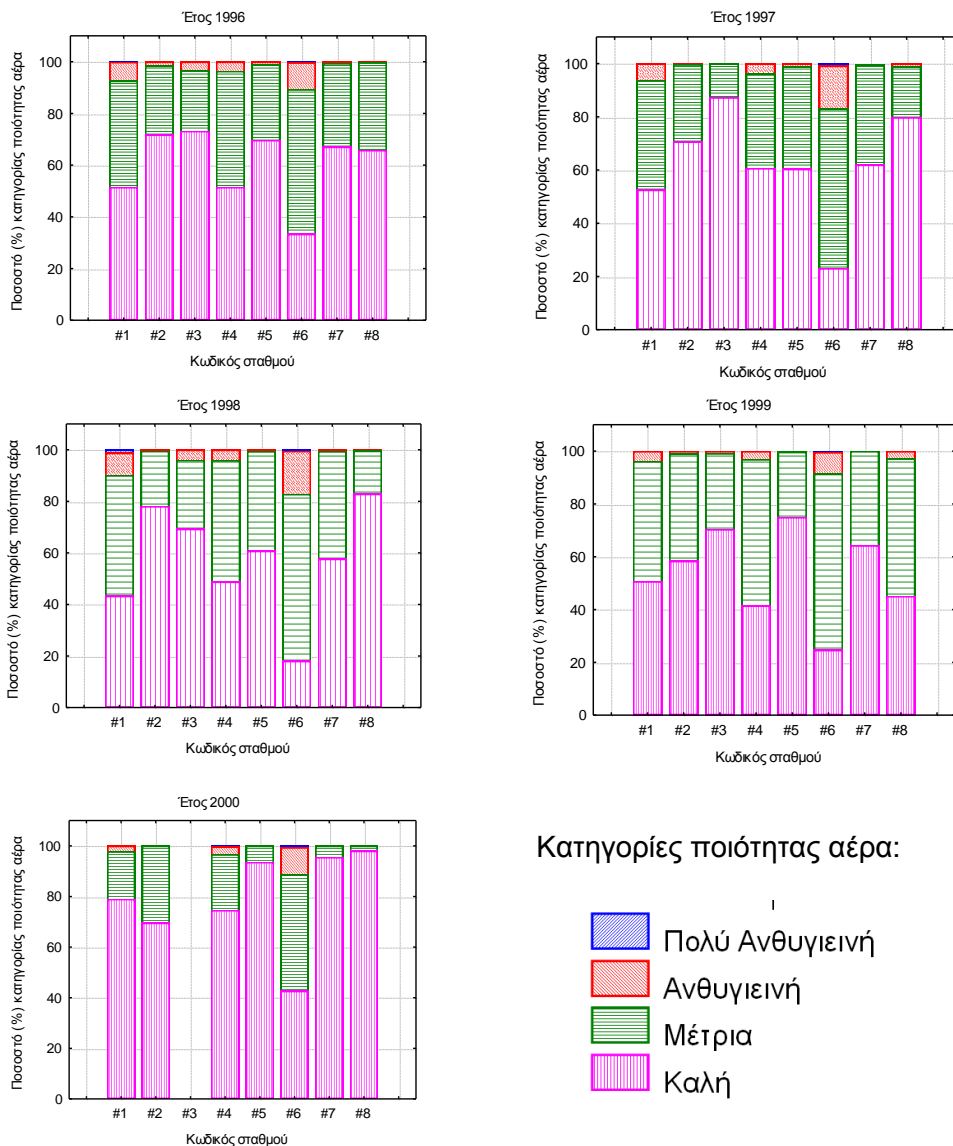
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά σταθμών καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

Όνομα (#κωδικός)	Θέση			Χαρακτηρισμός
	Γεωγρ. μήκος	Γεωγρ. πλάτος	Υψόμετρο (m -asl)	
Αθηνάς (#1)	23° 43' 30''	37° 58' 42''	100	Αστικός-Κυκλοφορίας
Γεωπονική (#2)	23° 42' 25''	37° 59' 01''	50	Περισσικός-Βιομηχανικός
Λιόσια (#3)	23° 41' 52''	38° 04' 36''	165	Περισσικός-Υποβάθρου
Μαρούσι (#4)	23° 47' 14''	38° 01' 51''	145	Αστικός-Κυκλοφορίας
Νέα Σμύρνη (#5)	23° 42' 54''	37° 55' 58''	50	Αστικός-Υποβάθρου
Πατησίων (#6)	23° 43' 59''	37° 59' 57''	105	Αστικός-Κυκλοφορίας
Πειραιάς (#7)	23° 38' 51''	37° 56' 36''	20	Αστικός-Κυκλοφορίας
Περιστερί (#8)	23° 41' 46''	38° 00' 55''	80	Αστικός-Υποβάθρου

Στο Σχήμα 1 εμφανίζεται η χωρική κατανομή των υπό μελέτη σταθμών του δικτύου της ΔΕΑΡΘ για την καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ.



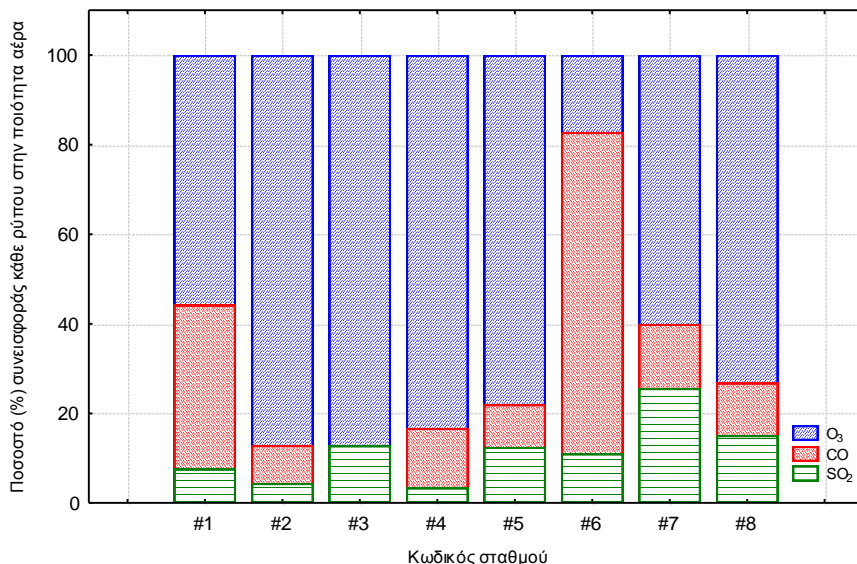
Σχήμα 1. Χωρική κατανομή των υπό μελέτη σταθμών της ΔΕΑΡΘ, στην ΕΠΑ.



Σχήμα 2. Ποσοστιαία (%) ανά έτος ποιότητα ατμόσφαιρας για τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

2.2. Μελέτη της συνεισφοράς των ρύπων στη διαμόρφωση επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται για κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ, όπως αυτοί εμφανίζονται στον Πίνακα 1, η συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, για τη χρονική περίοδο 1996-2000.



Σχήμα 3. Ποσοστιαία (%) συνεισφορά των συγκεντρώσεων των εμπλεκόμενων ρύπων, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI για τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

Από το Σχήμα 3 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 5-ετούς χρονικής περιόδου 1996-2000, το CO είναι ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στους σταθμούς «Πατησίων» σε ποσοστό 72%, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων που χαρακτηρίζει την περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος σταθμός (Πίνακας 1) χαρακτηρίζεται σαν στατικός με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο (Viras et al., 1996). Για τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου, το O<sub>3</sub> αποτελεί τον υπεύθυνο ρύπο για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ, το δε ποσοστό της συνεισφοράς του στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη κυμαίνεται μεταξύ 60% και 87%. Συγκρίνοντας την ποσοστιαία συνεισφορά των συγκεντρώσεων των εμπλεκόμενων ρύπων στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI κατά τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ, διαπιστώνεται πλήρης ομοιότητα με την αντίστοιχη ποσοστιαία συνεισφορά που υπολογίσθηκε για τη χρονική περίοδο 1990-1999 (Paliatsos et al., 2002a).

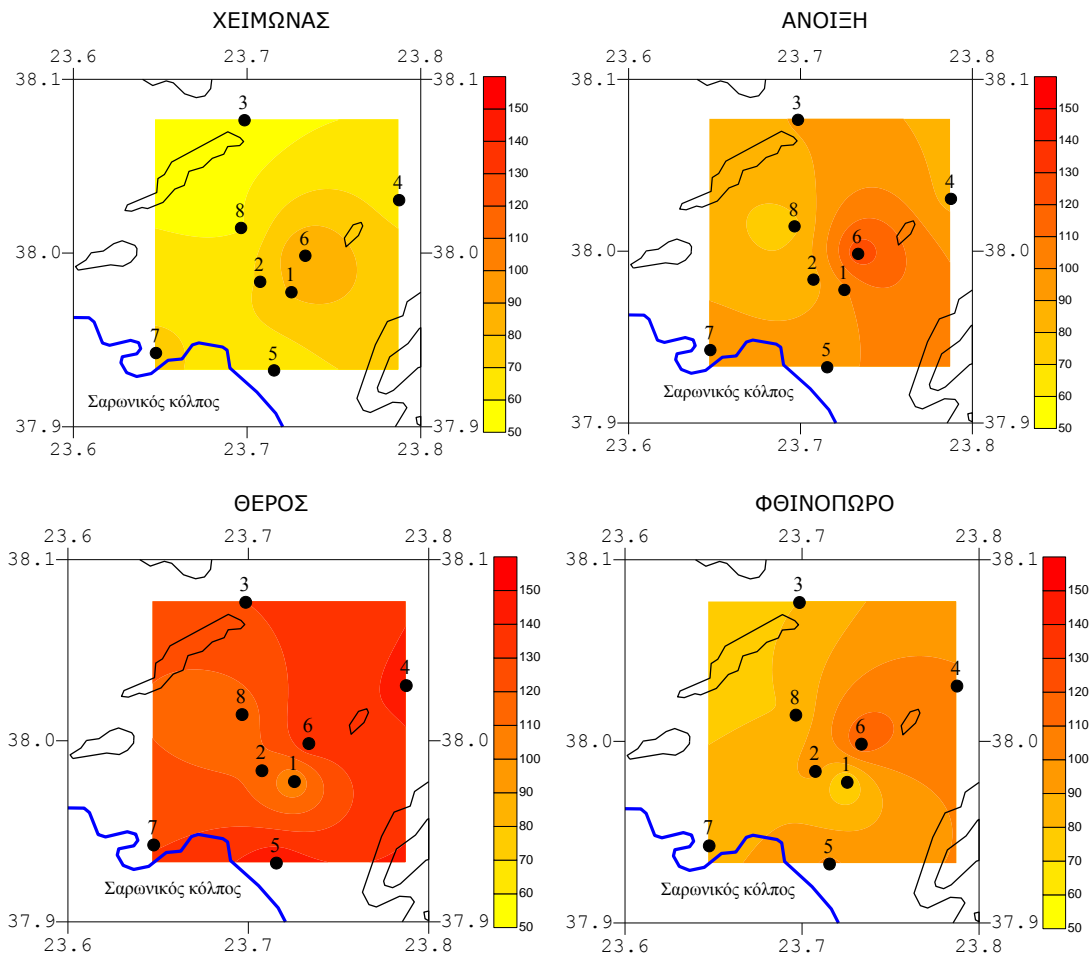
### 2.3. Μελέτη της χωρικής κατανομής των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Η χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1996 – 2000, εμφανίζεται στο Σχήμα 4. Από αυτό διαπιστώνονται τα εξής:

Το χειμώνα (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο μεν κέντρο της ΕΠΑ κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών «I» και «III», στα ΒΔ τμήματα της ΕΠΑ η ποιότητα βελτιώνεται διατηρούμενη οριακά στο επίπεδο της «I» και τέλος στην υπόλοιπη περιοχή βελτιώνεται λιγότερο διατηρούμενη στην κατηγορία «II».

Τη άνοιξη (Μάρτιος – Μάιος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο μεν κέντρο της ΕΠΑ υποβαθμίζεται διατηρούμενη στο επίπεδο της κατηγορίας «III», ενώ στην υπόλοιπη περιοχή υπάρχει σχετική βελτίωση διότι κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών «II» και «III».





Σχήμα 4. Χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI, για τη χρονική περίοδο 1996-2000, στην ΕΠΑ.

Το θέρος (Ιούνιος – Αύγουστος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας σε ολόκληρη την ΕΠΑ είναι υποβαθμισμένη διότι βρίσκεται στο επίπεδο της κατηγορίας «ΙΙΙ» και τέλος το Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος – Νοέμβριος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας σε ολόκληρη την ΕΠΑ βελτιώνεται διατηρούμενη στα επίπεδα της κατηγορίας «ΙΙ».

Η χωρική αυτή κατανομή μπορεί, πολύ εύκολα, να ερμηνευθεί από την ποσοστιαία (%) συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI (Σχήμα 3) για την υπό μελέτη χρονική περίοδο. Πράγματι, από το Σχήμα διαπιστώνεται ότι στους σταθμούς του κέντρου, «Πατησίων» πρωτίστως και «Αθηνάς» δευτερευόντως, το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς έχει το μονοξείδιο του άνθρακα. Ο ρύπος αυτός είναι γνωστό ότι εμφανίζει το μέγιστο της ετήσιας πορείας του κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους (Viras et al., 1996; Paliatsos, et al., 2002b), γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Επίσης, από το ίδιο σχήμα διαπιστώνεται ότι στους

υπόλοιπους σταθμούς το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς έχει το όζον. Όπως είναι γνωστό ο ρύπος αυτός εμφανίζει ετήσια πορεία περίπου όμοια με την ετήσια πορεία της ηλιακής δραστηριότητας. Άρα, το μέγιστο της ετήσιας πορείας του όζοντος εμφανίζεται το καλοκαίρι (Kalabokas et al., 1999b), γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, με μέγιστο το θέρος.

### 3. Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών με τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1996-2000, για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ, διαπιστώνονται τα εξής:

Κατά την εξεταζόμενη πενταετία, στο κέντρο της ΕΠΑ, η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι και την κατηγορία «πολύ ανθυγιεινή», σε αντίθεση με την περιφέρεια όπου η ποιότητα κυμάνθηκε στα επίπεδα της «ανθυγιεινής». Η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών των εμφανιζόμενων κατηγοριών ποιότητας της ατμόσφαιρας εμφανίζει βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, στο κέντρο της υπό μελέτη περιοχής.

Από τη μελέτη της συνεισφοράς των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, το CO βρέθηκε να είναι ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, ενώ για την υπόλοιπη περιοχή βρέθηκε το O<sub>3</sub> να αποτελεί τον υπεύθυνο ρύπο για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιράς της.

Τέλος, η χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, στην εξεταζόμενη 5-ετία, εμφανίζει ανεκτά επίπεδα ποιότητας ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μερική υποβάθμιση παρατηρείται το φθινόπωρο, η οποία την άνοιξη γίνεται εντονότερη και τέλος το καλοκαίρι η υποβάθμιση είναι πλήρης με αιχμή την περιφέρεια της ΕΠΑ.

### Βιβλιογραφία

Bartzokas A., P. Kassomenos, M. Petrakis, C. Celessides, 2004: The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor and Built Environment*. 13, 271-275.

Boubel R.W., D.L. Fox, D.B. Turner and A.C. Stern, 1994: *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Edition, Academic Press.

Canter L., 1997: *Environmental Impact Assessment*, 2nd Edition, McGraw Hill.

Kalabokas P.D., L.G. Viras, C.C. Repapis, J.G. Bartzis, 1999a: Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part I: Primary air pollutants. *Global Nest: the International Journal*. 1, 157-167.

Kalabokas P.D., L.G. Viras, C.C. Repapis, J.G. Bartzis, 1999b: Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part II: Photochemical air pollutants. *Global Nest: the International Journal*. 1, 169-176.

Katsouyanni K., A. Pantasopoulou, G. Touloumi, K. Moustris, I. Tselepidaki, D. Asimakopoulos, G. Pouloupoulou, and D. Trichopoulos, 1993: Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives of Environmental Health*. 48, 235-242.

Nastos P.T., A.G. Paliatsos, D.B. Panagiotakos, A. Antoniou, C. Chrysohoou, C. Pitsavos and P.K. Toutouzias, 2003: Associations between primary air pollutants and cardiovascular

mortality, in Athens. Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Greece, 8-10 September 2003, 612-619.

Ott W.R. and G.C. Thom, 1976: A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *Journal of Air Pollution Control Association*. 26, 460-470.

Ott W.R. and W.F. Hunt, 1976: A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 1050-1054.

Παλιατσός Α.Γ., Κ.Β. Κουκουλέτσος, Π.Θ. Νάστος, Κ.Μ. Φιλάνδρας, Δ.Α. Βαρβαρίγος και Ν.Φ. Ζαρνικόλας, 2001: Μεταβολή της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβάλλοντος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Καλαμπάκα, 26-28 Ιανουαρίου 2001.

Paliatsos A.G., J.K. Kaldellis and P.Th. Nastos, 2002a: Assessment of air quality spatial distribution in the Greater Athens Area. Proceedings of the International Conference on "Protection and Restoration of the Environment VI", Skiathos, July 1-5, 2002, 1849-1854, A.G. Kungolos, A.B. Liakopoulos, G.P. Korfiatis, A.D. Koutsospyros, K.L. Katsifarakis, A.C. Demetracopoulos (Eds).

Paliatsos A.G., J.K. Kaldellis, P.S. Koronakis and J.E. Garofalakis, 2002b: Fifteen year air quality trends associated with the vehicle traffic in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11, 1119-1126.

Παλιατσός Α.Γ., Α.Γ. Τριανταφύλλου και Κ. Τζιουβάρα, 2004: Διαχρονική μεταβολή της ποιότητας του αέρα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Λευκωσία, Λευκωσία, 28-30 Σεπτεμβρίου 2004, τόμος Β, 873-880 (Σ. Χ. Μιχαηλίδης (εκδότης), ISBN - SET 9963-9160-0-7, ISBN 9963-9160-1-3).

Paliatsos, A.G., K.N. Priftis, I.C. Ziomas, P. Panagiotoπούλου-Gartagani, A. Nikolaou-Panagiotou, P. Tapratzi-Potamianou, A. Zachariadi-Xypolita, P. Nicolaidou and P. Saxoni-Papageorgiou, 2006: Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 614-618.

Singapore Meteorological Service, 1995: Smoke haze over Singapore, Malaysia and Indonesia. *World Meteorological Organization*. 44, 147-150.

Thom G.C., and W.R. Ott, 1976: A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment*. 10, 261-264.

Triantafyllou A.G., A.G. Paliatsos, M. Voutsinas and I. Zuburtikudis, 2002: Air quality assessment in an industrial area by using environmental indicators. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11, 933-939.

Τριανταφύλλου Α.Γ., Α.Γ. Παλιατσός και Μ. Βουτσινάς, 2002: Εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας βιομηχανικής περιοχής με περιβαλλοντικούς δείκτες. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002, 455-463.

Tunstall D.B., 1979: Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality. *Social Indicators Research*. 6, 301-347.

Viras, L.G., A.G. Paliatsos and A.G. Fotopoulos, 1996: Nine year trend of air pollution by CO in Athens, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*. 40, 203-214.

Washington H.G., 1984: Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*. 18, 653-694.

## ΧΩΡΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ. ΜΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Νικολάκης Δ., Νάστος Π.

*Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος,  
Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

### Περίληψη

Είναι γνωστό ότι η βροχή και η θερμοκρασία του αέρα αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία τόσο του καιρού όσο και του κλίματος. Η μελέτη κάθε στοιχείου χωριστά είναι σχετικά εύκολη και συνήθης. Η δυσκολία προκύπτει όταν εξετάζεται η συμμεταβολή τους, πράγμα που επιχειρείται στην παρούσα εργασία. Για αυτό τον σκοπό ελήφθησαν υπόψιν τα μηνιαία κλιματικά στοιχεία βροχής και θερμοκρασίας αέρα, μιας πλήρους κλιματικής περιόδου (1961-1990), 27 μετεωρολογικών σταθμών της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, ικανοποιητικά διανεμημένων στον Ελληνικό χώρο. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόστηκε η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis, T-mode, Varimax Rotation) στις μέσες μηνιαίες τιμές βροχής και θερμοκρασίας αέρα για το σύνολο των σταθμών. Όσον αφορά την βροχή προέκυψαν δύο κύριοι παράγοντες που ερμηνεύουν το 87.7% της συνολικής μεταβλητότητας και αντιστοιχούν στις δύο περιόδους, υγρή (Σεπτέμβριος-Απρίλιος) και ξηρή (Μάιος-Αύγουστος), και όσον αφορά την θερμοκρασία αέρα προέκυψαν επίσης δύο παράγοντες που εξηγούν το 97.6% της συνολικής μεταβλητότητας και αντιστοιχούν στις δύο περιόδους, ψυχρή (Οκτώβριος-Απρίλιος) και θερμή (Μάιος-Σεπτέμβριος). Στο δεύτερο στάδιο, η ανάλυση σε ομάδες (Hierarchical Cluster Analysis) εφαρμόστηκε στις τιμές των τεσσάρων εξαγομένων κυρίων παραγόντων (factor scores) από την παραγοντική ανάλυση, όπου και ταυτοποιήθηκαν χωρικά τέσσερις ομάδες σταθμών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά βροχής και θερμοκρασίας αέρα.

### SPATIAL COVARIABILITY OF PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE IN GREECE. A DIFFERENT APPROACH

Nikolakis D., Nastos P.

*Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment,  
Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens*

### Abstract

It is well known that precipitation and air temperature constitute fundamental elements of the weather and the climate. The study of each element separately is relatively easy and usual. The difficulty arises when their covariability is examined, and this is the objective of this study. For this purpose, the mean monthly precipitation and air temperature data with respect to the reference period 1961-1990 were obtained from 27 meteorological stations of Hellenic Meteorological Service, satisfactorily distributed all over the country. The first step was the application of Factor Analysis (T-mode, Varimax Rotation) to the mean monthly precipitation and air temperature data of all the stations. Regarding the precipitation, two main factors were extracted, which explain 87.7 % of the total variance and correspond to the wet period (September-April) and the dry period (May-August) while regarding the air temperature, two main factors were also extracted, explaining 97.6 % of the total variance and correspond to the cold period (October-April) and the warm period (May-September). The second step was the application of the Hierarchical Cluster Analysis to the four factor scores extracted by the Factor Analysis. This procedure resulted in four sub regions with particular characteristics of precipitation and air temperature, which demonstrate the spatial covariability of these two important climatic elements.

**Λέξεις κλειδιά:** χωρική συμμεταβολή, βροχή, θερμοκρασία αέρα, Ελλάδα.

**Key words:** spatial covariability, precipitation, air temperature, Greece.

## 1. Εισαγωγή

Για την πλήρη απεικόνιση του κλίματος μιας περιοχής απαιτείται η στατιστική μελέτη και τα χαρακτηριστικά όλων των κλιματικών παραμέτρων και παραγόντων μιας πλήρους κλιματικής περιόδου 30 ετών. Ως γνωστόν, οι κλιματικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η βροχή, η εξάτμιση, η υγρασία, η διεύθυνση και η ταχύτητα ανέμου, η ηλιοφάνεια, η νέφωση κ.ά., οι δε παράγοντες είναι το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο το ανάγλυφο η απόσταση από την θάλασσα κ.ά. Επομένως, ο αριθμός τόσο των κλιματικών παραμέτρων όσο και των παραγόντων είναι αρκετά μεγάλος. Παρά τον μεγάλο αριθμό των κλιματικών παραμέτρων και παραγόντων οι δυο, δηλαδή αυτοί της θερμοκρασίας και της βροχής θεωρούνται οι βασικότεροι και απαραίτητοι για δυο κυρίως λόγους. Πρώτον είναι τα φυσικά επακόλουθα της διανομής και μεταφοράς της ενέργειας στον πλανήτη και αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των κλιματικών ταξινομήσεων. Ολοι άλλωστε οι κλιματικοί δείκτες συνίστανται είτε απο αυτά τα ίδια ή απο συνδιασμό τους. Δεύτερον είναι εύκολο να μετρούνται και ως εκ τούτου ανευρίσκονται σχεδόν σε όλους τους σταθμούς μέτρησης και για ικανοποιητική χρονική περίοδο. Το κάθε ένα στοιχείο, απο αυτά, έχει μελετηθεί διεξοδικά είτε για όλον τον ελληνικό χώρο είτε για διάφορα τμήματά του, απο πολλούς ερευνητές. Όσον αφορά την θερμοκρασία του αέρα, τις τάσεις, τις ετήσιες και εποχικές μεταβολές της καθώς και την σχέση της με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία μελέτησαν μεταξύ άλλων οι Giles and Flocas (1984), Repapis and Philandras (1988), Metaxas et al. (1991), Sahsamanooglou and Makrogiannis (1992), Nastos (1995), Proedrou et al. (1997), Luterbacher et al. (2000), Feidas et al. (2004), Flocas et al. (2005), Maheras et al. (2006). Η κατανομή της βροχής στην Ελλάδα, οι ετήσιες και εποχικές μεταβολές της σε σχέση με την κυκλοφορία έχουν μελετηθεί από τους Repapis (1986), Repapis et al. (1993), Nastos (1993), Amanatidis et al. (1997), Metaxas et al. (1999), Fotiadi et al. (1999), Xoplaki et al. (2000), Maheras et al. (2004), Paliatsos et al. (2005), Feidas et al. (2007) μεταξύ άλλων.

Εκείνο πάνω στο οποίο έχει γίνει λίγη δουλειά είναι να εξεταστεί κανείς τον συνδυασμό ή την αλληλεπίδραση των δύο αυτών παραμέτρων πράγμα αρκετά δύσκολο που όμως παρουσιάζει και ενδιαφέρον και χρησιμότητα. Λόγου χάριν πολλές φορές τίθεται το ερώτημα αν ψυχροί χειμώνες ακολουθούνται απο πολλές βροχοπτώσεις ή συμβαίνει το αντίστροφο. Με βεβαία την αυξητική τάση της θερμοκρασίας πλανητικά, μεγάλες αβεβαιότητες διατυπώνονται ως προς την διαμόρφωση του καθεστώτος των βροχοπτώσεων. Οι Κανελλοπούλου κ.ά. (1996) αναλύοντας τις συσχετίσεις των δύο αυτών κλιματικών παραμέτρων διαπίστωσαν ότι κατά την θερμή περίοδο παρατηρούνται αρνητικές τιμές συσχετίσεων, στατιστικά σημαντικές (ε.ε. 95%), ενώ κατά την ψυχρή περίοδο, παρατηρούνται μικρές θετικές τιμές συσχετίσεων οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικές (ε.ε. 95%) για το σύνολο σχεδόν της χώρας. Εφαρμόζοντας πολυμεταβλητές μεθόδους ανάλυσης (Factor Analysis and Canonical Analysis) οι Nastos et al. (2002) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των καθεστώτων βροχής και θερμοκρασίας αέρα κατά τον χειμώνα, ενώ την άνοιξη και το καλοκαίρι η σχέση αυτή αντιστρέφεται. Σε γενικές γραμμές τα κλιματικά μοντέλα για την Ελλάδα και την Ευρώπη γενικότερα με μεγάλη σχεδόν βεβαιότητα, δείχνουν ότι μετά απο δυο ως πέντε δεκαετίες, ανάλογα με τον ρυθμό των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων, η θερμοκρασία θα αυξηθεί απο 0.5 ως 2.5 κατά μέσον όρο. Η θέρμανση θα είναι εντονότερη κατα το θέρος και ηπιότερη κατά τον χειμώνα. Οι βροχοπτώσεις, με μεγαλύτερη όμως αβεβαιότητα, αναμένεται να μειωθούν λίγο, ίσως μέχρι 10% κατά την ψυχρή περίοδο του έτους και μέχρι 20% κατά την θερμή περίοδο.

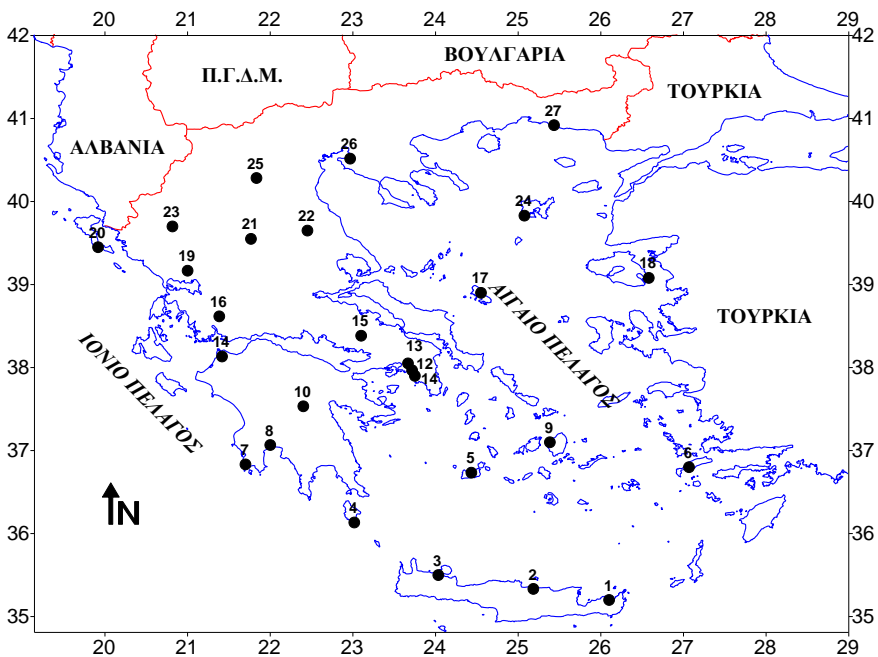
Στην παρούσα μελέτη προκειμένου να ερευνηθεί η συμμεταβολή των δυο στοιχείων

θερμοκρασίας αέρα και βροχής, γίνεται μια διαφορετική μαθηματική στατιστική προσέγγιση του προβλήματος.

## 2.Υλικό – Μεθοδολογία

Για τις ανάγκες διεξαγωγής της παρούσας εργασίας ελήφθησαν υπ' όψιν τα μηνιαία κλιματικά στοιχεία βροχής και θερμοκρασίας του αέρα από 27 μετεωρολογικούς σταθμούς του Ελληνικού χώρου για μια πλήρη κλιματική περίοδο τριάντα ετών (1961- 1990),. Για την αξιοπιστία και ομοιογένεια των στοιχείων όλοι οι σταθμοί ελήφθησαν απο το Εθνικό δίκτυο της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ). Στον Πίνακα 1 δίνονται τα στοιχεία ταυτότητας (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο) κάθε σταθμού, στο δε Σχήμα 1 δίνεται η γεωγραφική κατανομή των 27 των σταθμών. Η όλη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων έγινε σε δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο εφαρμόστηκε η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis, Varimax Rotation) στις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχής. Ο πίνακας που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτός, που χαρακτηρίζεται ως T mode, και έχει σαν στήλες τις μέσες μηνιαίες τιμές του στοιχείου (π.χ θερμοκρασία ή βροχή) και σαν γραμμές τους αντίστοιχους μετεωρολογικούς σταθμούς θεωρούμενος ως ο πλέον κατάλληλος για συσχέτιση χρόνου-σταθμών ως προς το εξεταζόμενο στοιχείο (Jolliffe 1986, 1990; Manly 1986; Richman 1986). Η εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στις παραμέτρους τόσο της βροχής όσο και της θερμοκρασίας είχε σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή δύο κύριων παραγόντων σε κάθε μία από αυτές. Στο δεύτερο στάδιο έγινε ανάλυση ομαδοποίησης των τεσσάρων εξαχθέντων τιμών (factor scores) των κυρίων παραγόντων. Η μέθοδος ομαδοποίησης (Cluster Analysis) που εφαρμόστηκε είναι αυτή της ιεραρχικής πορείας (Hierarchical) με βάση την Ευκλείδεια απόσταση (Euclidian distance). Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο τιμών  $i$  και  $j$  βασίζεται στο Πυθαγόρειο Θεώρημα και ορίζεται ως εξής :



Σχήμα 1. Γεωγραφική διανομή του δικτύου των μετεωρολογικών σταθμών

Πίνακας 1. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
1	ΣΗΤΕΙΑ	26.10	35.20	28.00
2	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	25.18	35.33	39.00
3	ΧΑΝΙΑ	24.03	35.50	62.00
4	ΚΥΘΗΡΑ	23.02	36.13	167.00
5	ΜΗΛΟΣ	24.43	36.73	182.00
6	ΚΩΣ	27.07	36.80	10.00
7	ΜΕΘΩΝΗ	21.70	36.83	33.00
8	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	22.00	37.07	5.00
9	ΝΑΞΟΣ	25.38	37.10	10.00
10	ΤΡΙΠΟΛΗ	22.40	37.53	622.00
11	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	23.75	37.90	10.00
12	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	23.72	37.97	107.00
13	ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	23.67	38.05	138.00
14	ΑΡΑΞΟΣ	21.42	38.13	15.00
15	ΑΛΙΑΡΤΟΣ	23.10	38.38	110.00
16	ΑΓΡΙΝΙΟ	21.38	38.62	47.00
17	ΣΚΥΡΟΣ	24.55	38.90	4.00
18	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	26.60	39.07	5.00
19	ΑΡΤΑ	21.00	39.17	42.00
20	ΚΕΡΚΥΡΑ	19.92	39.45	4.00
21	ΤΡΙΚΑΛΑ	21.77	39.55	149.00
22	ΛΑΡΙΣΑ	22.45	39.65	74.00
23	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	20.82	39.70	484.00
24	ΛΗΜΝΟΣ	25.07	39.75	3.00
25	ΚΟΖΑΝΗ	21.83	40.28	626.00
26	ΜΙΚΡΑ	22.97	40.52	5.00
27	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	25.43	40.85	3.00

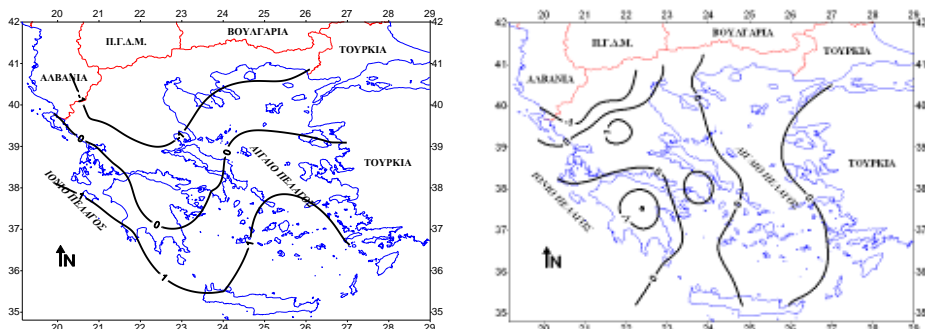
$$D(i, j) = [\sum (M(i, k) - M(j, k))^2]^{1/2}$$

όπου M είναι ο αρχικός πίνακας,  $k = 1, \dots, N$ , είναι οι διαφορετικές μεταβλητές, χαρακτηριστικές των τιμών που θα ταξινομηθούν και D είναι ο πίνακας αποστάσεων. Κατά την ομαδοποίηση, όπως προηγούμενα αναφέρθηκε ταυτοποιήθηκαν χωρικά τέσσερις ομάδες σταθμών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά βροχής και θερμοκρασίας αέρα.

### 3. Αποτελέσματα

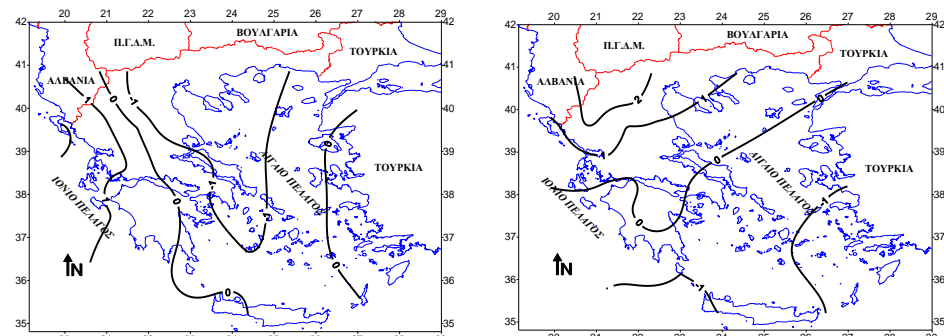
**α) Θερμοκρασία.** Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας εξήχθησαν δυο κύριοι παράγοντες (Πίνακας 2). Ο πρώτος κύριος

παράγοντας ερμηνεύει το 83.3 % της ολικής μεταβλητότητας και περιλαμβάνει τους μήνες Οκτώβριο–Απρίλιο, που αντιστοιχούν από πλευράς θερμοκρασίας στην ψυχρή περίοδο του έτους στα Μεσογειακά κλίματα. Ο δεύτερος κύριος παράγοντας ερμηνεύει το 14.2 % της ολικής μεταβλητότητας και περιλαμβάνει τους μήνες Μάιο–Σεπτέμβριο, που αντιστοιχούν από πλευράς θερμοκρασίας στην θερμή περίοδο του έτους στα Μεσογειακά κλίματα. Στο Σχήμα 2 εμφανίζεται η γεωγραφική απεικόνιση των ισοπληθών των τιμών (factor scores) των δυο κύριων παραγόντων της θερμοκρασίας αέρα, για τις δυο αντίστοιχες περιόδους.



Σχήμα 2. Χωρική κατανομή των τιμών (factor scores) των κύριων παραγόντων της θερμοκρασίας του αέρα, για την ψυχρή περίοδο (αριστερό γράφημα) και την θερμή περίοδο (δεξιό γράφημα)

**β) Βροχή.** Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στις μέσες μηνιαίες τιμές της βροχής εξήχθησαν δυο κύριοι παράγοντες. Οι τιμές των φορτίσεων (loadings) των κύριων παραγόντων που είναι μεγαλύτερες από την τιμή 0.7 παρουσιάζονται έντονα και πλάγια στον Πίνακα 2.



Σχήμα 3. Χωρική κατανομή των τιμών (factor scores) των κύριων παραγόντων της βροχής, για την υγρή περίοδο (αριστερό γράφημα) και την ξηρή περίοδο (δεξιό γράφημα)

Ο πρώτος κύριος παράγοντας ερμηνεύει το 53.9 % της ολικής μεταβλητότητας και περιλαμβάνει τους μήνες Οκτώβριο–Απρίλιο, που αντιστοιχούν από πλευράς βροχής στην υγρή περίοδο του έτους στα Μεσογειακά κλίματα. Ο δεύτερος κύριος παράγοντας ερμηνεύει το 33.8 % της ολικής μεταβλητότητας και περιλαμβάνει τους μήνες Μάιο–Σεπτέμβριο, που αντιστοιχούν από πλευράς βροχής στην ξηρή περίοδο του έτους στα Μεσογειακά κλίματα. Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται η γεωγραφική απεικόνιση των ισοπληθών των τιμών (factor scores) των δυο κύριων παραγόντων της βροχής, για τις δυο αντίστοιχες περιόδους.



Πίνακας 2. Αποτελέσματα της εφαρμογής της Παραγοντικής Ανάλυσης στις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχής.

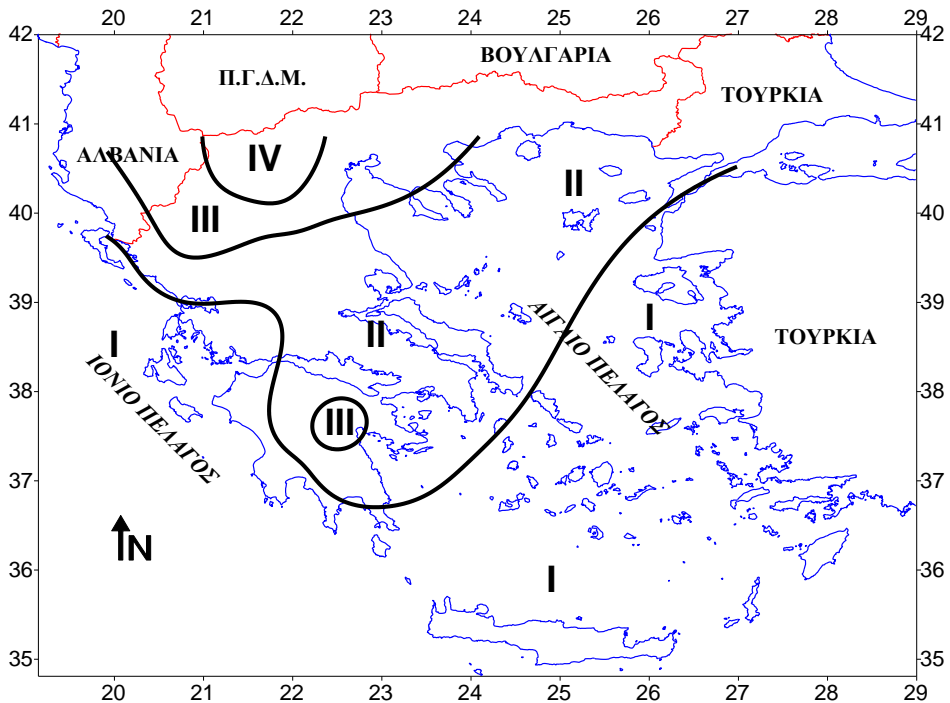
	Θερμοκρασία αέρα		Βροχή	
	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2
Ιανουάριος	<b>0.960</b>	0.269	<b>0.873</b>	-0.302
Φεβρουάριος	<b>0.941</b>	0.331	<b>0.957</b>	-0,091
Μάρτιος	<b>0.895</b>	0.427	<b>0.900</b>	0.112
Απρίλιος	<b>0.760</b>	0.621	<b>0.740</b>	0.608
Μάιος	0.492	<b>0.858</b>	0.140	<b>0.975</b>
Ιούνιος	0.323	<b>0.925</b>	-0.007	<b>0.959</b>
Ιούλιος	0.207	<b>0.971</b>	-0.153	<b>0.963</b>
Αύγουστος	0.322	<b>0.920</b>	0.115	<b>0.968</b>
Σεπτέμβριος	0.619	<b>0.767</b>	0.573	<b>0.643</b>
Οκτώβριος	<b>0.875</b>	0.472	<b>0.827</b>	0.219
Νοέμβριος	<b>0.921</b>	0.314	<b>0.875</b>	0.282
Δεκέμβριος	<b>0.956</b>	0.272	<b>0.944</b>	0.002
<b>Ερμηνευόμενη Ολική μεταβλητότητα</b>	<b>83.3%</b>	<b>14.2%</b>	<b>53.9%</b>	<b>33.8%</b>

γ) **Θερμοκρασία αέρα και Βροχή.** Στην προσπάθεια εξέτασης της συμμεταβολής θερμοκρασίας αέρα και βροχής εφαρμόστηκε η ομαδοποίηση των σταθμών, απο κοινού επι των τεσσάρων εξαχθέντων τιμών των κυρίων παραγόντων (δύο της θερμοκρασίας αέρα και δύο της βροχής) με την μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης (Hierarchical Cluster Analysis) με βάση την Ευκλείδεια Απόσταση (Euclidian distance). Η μέθοδος έδωσε τέσσερις ομάδες σταθμών. Τα στατιστικά χαρακτηριστικά στοιχεία της κάθε ομάδας δίνονται στον Πίνακα 3, ενώ η γεωγραφική απεικόνιση τους στο Σχήμα 4.

Πίνακας 3. Στατιστικά χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας αέρα και βροχής, για κάθε κλιματική ομάδα.

Ομάδες (clusters)	Θερμοκρασία αέρα				Βροχή			
	Μέση	Ελάχιστη	Μέγιστη	Τυπική Απόκλιση	Μέση	Ελάχιστη	Μέγιστη	Τυπική Απόκλιση
1	17.5	16.7	18.6	0.7	687.3	414.9	1096.9	198.9
2	15.8	14.1	18.2	1.5	531.2	376.2	706.1	133.6
3	13.4	13.3	13.5	0.1	949.6	808.0	1091.2	200.3
4	12.2	12.2	12.2	----	524.7	524.7	524.7	-----

Εξετάζοντας το Σχήμα 3 (αριστερό γράφημα), όπου εικονίζεται ο πρώτος κύριος παράγοντας της βροχής παρατηρούμε ότι κατά την υγρή περίοδο του έτους (Οκτώβριος-Απρίλιος), οι βροχές στον Ελληνικό χώρο διατάσσονται ομαλά ελαττούμενες απο τα δυτικά προς τα ανατολικά (λόγω της επίδρασης της δυτικής κυκλοφορίας και της πορείας των υφέσεων), αυξανόμενες και πάλι ελαφρά στα ανατολικά νησιά του Αιγαίου. Στο Σχήμα 3 (δεξιο γράφημα), παρουσιάζεται και ο δεύτερος κύριος παράγοντας της βροχής που αντιστοιχεί στην ξηρή περίοδο του έτους (Μαίος - Σεπτέμβριος). Εδώ τα πράγματα εμφανίζονται ομαλά. Δηλαδή οι βροχές ελαττώνονται βαθμιαία απο τα νότια προς τα βόρεια και αυξάνονται ομαλά πάνω απο τις ορεινές περιοχές τού ηπειρωτικού κορμού της χώρας πράγμα που δείχνει αύξηση της ηπειρωτικότητας οι δε βροχές οφείλονται σε θερμικές καταιγίδες. Οι βροχές αυτές προκαλούνται από βαρομετρικά χαμηλά, στην ανώτερη τροπόσφαιρα κυρίως, σε συνδυασμό με την αστάθεια που τα συνοδεύει και την θαλάσσια αύρα και τις αύρες ορέων-κοιλιάδων. Στα ίδια συμπεράσματα έχουν καταλήξει οι Metaxas et al., (1999) οι οποίοι μελέτησαν την μεταβλητότητα του τύπου της διανομής της βροχής κατά την διάρκεια του έτους στην Ελλάδα.



Σχήμα 4. Περιοχές με ιδιαίτερα κοινά χαρακτηριστικά θερμοκρασίας αέρα και βροχής.

Η απο κοινού ομαδοποίηση των στοιχείων θερμοκρασίας αέρα και βροχής έδωσε τέσσερις ζώνες (ομάδες) στον Ελληνικό χώρο (Σχήμα 4). Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα δυτικά, νότια και ανατολικά παράλια. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι σχετικά υψηλές, με μέση τιμή 17.5 °C, κυμαινόμενες απο 16.7 °C ως 18.6 °C, τα δε μέσα ετήσια ύψη βροχής είναι και αυτά σχετικά υψηλά, με μέση τιμή 687.3 mm, κυμαινόμενα απο 414.9 mm ως 1096.9 mm. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει μεγάλο τμήμα της κεντρικής και ανατολικής βορειοανατολικής χώρας και αποτελεί την προς τα βόρεια συνέχεια της πρώτης. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι μικρότερες της πρώτης, με μέση τιμή 15.8 °C, κυμαινόμενες απο 14.1 °C ως 18.2 °C, τα δε μέσα ετήσια ύψη βροχής είναι και αυτά μικρότερα, με μέση τιμή 531.2 mm, κυμαινόμενα απο 376.2 mm ως 706.1 mm. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει μικρό τμήμα της

κεντρικής και βορειοβορειοδυτικής, αποτελεί την προς τα βόρεια συνέχεια της δεύτερης. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι μικρότερες της δεύτερης, με μέση τιμή 13.4 °C, κυμαινόμενες από 13.3 °C ως 13.5 °C, τα δε μέσα ετήσια ύψη βροχής είναι μεγάλα, με μέση τιμή 949.5 mm, κυμαινόμενα από 808.0 mm ως 1091.2 mm. Τέλος η τέταρτη ομάδα περιλαμβάνει ένα πολύ μικρό τμήμα της βορειο-βορειοδυτικής χώρας και αποτελεί την προς τα βόρεια συνέχεια της τρίτης. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι οι πιο μικρές στον Ελληνικό χώρο, με μέση τιμή 12.2 °C, τα δε μέσα ετήσια ύψη βροχής είναι σχετικά πολύ μικρά 524.6 mm. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι κλιματικές υποπεριοχές που προέκυψαν δείχνουν εξάρτηση από το γεωγραφικό πλάτος, την ηπειρωτικότητα καθώς και τον προσήνεμο ή υπήνεμο χαρακτήρα τους. Ο τελευταίος παράγοντας είναι καθοριστικός για το βροχομετρικό καθεστώς της δυτικής Ελλάδας, λόγω της μακράς οροσειράς της Πίνδου, η οποία είναι κάθετη στην δυτική κυκλοφορία των βροχομετρικών συστημάτων κατά τον χειμώνα αφενός, και αφετέρου δημιουργεί φυσικό εμπόδιο στη πνοή των Επείσων ανέμων που δεν επηρεάζουν κλιματικά τη δυτική Ελλάδα κατά το θέρος.

Παρόμοια αποτελέσματα αλλά σε εποχική βάση, αναφέρουν οι Nastos et al. (2002), οι οποίοι μελετώντας την συμμεταβολή των καθεστώτων θερμοκρασίας και βροχής στην Ελλάδα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κατά τον χειμώνα εμφανίζονται δύο χαρακτηριστικοί συνδυασμοί. Ο πρώτος αφορά υψηλές θερμοκρασίες σχεδόν σε όλη την Ελλάδα και μεγάλα ποσά βροχής στα δυτικά, βόρεια και ανατολικά της χώρας. Αυτό οφείλεται στη διέλευση των υφέσεων πάνω από την Ελλάδα. Ο δεύτερος συνδυασμός δείχνει χαμηλές θερμοκρασίες στα βόρεια και μεγάλα ποσά βροχής στο νότιο Αιγαίο Πέλαγος, που οφείλεται στη διέλευση υφέσεων κυρίως στα νότια της χώρας, οι οποίες επηρεάζουν την χώρα με το βόρειο τομέα τους. Την άνοιξη και το θέρος επικρατεί αντίστροφη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και βροχής, επειδή οι υφέσεις κινούνται βορειότερα και το φθινόπωρο υψηλές θερμοκρασίες στο νοτιο-ανατολικό Αιγαίο Πέλαγος συνδέονται με μεγάλα ποσά βροχής στο βόρειο και κεντρικό Αιγαίο Πέλαγος.

#### 4. Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξάγονται από την ανάλυση της χωρικής συμμεταβολής της θερμοκρασίας αέρα και βροχής στον ελληνικό χώρο, με εφαρμογή πολυμεταβλητών μεθόδων ανάλυσης είναι τα εξής:

α) Τα δυτικά, νότια και ανατολικά παράλια της χώρας εμφανίζουν σχετικά υψηλές μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας, και σχετικά υψηλές μέσες βροχοπτώσεις μεγάλης διακύμανσης.

β) Μεγάλο τμήμα της κεντρικής και ανατολικής-βορειοανατολικής χώρας εμφανίζει μέτριες μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας αέρα μεγάλης διακύμανσης και μέτρια μέσα ύψη βροχής μεγάλης σχετικά διακύμανσης.

γ) Μικρό μέρος της κεντρικής και βορειοδυτικής χώρας παρουσιάζει σχετικά μικρές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες πολύ μικρής διακύμανσης με υψηλά μέσα ύψη βροχής μικρής επίσης διακύμανσης.

δ) Πολύ μικρό μέρος της βόρειας-βορειοδυτικής χώρας έχει τις πιο χαμηλές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες και μέτριες μέσες βροχοπτώσεις.

#### Βιβλιογραφία

Κανελλοπούλου Ε.Α., Π.Θ. Νάστος Π.Θ. και Κ.Μ. Φιλάνδρας, 1996: Συσχέτιση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα με την βροχή στον Ελλαδικό χώρο. 3ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 25-27 Σεπτεμβρίου 1996, Αθήνα.

Νάστος Π.Θ., 1995: Επίδραση φυσικογεωγραφικών παραγόντων στο θερμοκρασιακό καθεστώς του αέρα στην Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και

## Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Amanatidis G.T., C.C. Repapis and A.G. Paliatsos, 1997: Precipitation trends and periodicities in Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 314-319.

Feidas H., C. Nouloupoulou, T. Makrogiannis and E. Bora-Senta, 2007: Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 87, 155–177 (2007)

Feidas, H., T. Makrogiannis, E. Bora-Senta, 2004: Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 79(3-4), 185-208.

Flocas H.A., K. Tolika, C. Anagnostopoulou, I. Patrikas, P. Maheras, M. Vafiadis, 2005: Evaluation of maximum and minimum temperature of NCEP-NCAR reanalysis data over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 80(1), 49-65.

Fotiadi A.K., D.A. Metaxas and A. Bartzokas, 1999: A statistical study of Precipitation in NW Greece. *International Journal of Climatology*, 19, 1221-1232.

Giles B.D. and A.A. Flocas, 1984: Air Temperature variations in Greece. Part 1. Persistence, Trend, And Fluctuations. *International Journal of Climatology*, 4, 531-539.

Jolliffe I., 1986: *Principal Component Analysis*, Springer, New York.

**Jolliffe I., 1990: *Principal component analysis: a beginner's guide*—Introduction and application. *Weather*, 45, 375–382.**

Luterbacher J., E. Xoplaki, R. Burgard, C. Schmutz, 2000: Connection between the large scale lower atmospheric circulation and the winter temperature variability over Greece: 1957–1997. *Proc. 5th Greek Scientific Conference in Meteorology Climatology-Atmospheric Physics*. Athens, 28–30 September 1998.

Maheras P., K. Tolika, C. Anagnostopoulou, M. Vafiadis, I. Patrikas and H. Flocas, 2004: On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology*, 24, 1695–1712.

Maheras, P., H. Flocas, K. Tolika, C. Anagnostopoulou, 2006: Circulation types and extreme temperature changes in Greece. *Climate Research Climate Research*, 30(2), 161-174.

Manly B.F.J., 1986: *Multiariate Statistical Methods: A Primer*, Chapman and Hall, London.

Metaxas D.A., A. Bartzokas and A. Vitsas, 1991: Temperature Fluctuations in the Mediterranean Area during the last 120 years. *International Journal of Climatology*, 11, 897-908.

Metaxas D.A., C.M. Philandras, P.T. Nastos, and C.C. Repapis, 1999: Variability of precipitation pattern in Greece during the year. *Fresenius Environmental Bulletin*, 8, 1-6.

Nastos P.T., 1993: Changements de la pluviosite en region Hellenique pendant la periode 1858-1992. **Publication De L'Association Internationale De Climatologie**, 6, 183-190.

Nastos P.T., C.M. Philandras, C.C. Repapis, 2002: Application of Canonical Analysis to Air Temperature and Precipitation Regimes over Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 11(8), 488-493.

Paliatsos A.G., Nastos P.T., Tzavelas G. and Panagiotakos D.B., 2005: Characteristics of precipitation in the Athens area, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14(7), 1-7.

Proedrou M., G. Theoharatos and C. Cartalis, 1997: Variations and trends in annual and seasonal air temperature in Greece determined from ground and satellite measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 57, 65-78.

Repapis C.C. and C. M. Philandras, 1988: A note on the air temperature trends of the last 100 years, as evidenced in the Eastern Mediterranean time series. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 93-107.

Repapis C.C., G.T. Amanatidis, A.G. Paliatsos and H.T. Mantis 1993: Coherence spatiale **des precipitations en Grece. Publication De L'Association Internationale De Climatologie**, 6, 333-340.

Richman M., 1986: Rotation of P.C.A. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.

Sahsamanoglou H.S., T.J. Makrogiannis, 1992: Temperature trends over the Mediterranean region, 1950-1988. *Theoretical and Applied Climatology*, 45, 183-192.

Xoplaki E, J. Luterbacher, R. Burkard, I. Patrikas and P. Maheras, 2000: Connection between the large scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime. *Climate Research*, 14, 129-126.

## ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΕΥΚΗΣ (*PINUS HALEPENSIS* SSP. *HALEPENSIS*) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Παπαδόπουλος Α.<sup>1</sup>, Τολικά Κ.<sup>2</sup>, Παντέρα Α.<sup>1</sup>, Μαχάρας Π.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, 36100 Καρπενήσι

<sup>2</sup>Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη

### Περίληψη

Η επίδραση των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στο πλάτος των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης του λεκανοπεδίου Αττικής, αναλύεται με τη χρήση δεικτών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίοι κλιματικοί δείκτες των μετεωρολογικών σταθμών Αστροσκοπείο Αθηνών και Ελληνικό και οι δείκτες του πλάτους των δακτυλίων δυο πληθυσμών χαλεπίου πεύκης στο Λυκαβητό και την Ηλιούπολη για την περίοδο 1958-2000. Οι σχέσεις απόκρισης που υπολογίστηκαν δείχνουν ότι υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση του δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων με το πλάτος των δακτυλίων για τους μήνες Οκτώβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο της περιόδου πριν την έναρξη σχηματισμού του δακτυλίου και τις βροχοπτώσεις του Μαΐου του έτους σχηματισμού του δακτυλίου και αρνητική με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών του Οκτωβρίου και Απριλίου. Χαρακτηριστικά έτη με στενούς ή πλατείς δακτυλίους δεν συγχρονίζονται πάντα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών για τους μήνες όπου υπάρχει συσχέτιση.

### Abstract

The effect of extreme rainfalls and temperatures on Aleppo pine ring-width of the Attica basin, is analyzed based on indicators. Specifically, the indicators used were the monthly climatic ones derived from the meteorological stations National Observatory of Athens and Elliniko and the indicators of ring-widths of two populations of Aleppo pine located at Lykavittos and Heliopolis, for the time-period 1958-2000. The response functions calculated show a powerful positive correlation between the extreme rainfalls indicator with the ring-widths of October, January, and February before the commencement of ring formation as well as with May rainfalls of the ring-formation year, and a negative correlation with the October and April extreme temperatures indicators. Characteristic years of narrow or wide tree-rings, do not always synchronise with the highest and lowest indicators of extreme rainfalls and temperatures, for the months where a correlation was noted.

**Λέξεις κλειδιά:** δενδροκλιματολογία, χαλέπιος πεύκη, Αττική.

**Key words:** dendrochronology, Aleppo pine, Attica.

### 1. Εισαγωγή

Το πλάτος των ετησίων δακτυλίων ποικίλει ανάλογα με τις εκάστοτε ετήσιες κλιματικές συνθήκες και ανάλογα με τις εκάστοτε φυσικές ή ανθρωπογενείς επιδράσεις και γενικότερα τις μεταβολές του περιβάλλοντος (Fritts 1976, Schweingruber 1996). Η σχέση αυτή κλίματος - αύξησης οδήγησε στην ανάπτυξη της δενδροκλιματολογίας που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που περιέχονται μέσα στους χρονολογημένους ετησίους δακτυλίους των δένδρων με σκοπό τη μελέτη και ανακατασκευή της μεταβλητότητας του κλίματος στο παρελθόν και το παρόν (Kaennel and Schweingruber 1995).

Η χαλέπιος πεύκη, είδος χαρακτηριστικό της μεσογείου, αποτέλεσε συχνά το αντικείμενο

δενδροκλιματολογικών μελετών σε διάφορες χώρες της λεκάνης της Μεσογείου (Lev-Yadun et al. 1981, Serre-Bachet 1982, 1992, Rathgeber et al. 2003) αλλά και στη χώρα μας (Papadopoulos 1993, Παπαδόπουλος 2002, Papadopoulos et al. 2001, Παπαδόπουλος και συν. 2006). Στις παραπάνω εργασίες αναλύεται η ευαισθησία των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης στις κλιματικές μεταβολές και καθορίζονται οι σχέσεις κλίματος-αύξησης με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση κλιματικών δεικτών που αφορούν στις ακραίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής.

## 2. Δεδομένα – Μεθοδολογία

### 2.1. Δενδροχρονολογικά δεδομένα

Τα δενδροχρονολογικά δεδομένα είναι μέσες χρονοσειρές δεικτών του πλάτους των δακτυλίων των δένδρων, της περιόδου 1958-2000, από δυο τοποθεσίες αστικών δασών χαλεπίου πεύκης του λεκανοπεδίου της Αττικής, που αναφέρονται ως πληθυσμοί χαλεπίου πεύκης (Σχ. 1). Τα δεδομένα προέκυψαν από την ανάλυση και μέτρηση τους πλάτους των ετησίων δακτυλίων (mm/100) κυλινδρικών δειγμάτων ξύλου (τρυπανίδια) που λαμβάνονται σε ύψος 1,30 μ. από τη βάση του κορμού. Ο πληθυσμός T1 βρίσκεται στο άλσος Λυκαβηττού και περιλαμβάνει 12 δένδρα από τα οποία ελήφθησαν 21 τρυπανίδια, ενώ ο πληθυσμός T2 βρίσκεται στο άλσος Ηλιοπούλης και περιλαμβάνει 10 δένδρα από τα οποία ελήφθησαν 15 τρυπανίδια, σε κάθε περίπτωση 1 ή 2 τρυπανίδια ανά δένδρο. Η μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε δείκτες έγινε για κάθε στοιχειώδη χρονοσειρά (είναι η χρονοσειρά που αντιστοιχεί στις μετρήσεις των δακτυλίων ενός τρυπανιδίου) με τη βοήθεια αυτοσυσχετιζόμενων και κινητού μέσου όρου μοντέλα (ARMA) ειδικά προσαρμοσμένα για δενδροχρονολογικές αναλύσεις (Guiot 1990). Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για την απαλοιφή του φαινομένου μείωσης του πλάτους των δακτυλίων με την αύξηση της ηλικίας των δένδρων, καθώς και για την ανάδειξη του κλιματικού σήματος που περικλείουν οι δακτύλιοι (Fritts 1976, Cook et al. 1989).



Σχήμα 1. Χάρτης της Αττικής με τη θέση των 2 πληθυσμών χαλεπίου πεύκης: T1. Λυκαβηττός και T2. Ηλιοπούλη, καθώς και των θέσεων των 2 μετεωρολογικών σταθμών: ΑΣΤΕΡ. Αστεροσκοπείο Αθηνών, ΕΛΛΗΝ. Ελληνικό.

## 2.2. Κλιματικά δεδομένα – Ακραίοι δείκτες

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αποτελούν ημερήσιες χρονοσειρές υψών βροχής, μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών για δύο χαρακτηριστικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης: α) του Αστεροσκοπείου Αθηνών (Αθήνα) και β) του Ελληνικού. Καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 1958 ως το 2000, δεν περιέχουν κενά και έχουν ελεγχθεί ως προς τα θέματα ομοιογένειας. Εφαρμόζοντας σε μηνιαία βάση το τεστ ομοιογένειας Alexandersson (Alexandersson, 1986) κρίθηκαν και οι δύο σταθμοί ομοιογενείς.

Με σκοπό την ανάλυση και μελέτη της επίδρασης των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών επιλέχτηκαν τέσσερις δείκτες (2 για τη βροχόπτωση και 2 για τη θερμοκρασία). Η περιγραφή των δεικτών, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους γίνεται στον πίνακα 1. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι οι επιλεγμένοι δείκτες αποτελούν ποσοστιαία σημεία ή αριθμό ακραίων επεισοδίων και όχι κατανομών. Οι ακραίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες υπολογίζονται με τη βοήθεια κατωφλίων και ποσοστών, έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμοι και συγκρίσιμοι σε διάφορες περιοχές και με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά. Οι χρονοσειρές των δεικτών που προέκυψαν είναι σε μηνιαία βάση για όλη την περίοδο μελέτης (1958-2000).

Πίνακας 1. Περιγραφή και υπολογισμός των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

	Δείκτης	Περιγραφή	Υπολογισμός
Βροχόπτωση	<b>Pq90</b>	9 <sup>ο</sup> δεκατημόριο της βροχόπτωσης (mm/ημέρα)	Έστω $R_{wv90}$ το ένατο δεκατημόριο της βροχόπτωσης των ημερών βροχής για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Pq90 = R_{wv90}$
	<b>Pxcdd</b>	Μέγιστη ακολουθία ξηρών ημερών	Έστω $R_{ij}$ το ημερήσιο ποσό βροχής της ημέρας $i$ για την περίοδο $j$ . Υπολογίζεται η μεγαλύτερη ακολουθία συνεχόμενων ημερών όπου: $R_{ij} <$ κατώφλι (1mm)
Θερμοκρασία	<b>Txq90</b>	9 <sup>ο</sup> δεκατημόριο της μέγιστης θερμοκρασίας (°C)	Έστω $T90th$ το ένατο δεκατημόριο των μεγίστων θερμοκρασιών για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Txq90 = T90th$
	<b>Tnq10</b>	1 <sup>ο</sup> δεκατημόριο της ελάχιστης θερμοκρασίας (°C)	Έστω $T10th$ το πρώτο δεκατημόριο των ελαχίστων θερμοκρασιών για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Tnq10 = T10th$

## 2.3. Σχέσεις κλιματικών και δεικτολογικών δεδομένων

Ο υπολογισμός των σχέσεων μεταξύ των κλιματικών δεικτών και των δεικτών του πλάτους των δακτυλίων έγινε με τη βοήθεια των σχέσεων απόκρισης (response function) και τη χρήση της μεθόδου της ορθογωνικής παλινδρόμησης σε συνδυασμό με τη διαδικασία Bootstrap (Guiot, 1990). Κάθε μέση χρονοσειρά δεικτών πλάτους δακτυλίων (εξαρτημένη μεταβλητή) συσχετίστηκε με 24 μηνιαίες κλιματικές παραμέτρους (ανεξάρτητες μεταβλητές) που περιλαμβάνουν τους συνδυασμούς των δεικτών ( $Pq90 - Txq90$ ) και ( $Pq90 - Tnq10$ ). Ο υπολογισμός των σχέσεων έγινε για την περίοδο των υδρολογικών ετών από 1958-59 έως 1999-2000 (Οκτώβριος έτους  $n-1$  έως Σεπτέμβριος έτους  $n$ ).

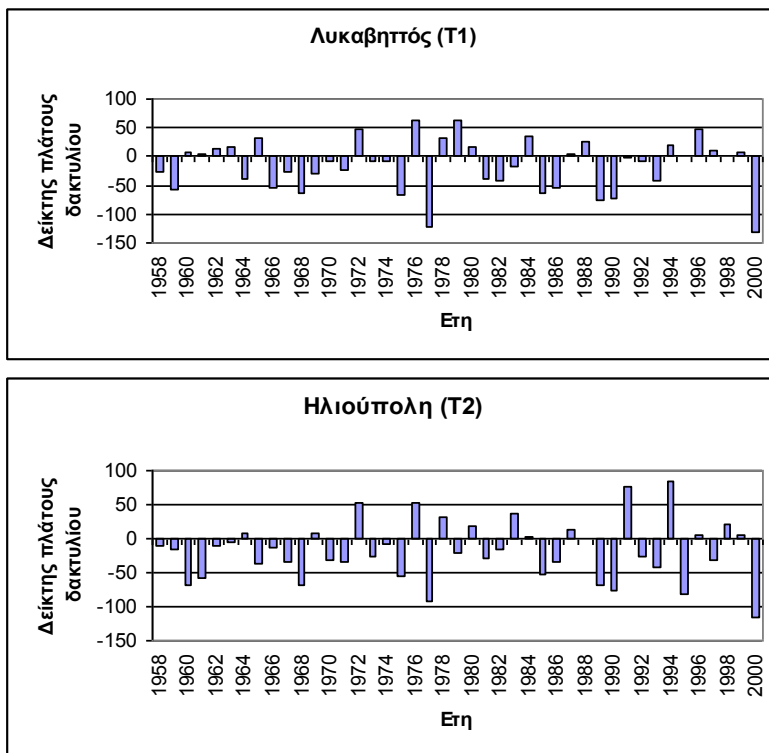
## 3. Αποτελέσματα

### 3.1. δεικτολογική μελέτη

Από την παρουσίαση σε ιστόγραμμα των τιμών των μέσων χρονοσειρών των δεικτών του



πλάτους των δακτυλίων των δυο πληθυσμών χαλεπίου πεύκης για την εξεταζόμενη περίοδο 1958-2000 μπορούμε να διακρίνουμε τους στενούς (αρνητικές τιμές) και πλατείς (θετικές τιμές) δακτύλιους (Σχ. 2). Οι κυριότεροι χαρακτηριστικοί δακτύλιοι είναι: πληθυσμός T1 (Λυκαβηττός): στενοί δακτύλιοι: 1977, 1989 1990 και 2000, πλατείς δακτύλιοι: 1976 και 1979, πληθυσμός T2 (Ηλιούπολη) : στενοί δακτύλιοι:, 1977, 1990, 1995, και 2000, πλατείς δακτύλιοι: 1991 και 1994.



Σχήμα 2. Μέσες χρονοσειρές δεικτών πλάτους δακτυλίων των 2 πληθυσμών χαλεπίου πεύκης.

### 3.2. Κλιματική μελέτη των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

Με σκοπό τη λεπτομερή μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών, ώστε να βρεθεί η σχέση που μπορεί να παρουσιάζουν με την ανάπτυξη των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης στην περιοχή, υπολογίστηκαν σε μηνιαία βάση, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των δεικτών, καθώς και της βροχόπτωσης, της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας. Προσδιορίστηκαν επίσης και τα έτη όπου εμφανίστηκαν οι τιμές αυτές, ώστε να βρεθεί αν υπάρχει κάποια σύμπτωση και επίδραση των ακραίων τιμών των δεικτών με τις αντίστοιχες ακραίες τιμές των κλιματικών παραμέτρων. Η ανάλυση αυτή έγινε, διότι, με εξαίρεση τις μέγιστες ξηρές ακολουθίες, όλοι οι υπόλοιποι δείκτες εκφράζουν ημερήσιες τιμές οπότε είναι πολύ δύσκολο να ερευνηθεί και να εντοπιστεί αν μια τέτοια τιμή μπορεί να έχει επίδραση στην ανάπτυξη των δακτυλίων ενός δέντρου. Στον ακόλουθο πίνακα, παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν στη βροχόπτωση και τους ακραίους δείκτες της (Πίνακας 2). Τα σκιασμένα κελιά στην περίπτωση των δεικτών δείχνουν που υπάρχει συμφωνία στο έτος εμφάνισης της μέγιστης ή της ελάχιστης τιμής του δείκτη με τις αντίστοιχες τιμές των μηνιαίων

υψών βροχής. Τα αντίστοιχα σκιασμένα κελιά στα ύψη βροχής δείχνουν για ποιους μήνες υπάρχει συμφωνία μεταξύ και των τριών παραμέτρων (Rq90, Pxcdd και μηνιαία ύψη βροχής), και οι περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω σε σχέση με την επίδραση που μπορεί να επιφέρουν στο πλάτος των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης. Φανερό είναι ότι η μέγιστη τιμή του δείκτη Rq90 συσχετίζεται με την ελάχιστη τιμή του Pxcdd και με το μέγιστο ύψος βροχής του αντίστοιχου μήνα.

Έτσι, στην περίπτωση του σταθμού του Αστεροσκοπείου των Αθηνών (Αθήνα) σε τέσσερις μήνες εμφανίστηκε αυτή η αντιστοιχία. Το Φεβρουάριο, το έτος 1965, ο δείκτης Rq90 παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του (34.1mm), ο δείκτης Pxcdd τη μικρότερη τιμή του, μόλις 3 μέρες αλλά και το ύψος βροχής του μήνα αυτού ήταν μέγιστο κατά το έτος αυτό με τιμή 137.0 mm. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και για τον Ιούνιο του 1968 όπου ο δείκτης Rq90 εμφάνισε μέγιστο (39.2mm), ο Pxcdd ελάχιστη τιμή (8 μέρες) και η βροχόπτωση του μήνα ήταν μέγιστη με 60.0 mm. Αντίθετα τους μήνες Μάρτιο και Οκτώβριο για τα έτη 1990 και 1993 αντίστοιχα εντοπίστηκε η αντίστροφη συμφωνία. Δεν μετρήθηκε καθόλου βροχόπτωση, οπότε ο δείκτης Rq90 και το μηνιαίο ύψος ήταν μηδενικό, ενώ ο δείκτης των ξηρών ακολουθιών παρουσίασε μέγιστο 31 ημερών. Στο σταθμό του Ελληνικού εντοπίστηκαν τρεις περιπτώσεις με έντονη ξηρασία (τον Μάρτιο και τον Μάιο του 1990 καθώς και τον Οκτώβριο (1963, 1990) καθώς και μια περίπτωση ακραίων βροχοπτώσεων το Σεπτέμβριο του 1978 όπου ο δείκτης Rq90 εμφάνιζε το μέγιστο με 30.5mm, η μέγιστη ξηρή ακολουθία είχε τη μικρότερη διάρκεια (8 ημέρες) και το μηνιαίο ύψος βροχής του μήνα ήταν το μεγαλύτερο όλων των Σεπτεμβρίων της περιόδου μελέτης, φτάνοντας τα 69.4 χιλιοστά.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν για την περίπτωση των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών φαίνονται στον Πίνακα 3 (α,β). Εδώ, οι αντιστοιχίες προέκυψαν από τη σύγκριση του δείκτη Tq90 και των μέσων μηνιαίων μεγίστων θερμοκρασιών, καθώς και ανάμεσα στο δείκτη Tq10 και στις μέσες μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες, για όλους τους μήνες για τους δύο εξεταζόμενους σταθμούς. Στόχος ήταν σε αυτή την περίπτωση να βρεθεί αν κατά κάποιο τρόπο οι ακραίες τιμές των δεικτών (μέγιστες ή ελάχιστες) αντικατοπτρίζουν ή επιδρούν στη διαμόρφωση των ακραίων τιμών των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών. Στην Αθήνα, ταύτιση μεταξύ της μέγιστης τιμής του Tq90 και των T<sub>max</sub> εμφανίζεται για τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο για τα έτη αντίστοιχα 1994, 1984 και 2000. Η συμφωνία των ακραίων ελαχίστων τιμών του δείκτη και των αντίστοιχων ελαχίστων τιμών των T<sub>max</sub> είναι μεγαλύτερη, και παρατηρήθηκε για έξι μήνες (Μάρτιο, Μάιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο). Αντίστοιχα, φαίνονται και τα αποτελέσματα για το Ελληνικό. Χαρακτηριστικό είναι ότι για τις ακραίες μέγιστες τιμές του δείκτη Tq90 και των μέσων μεγίστων θερμοκρασιών βρέθηκε μόνο μια αντιστοιχία για το μήνα Μάιο του 1968 (Πίνακας 3α).

Οι ακραίες μέγιστες τιμές του δείκτη των ελαχίστων θερμοκρασιών (Tq10) πιθανόν να επιδρούν περισσότερο στις αντίστοιχες μέγιστες τιμές των μέσων ελαχίστων μηνιαίων θερμοκρασιών αφού οι αντιστοιχίες που προέκυψαν είναι περισσότερες σε σχέση με αυτές που αφορούν στις ελάχιστες τιμές τους. Για παράδειγμα, για το σταθμό της Αθήνας προέκυψε ότι ο δείκτης Tq10 και οι T<sub>min</sub> παρουσίασαν τις μέγιστες τιμές τους συγχρόνως, τους μήνες Μάιο (1968), Ιούνιο (1999), Αύγουστο (1998), Σεπτέμβριο (1994), Οκτώβριο (1966) και Δεκέμβριο (1960). Για τις αντίστοιχες ελάχιστες ακραίες τιμές τους, ο δείκτης και οι T<sub>min</sub> παρουσίασαν για λιγότερες περιπτώσεις συμφωνία. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγαλύτερη συμφωνία για τα έτη και τους μήνες εμφάνισης των ακραίων τιμών ανάμεσα και στους δύο σταθμούς μελέτης, γεγονός το οποίο δεν είχε παρατηρηθεί στην αντιστοιχία ανάλυση των βροχοπτώσεων.

Πίνακας 2. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των επιλεγμένων δεικτών βροχής καθώς και των μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους δύο σταθμούς. Στις παρενθέσεις παρατίθενται τα έτη εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των παραμέτρων. Τα σκιασμένα κελιά των δεικτών δείχνουν τους μήνες όπου υπάρχει συμφωνία στα έτη εμφάνισης των ακραίων τιμών σε σχέση με τη βροχόπτωση. Τα σκιασμένα κελιά των μηνιαίων βροχοπτώσεων δείχνουν τη συμφωνία και με τους δύο δείκτες ταυτόχρονα.

Δείκτες βροχόπτωσης- Μηνιαία βροχόπτωση

Αθήνα								Ελληνικό						
Δείκτης Ρq90			Δείκτης Ρxcdd			Μην. Βροχόπτωση		Δείκτης Ρq90			Δείκτης Ρxcdd			Μην. Βροχόπτωση
Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέγ. Τιμή
12.1	38.2 (1997)	1.4 (1992)	10	20 (1983/92)	3 (1996)	102.0 (1994)	1.9 (1983)	12.3	28.7 (1997)	1.5 (1992)	11	22 (1989)	4 (1966/70/96)	126.0 (1994)
12.1	34.1 (1965)	0.4 (1959)	9	22 (1998)	3 (1965)	137.0 (1965)	0.9 (1959)	12.1	32.9 (1988)	0.4 (1959)	9	19 (1958)	3 (1965)	129.3 (1988)
12.5	41.3 (1999)	0.0 (1990)	11	31 (1990)	5 (1996/97)	172.2 (1999)	0.0 (1990)	12.0	37.3 (1961)	0.7 (1990)	11	30 (1990)	5 (1958)	205.3 (1998)
9.3	36.8 (1987)	0.6 (1979)	12	24 (1998)	5 (1958/78/84)	116.3 (1984)	0.7 (1979)	10.2	50.1 (1987)	0.5 (1970)	12	24 (1998)	4 (1978)	112.7 (1984)
6.7	23.0 (1994)	0.5 (1990)	15	30 (1997)	6 (1991/93)	86.3 (1963)	0.8 (1990)	6.5	25.5 (1994)	0.0 (1990)	17	31 (1990)	8 (1960/91/93)	71.0 (1963)
5.4	39.2 (1968)	0.0	21	30	8 (1968)	60.0 (1968)	0.0	4.0	18.0 (1986)	0.0	21	30	11 (1964/65)	37.1 (1986)
3.8	29.1 (1999)	0.0	26	31	11 (1972)	41.7 (1999)	0.0	4.9	45.9 (1983)	0.0	27	31	9 (1959)	60.7 (1999)
3.5	17.2 (1976)	0.0	24	31	9 (1996)	29.6 (1975)	0.0	5.2	63.5 (1972)	0.0	25	31	10 (1975)	73.0 (1972)
5.3	35.1 (1962)	0.0	21	30	7 (1996)	78.7 (1962)	0.0	4.7	30.5 (1978)	0.0	22	30	8 (1978)	69.4 (1978)
14.4	43.4 (1994)	0.0 (1969/93)	14	31 (1993)	5 (1963)	147.2 (1972)	0.0 (1993)	15.2	48.6 (1978)	0.0 (1969/93)	15	31 (1969/93)	5 (1963)	151.8 (1972)
16.3	66.3 (1977)	2.3 (1961/86)	11	29 (1972)	4 (1962)	184.7 (1998)	2.7 (1972)	17.3	45.0 (1998)	4.1 (1989)	11	26 (1969/78)	4 (1979/93)	203.2 (1993)
15.8	46.8 (1978)	1.4 (1958)	8	20 (1972)	3 (1969/75)	144.2 (1975)	5.4 (1958)	14.9	31.6 (1994)	1.2 (1958)	9	21 (1986)	4 (1975)	148.1 (1975)

Πίνακας 3. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών και των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών για τους δύο σταθμούς μελέτης, για όλους τους μήνες. Στις παρενθέσεις παρατίθενται τα έτη εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των παραμέτρων. Τα κελιά που είναι γραμμοσκιασμένα δείχνουν για ποιος μήνας υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στην εμφάνιση των ακραίων τιμών του δείκτη και των ακραίων τιμών των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών αντίστοιχα.

α) Δείκτες Μεγίστων Θερμοκρασιών – Μέγιστες Θερμοκρασίες								
	Αθήνα				Ελληνικό			
	Μέγ. Τχq90	Ελάχ. Τχq90	Μεγ. Tmax	Ελαχ. Tmax	Μέγ. Τχq90	Ελάχ. Τχq90	Μεγ. Tmax	Ελαχ. Tmax
<b>Ιαν</b>	19.0 (1979)	13.4 (1974)	15.1 (1986)	10.1 (1964)	19.6 (1963)	13.4 (1974)	15.2 (1962)	10.9 (2000)
<b>Φεβ</b>	20.7 (1990)	14.6 (1982)	17.6 (1977)	11.0 (1993)	20.0 (1960)	14.6 (1982)	18.0 (1966)	11.3 (1993)
<b>Μαρ</b>	24.4 (1977)	16.6 (1996)	19.8 (1990)	11.9 (1996)	21.7 (1977)	15.6 (1996)	18.4 (1990)	11.8 (1987)
<b>Απρ</b>	27.2 (1985)	20.3 (1984)	23.5 (1989)	17.4 (1997)	24.8 (1970)	19.8 (1997)	21.6 (1961)	16.7 (1997)
<b>Μαιος</b>	35.2 (1994)	25.6 (1991)	28.1 (1998)	23.4 (1991)	31.2 (1968)	24.0 (1991)	27.1 (1968)	21.7 (1987)
<b>Ιουν</b>	37.7 (1997)	30.7 (1983)	33.7 (1998)	27.9 (1967)	35.2 (2000)	29.0 (1983)	31.7 (1999)	26.7 (1983)
<b>Ιουλ</b>	42.5 (2000)	32.4 (1976)	36.4 (1999)	30.0 (1969)	38.6 (2000)	31.6 (1976)	34.3 (1998)	29.8 (1976)
<b>Αυγ</b>	40.2 (1999)	31.8 (1976)	35.6 (1998)	29.5 (1976)	37.4 (1999)	30.6 (1976)	34.3 (1998)	28.7 (1976)
<b>Σεπτ</b>	35.2 (1994)	29.6 (1978)	33.2 (1994)	26.5 (1978)	33.7 (1969)	28.5 (1978)	32.0 (1994)	25.7 (1978)
<b>Οκτ</b>	32.0 (1984)	23.5 (1959)	26.8 (1984)	20.1 (1959)	30.0 (1965)	24.0 (1977)	27.2 (1967)	20.9 (1959)
<b>Νοεμ</b>	25.9 (2000)	18.0 (1978)	21.7 (2000)	14.8 (1988)	24.8 (1990)	17.6 (1978)	21.9 (1960)	15.3 (1988)
<b>Δεκ</b>	20.7 (1963)	14.6 (1991)	17.5 (1960)	9.9 (1991)	21.4 (1964)	14.6 (1991)	18.5 (1960)	10.5 (1991)

β) Δείκτες Ελαχίστων Θερμοκρασιών – Ελάχιστες Θερμοκρασίες								
	Αθήνα				Ελληνικό			
	Μέγ. Τηq10	Ελάχ. Τηq10	Μεγ. Tmin	Ελαχ. Tmin	Μέγ. Τηq10	Ελάχ. Τηq10	Μεγ. Tmin	Ελαχ. Tmin
<b>Ιαν</b>	6.0 (1971)	-0.6 (1963)	8.8 (1970)	4.0 (1964)	6.5 (1971)	0.2 (1968)	9.4 (1970)	4.6 (1964)
<b>Φεβ</b>	7.8 (1966)	-1.4 (1983)	10.0 (1977)	4.1 (1983)	7.5 (1977)	-1.8 (1983)	10.1 (1977)	4.0 (1983)
<b>Μαρ</b>	7.5 (1978)	-1.4 (1987)	10.4 (1979)	4.3 (1987)	7.8 (1975)	-0.2 (1997)	10.6 (1962)	4.8 (1987)
<b>Απρ</b>	12.0 (1989)	5.5 (1997)	14.0 (2000)	9.0 (1997)	11.4 (1968)	5.3 (1990)	13.7 (1961)	9.0 (1994)
<b>Μαιος</b>	16.2 (1968)	10.4 (1988)	18.8 (1968)	13.9 (1987)	16.0 (1968)	10.0 (1984)	18.2 (1968)	13.7 (1982)
<b>Ιουν</b>	20.8 (1999)	15.2 (1980)	23.0 (1999)	18.7 (1983)	20.0 (1999)	15.2 (1984)	21.7 (1999)	17.9 (1984)
<b>Ιουλ</b>	23.0 (1999)	17.8 (1984)	25.4 (2000)	21.0 (1985)	22.6 (1988)	17.4 (1984)	25.1 (1988)	20.2 (1984)
<b>Αυγ</b>	23.4 (1998)	18.0 (1984)	25.4 (1998)	19.9 (1976)	23.0 (1966)	17.6 (1984)	24.7 (1962)	20.1 (1984)
<b>Σεπτ</b>	20.8 (1994)	14.0 (1977)	22.3 (1994)	17.6 (1978)	19.8 (1975)	14.5 (1970)	21.6 (1994)	18.1 (1978)
<b>Οκτ</b>	16.6 (1966)	7.8 (1971)	18.2 (1966)	12.2 (1985)	17.4 (1966)	8.8 (1971)	19.3 (1966)	12.7 (1959)
<b>Νοεμ</b>	12.2 (1960)	3.6 (1976)	14.3 (2000)	8.3 (1988)	12.0 (1966)	3.9 (1976)	14.7 (1966)	9.3 (1988)
<b>Δεκ</b>	8.8 (1960)	1.1 (1991)	11.5 (1960)	4.7 (1991)	9.0 (1960)	1.6 (1991)	11.7 (1960)	5.0 (1991)

#### 4. Μελέτη των σχέσεων κλίματος – αύξησης

Ο υπολογισμός των σχέσεων κλίματος - αύξησης (πίνακας 4) δείχνει ότι υπάρχουν πάντα θετικές συσχετίσεις με το δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων και αρνητικές με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών. Ισχυρές θετικές συσχετίσεις με το δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων παρατηρούνται τους μήνες της χειμερινής περιόδου (Οκτώβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο), πριν την έναρξη της αύξησης του δακτυλίου και κατά τη διάρκεια του Μαΐου του έτους σχηματισμού του δακτυλίου. Αντίθετα ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών παρατηρούνται το μήνα Απρίλιο, κυρίως με το δείκτη των μεγίστων θερμοκρασιών.

Πίνακας 4. Σχέσεις απόκρισης με τις 24 κλιματικές παραμέτρους (Pq90 – Tqx90) και (Pq90 – Tηq10) για επίπεδο σημαντικότητας >0.05, (+) θετική συσχέτιση, (-) αρνητική συσχέτιση.

Πληθυσμός /Μ.Σ	ΒΡΟΧΗ												ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ													
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ		
<b>(Pq90 – Tqx90)</b>																										
T1/ ΑΣΤΕΡ		+		+	+																					-
T2/ ΕΛΛΗΝ		+				+																				-
<b>(Pq90 – Tηq10)</b>																										
T1/ ΑΣΤΕΡ					+	+				+																-
T2/ ΕΛΛΗΝ		+			+	+				+																

## 5. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Με βάση τη συχνότητα εμφάνισης σημαντικών σχέσεων απόκρισης φαίνεται ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου έχουν σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση του πλάτους των ετησίων δακτυλίων από ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις της Άνοιξης. Ο ρόλος των ακραίων βροχοπτώσεων της Άνοιξης είναι εμφανής μόνο στο συνδυασμό με τις ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες. Η σπουδαιότητα των ακραίων βροχοπτώσεων της χειμερινής περιόδου πριν από την έναρξη του σχηματισμού των ετησίων δακτυλίων μπορεί να ερμηνευθεί από την ανάγκη πλήρωσης του εδάφους με αποθέματα νερού χρήσιμα για την έναρξη της αυξητικής δραστηριότητας τη διάρκεια της άνοιξης. Η θετική επίδραση των βροχοπτώσεων της εαρινής περιόδου μπορεί να αποδοθεί στην άμεση χρήση του νερού στις διάφορες φυσιολογικές διεργασίες. Σε ότι αφορά τις ακραίες θερμοκρασίες, οι αρνητικές σχέσεις με τις θερμοκρασίες του Απριλίου μπορεί να ερμηνευθούν με την επίδραση του παράγοντα αυτού στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων (αναπνοή, διαπνοή), αλλά και στην επίδραση του στις υδρολογικές διαδικασίες (εξάτμιση, υγρασία εδάφους και αέρα). Από τις σχέσεις που υπολογίσθηκαν φαίνεται ο κυρίαρχος ρόλος των ακραίων κατακρημνισμάτων σε σχέση με τις ακραίες θερμοκρασίες στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης. Αυτό έχει παρατηρηθεί και για άλλα είδη που αναπτύσσονται σε μικρά υψόμετρα (Serre 1976, Fritts 1976, Schweingruber, 1988). Οι σχέσεις του πλάτους των δακτυλίων και των δεικτών των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών είναι σε σημαντικό βαθμό ανάλογες με αυτές που υπολογίσθηκαν για το ίδιο είδος, με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και τις μέσες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες στο λεκανοπέδιο της Αττικής (Paradopoulos et al. 2007) και στην Ελλάδα γενικότερα (Paradopoulos et al., 2001).

Με βάση τις σχέσεις πλάτους δακτυλίων και ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών και την ανάλυση των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των επιλεγμένων δεικτών (πίνακες 2 και 3) φαίνεται ότι, μόνο για κάποιες χρονιές, υπάρχει μια ανάλογη απόκριση των μηνιαίων ακραίων τιμών στο πλάτος του δακτυλίου των αντιστοίχων ετών. Για παράδειγμα ο στενός δακτύλιος του έτους 1990 και για τους δυο πληθυσμούς χαλεπίου πεύκης φαίνεται ότι

συνδυάζεται με την ελάχιστη τιμή του δείκτη βροχοπτώσεως (Pq90) που παρατηρήθηκε το μήνα Μάιο του έτους αυτού και στους δυο μετεωρολογικούς σταθμούς αλλά και με τη μέγιστη τιμή του δείκτη ακολουθίας ξηρών ημερών (Pxcdd) που παρατηρείται τον ίδιο μήνα στο σταθμό του Ελληνικού. Επίσης ο πλατύς δακτύλιος του 1994 για τον πληθυσμό T1 συνδυάζεται με τη μέγιστη τιμή του δείκτη (Pq90) το μήνα Μάιο του ίδιου έτους. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα οι στενοί δακτύλιοι των ετών 1997 και 2000, δεν υπάρχει ανάλογη αντιστοιχία. Βέβαια οι σχέσεις απόκρισης που υπολογίστηκαν αντανακλούν τη συνεπίδραση των ακραίων βροχοπτώσεων και ακραίων θερμοκρασιών στη διαμόρφωση του πλάτους των δακτυλίων και επομένως από μόνη της μια ακραία τιμή δεν μπορεί να εκφράζει απόλυτα τη μεταβολή του πλάτους του δακτυλίου. Επιπλέον στην κατά πλάτος αύξηση των δένδρων υπεισέρχονται και άλλοι ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες εκτός από το κλίμα (Fritts 1976), που ακόμη και η πιο εξελιγμένη στατιστική επεξεργασία των χρονοσειρών των δακτυλίων δεν μπορεί τελείως να απαλείψει.

Συμπερασματικά από τη διερεύνηση αυτή της επίδρασης των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές βροχής και θερμοκρασίας επηρεάζουν κάποιους μήνες την κατά πλάτος αύξηση, σχεδόν με ανάλογο τρόπο με αυτό των μηνιαίων βροχοπτώσεων και μέσων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών. Όμως η επίδραση αυτή, όπως τουλάχιστο φαίνεται μέσα από τις σχέσεις απόκρισης, δεν ταυτίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα της κλιματικής ανάλυσης. Μια επιπλέον διερεύνηση με αναπροσαρμογή των μηνιαίων κλιματικών δεικτών ή ακόμη μια διεύρυνση των δενδροχρονολογικών δεδομένων με μέσους όρους περισσότερων πληθυσμών της περιοχής μελέτης, ώστε να απαλειφθούν ιδιαιτερότητες των σταθμών, θα έδινε ίσως περισσότερες απαντήσεις. Τέλος η έρευνα αυτή αποτελεί μια πρώτη βάση για τη παραπέρα διερεύνηση του ρόλου των ακραίων κλιματικών συνθηκών στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης στη Ελλάδα και τη Μεσόγειο.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος Περιβάλλον-Αρχιμήδης: Ε.Ε.Ο. ΤΕΙ Λαμίας που χρηματοδοτείται κατά 75% από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και κατά 25 % από το ΥΠΕΠΘ.

## Βιβλιογραφία

Alexandersson H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.

Cook, E., Briffa K., Shiyatov S., Mazepa V., 1989. Tree-ring standardization and growth-trend estimation.

In: *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences.* Cook and Kairiukstis (eds), Kluwer Academic Pub., International Institute for Applied Systems Analysis, 104-123.

Fritts, H.C., 1976. *Tree-rings and climate.* Academic Press, London, 567 p.

Guiot, J., 1990. *Methods and programs of statistics for paleoclimatology and paleoecology. Quantification des changements climatiques: Méthodes et programmes,* Monographie No 1. INSU, PNEDC, 253 p.

Kaennel, M., Schweingruber, F. H., 1995. *Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions*

in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. WSL/ FNP, Haupt, pp. 467.

Lev-Yadun, S., Liphschitz N., Waisel, Y., 1981. Dendrochronological investigations in Israel: *Pinus halepensis* Mill. The oldest living pines in Israel. *La Yaaran*, 31 (1-4), 49-52 and 2-8.

Papadopoulos, A. 1993. Dendrochronologie du pin d'Alep en Grèce: contribution aux études climatologiques. Pub. de l'Association Internat. de Climatologie, Vol. 6, 254-262.

Παπαδόπουλος, Α., 2002. Εντοπισμός και παρουσίαση χαρακτηριστικών δακτυλίων σε δείγματα ξύλου χαλεπίου πεύκης με τη χρήση της μεθόδου «Skeleton plot». Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου: Έρευνα προστασία και διαχείριση χερσαίων οικοσυστημάτων περιαστικών δασών και αστικού πρασίνου. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 467-473.

Papadopoulos A.M., Serre-Bachet F., Tessier L., 2001 : Tree-ring to climate relationships of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *Ecologia Mediterranea* 27 (1), 89-98.

Παπαδόπουλος Α., Παντέρα Α., Γουδέλης Γ., Ραυτογιάννης Ι., Σταματόπουλος Ε., Βέργος Σ. 2006. Ευαισθησία των αυξητικών δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης (*pinus halepensis* Mill.) σε κλιματικά δεδομένα της περιόδου 1960-2003 στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, «Δάσος και νερό - Προστασία φυσικού περιβάλλοντος». Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 379-386.

Papadopoulos A., Pantera A., Maheras P., 2007. Analyse du signal climatique de cerne du pin d'Alep d'une forêt périurbaine d'Athènes (Grèce) (Υπό δημοσίευση)

Rathgeber, C., Nicault, A., Kaplan J.O., Guiot, J., 2003. Using a biogeochemistry model in simulating forest productivity responses to climatic change and (CO<sub>2</sub>) increase: example of *Pinus halepensis* in Provence (south-est France). *Ecological Modeling* 166, 239-255.

Schweingruber, F. H., 1988. Tree rings, Basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, 276 p.

Schweingruber, F. H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. pp. 609.

Serre, F. 1976. Les rapport de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). 1. -Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *Oecol. Plant.*, 11 (2), 143-171.

Serre-Bachet, F., 1982. The mediterranean area. In: Climate from tree rings, Hughes et al. (eds), Cambridge Univ. press, Cambridge, 153-155.

Serre-Bachet, F., 1992. Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le pin d'Alep. *Forêt medit.*, XIII (3), 171-176.



## ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Φείδας Χ., Κοκολάτος Γ., Γιαννακός Α.

*Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης της βαθμονομημένης τεχνικής Convective-Stratiform technique (CST) στη μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχόπτωσης στην Ελλάδα με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση. Η τεχνική εφαρμόστηκε σε ημίωρα υπέρυθρα δεδομένα του δορυφόρου Meteosat-7, για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005. Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν επίγεια δεδομένα από δίκτυο 34 βροχομετρικών σταθμών της ΕΜΥ. Γενικά, η CST παρουσίασε σημαντικό δυναμικό στην εκτίμηση της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχόπτωσης για την περίοδο και την περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενδοημερήσια μεταβολή της βροχόπτωσης παρουσιάζει ένα διακριτό κύκλο πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές με ένα σαφές μέγιστο βροχόπτωσης που εμφανίζεται μεταξύ 14:00 και 15:00 UTC (17:00 και 18:00 τοπική ώρα), το οποίο αποδίδεται σε θερμοδυναμική αστάθεια λόγω θέρμανσης του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία. Η βροχόπτωση τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης αποτελεί κατά μέσο όρο το 51% του ολικού όγκου βροχής ενώ η εμφάνισή της προηγείται της στρατόμορφης βροχόπτωσης κατά ½ έως 1 ώρα. Βρέθηκε ότι η φάση του ενδοημερήσιου κύκλου των δορυφορικών εκτιμήσεων τόσο για την ολική βροχόπτωση όσο και για τους δυο τύπους βροχόπτωσης (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης) είναι γενικά σύμφωνη με αυτή των επίγειων δεδομένων. Η CST αναπαριστά αποτελεσματικά τη βροχόπτωση τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης ενώ υπερεκτιμά τη στρατόμορφη βροχόπτωση. Επίσης υπερεκτιμά ελαφρώς την έκταση βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης, διαχωρίζει όμως αποτελεσματικά τους δυο τύπους βροχόπτωσης.

### STUDY OF THE DIURNAL VARIATION OF PRECIPITATION IN GREECE USING SATELLITE DATA

Feidas H., Kokolatos G., Giannakos A.

*University of the Aegean, Department of Geography*

### Abstract

In this study, the potential of using the Convective Stratiform technique (CST) in studying the diurnal variability of precipitation in Greece at high spatial and temporal resolution is examined. The CST is recalibrated over the Mediterranean basin and was applied in half-hourly infrared satellite data acquired by the Meteosat-7 for the period May-August 2005. Ground truth data from 34 rain gauges distributed evenly over Greece were used to verify the diurnal cycle derived by the CST estimates. In general, the CST showed enough potential to be usable in obtaining the diurnal cycle of precipitation for the period and the area tested in this study. A pronounced rainfall maximum was found over continental Greece at between 1400 and 1500 UTC (1700 and 1500 local time) which may be attributed to thermodynamic instability triggered by daytime heating. The satellite estimates reveal that the convective rainfall comprises 51%, in the mean, of the total rain volume for the same period. The timing of the diurnal cycle of the satellite estimates for both total rainfall and the division into convective and stratiform components is generally consistent with the analysis of ground truth data. CST reproduced efficiently the convective component of precipitation whereas the satellite estimates for the stratiform component of the rainfall overestimate the rain gauge

data. The calibrated CST overestimated slightly the convective rain area but it provided an efficient division between convective and stratiform rain.

**Λέξεις κλειδιά:** βροχόπτωση, ημερήσιος κύκλος, δορυφόροι.

**Key words:** precipitation, diurnal cycle, satellites.

## 1. Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των τεχνικών εκτίμησης βροχόπτωσης από υπέρυθρα δορυφορικά δεδομένα είναι η υψηλή χρονική ανάλυση στη λήψη των δεδομένων από τους γεωστάσιμους δορυφόρους (15 έως 30 min). Το χαρακτηριστικό αυτό επιτρέπει την εξαγωγή του ενδοημερήσιου κύκλου της βροχόπτωσης με υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση. Η Convective-Stratiform Technique (CST) είναι μια δορυφορική τεχνική σχεδιασμένη για την εκτίμηση της βροχόπτωσης σε χωρική κλίμακα μεμονωμένων καταιγίδων με βάση δεδομένα στο κανάλι του θερμικού υπερύθρου. Η πρωτότυπη τεχνική (Adler and Negri, 1988) αναπτύχθηκε για την περιοχή της νότιας Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Οι παράμετροι της CST βαθμονομήθηκαν εκ νέου για τη Μεσόγειο με εφαρμογή στο κανάλι του υπερύθρου του Meteosat-7 από τους Feidas et. al (2006) με τη χρήση μετρήσεων βροχόπτωσης από το Precipitation Radar (PR) του Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Η εφαρμογή της βαθμονομημένης αυτής μεθόδου CST/Met-7 για την εκτίμηση της χωρικής κατανομής της αθροιστικής μηνιαίας και εποχιακής βροχόπτωσης στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου έδειξε ότι η CST/Met-7 μπορεί να αναπαραστήσει με πάρα πολύ καλά αποτελέσματα τη χωρική μεταβλητότητα της αθροιστικής βροχόπτωσης για τη θερμή περίοδο του έτους (Μάιο – Οκτώβριο) στην Ελλάδα, ιδιαίτερα αν οι εκτιμήσεις ολοκληρωθούν επιφανειακά (Φείδας και άλλοι, 2006).

Στην παρούσα εργασία, ενθαρρυσμένοι από την καλή εφαρμογή της τεχνικής CST/Met-7 κατά τη θερμή περίοδο του έτους, έγινε προσπάθεια αξιοποίησής της για τη μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβλητότητας της βροχόπτωσης με την υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση που προσφέρουν τα δεδομένα του Meteosat-7. Ως περίοδος μελέτης επιλέχθηκε το διάστημα Μαΐου-Αυγούστου 2005 λαμβάνοντας υπόψη ότι η ανίχνευση ενδοημερήσιου κύκλου βροχής είναι περισσότερο πιθανή αυτούς τους μήνες λόγω της απουσίας σημαντικών συνοπτικών συστημάτων στην περιοχή. Η κατάσταση αυτή ευνοεί την ανάπτυξη ατμοσφαιρικών συνθηκών θερμικής αστάθειας πάνω από τη ξηρά κατά τη διάρκεια της ημέρας, λόγω της θέρμανσης από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προκαλεί την ανάπτυξη ανοδικών ρευμάτων κατά τις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες.

## 2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε την έκδοση της τεχνικής CST η οποία βαθμονομήθηκε για την περιοχή της Μεσογείου από τους Feidas et al. (2006) χρησιμοποιώντας μετρήσεις βροχόπτωσης από του PR του δορυφόρου TRMM για την “υγρή” περίοδο του υδρολογικού έτους 2003–2004. Η βαθμονόμηση των παραμέτρων της CST έγινε σε στατιστική βάση έτσι ώστε η τεχνική αυτή να είναι σε θέση να αναπαράγει για την περιοχή της Μεσογείου τον ολικό όγκο βροχής καθώς και το διαχωρισμό της σε στρατόμορφη και κατακόρυφη ανάπτυξης βροχή, σύμφωνα με τις μετρήσεις του PR, χρησιμοποιώντας δεδομένα στο κανάλι του υπερύθρου (IR) του δορυφόρου Meteosat-7. Η βαθμονομημένη τεχνική, καλούμενη εφεξής ως CST/Met-7, εφαρμόζεται σε πέντε διαδοχικά βήματα:

(1) Εντοπίζονται όλα τα τοπικά ελάχιστα της θερμοκρασίας λαμπρότητας ( $T_{min}$ ) στις IR εικόνες του Meteosat-7 με  $T_{min} < 253$  K.

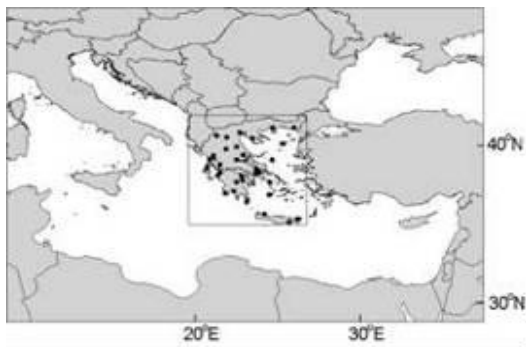
(2) Υπολογίζεται η απόκλιση της κάθε  $T_{min}$  από τη θερμοκρασία υποβάθρου (κλίση), δηλ. από τη μέση τιμή θερμοκρασίας των οκτώ γειτονικών εικονοστοιχείων.

(3) Το εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί σε κάθε τοπικό ελάχιστο θερμοκρασίας  $T_{min}$  θεωρείται ότι αποτελεί κέντρο κατακόρυφης ανάπτυξης του νέφους, με βάση μια συνάρτηση πιθανότητας η οποία καθορίζει την πιθανότητα να εμφανίζεται βροχή τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης για συγκεκριμένη τιμή  $T_{min}$  και κλίσης. Η διαδικασία αυτή καλείται έλεγχος κλίσης και χρησιμοποιείται για τον αποκλεισμό των ελάχιστων θερμοκρασίας που συνδέονται με μη βροχοφόρα νέφη τύπου cirrus.

(4) Αποδίδεται μια ένταση και έκταση βροχής σε κάθε εικονοστοιχείο  $T_{min}$ , το οποίο έχει περάσει τον έλεγχο κλίσης, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας  $T_{min}$  με βάση τις εκτιμήσεις του PR.

(5) Αποδίδεται μια έκταση στρατόμορφης βροχής γύρω από κάθε κέντρο κατακόρυφης ανάπτυξης του νέφους σε εκείνα τα εικονοστοιχεία που είναι ψυχρότερα από ένα κατώφλι θερμοκρασίας, και στα οποία δεν έχει ήδη αποδοθεί βροχή τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης στο προηγούμενο βήμα. Τέλος, μια σταθερή ένταση βροχής αποδίδεται σε όλα τα εικονοστοιχεία της περιοχής αυτής.

Η τεχνική CST/Met-7 εφαρμόστηκε σε ημίωρες εικόνες Meteosat-7 στο κανάλι του υπερύθρου (IR) για την περιοχή της ανατολικής Μεσόγειου, για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005. Για κάθε μισάωρο υπολογίστηκε η μέση τιμή της έντασης βροχής (mm/h) για όλη την περίοδο μελέτης. Επικεντρώνοντας στη μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβλητότητας της βροχόπτωσης στην Ελλάδα, οι μέσες χρονικές τιμές έντασης βροχής ολοκληρώθηκαν χωρικά σε μια περιοχή που καλύπτει την Ελληνική χερσόνησο (Εικόνα 1). Αρχικά, ελέγχθηκε η ύπαρξη ενδοημερήσιου κύκλου βροχόπτωσης στην Ελλάδα με τον υπολογισμό της ενδοημερήσιας μεταβολής της μέσης βροχόπτωσης ανά 30', ξεχωριστά πάνω από τη ξηρά και τη θάλασσα.



Εικόνα 1. Η περιοχή μελέτης. Το εσωτερικό πλαίσιο οριοθετεί την περιοχή και τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη του ενδοημερήσιου κύκλου βροχής στην Ελλάδα.

Για την επαλήθευση των δορυφορικών εκτιμήσεων της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχής χρησιμοποιήθηκαν καταγραφές έντασης βροχής από 34 βροχομετρικούς σταθμούς της ΕΜΥ ομοιόμορφα κατανεμημένων στην περιοχή της Ελλάδας (Εικόνα 1). Το δίκτυο των σταθμών αυτών περιλαμβάνει σταθμούς που βρίσκονται τόσο στην ηπειρωτική Ελλάδα όσο και σε παράκτιες περιοχές. Με στόχο την αξιολόγηση του δυναμικού της τεχνικής CST στην αναπαράσταση του ενδοημερήσιου κύκλου βροχής υπολογίστηκε η μέση ενδοημερήσια μεταβολή τριών παραμέτρων βροχής για την περιοχή της Ελλάδας, σε διαστήματα 30', και για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005, χρησιμοποιώντας τα επίγεια δεδομένα και τις δορυφορικές εκτιμήσεις:

α. η μέση ένταση βροχής, στις δυο συνιστώσες της (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης),

β. το ποσοστό της βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης, οριζόμενο ως το ποσοστό του συνολικού όγκου βροχής (ένταση βροχής x έκταση βροχής) που ανήκει σε αυτό τον τύπο βροχής, και

γ. το ποσοστό της έκτασης βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης, οριζόμενο ως το ποσοστό της έκτασης βροχής που χαρακτηρίζεται ως κατακόρυφης ανάπτυξης.

Οι δορυφορικές εκτιμήσεις των προηγούμενων παραμέτρων έγιναν με βάση τα 3 x 3 εικονοστοιχεία του Meteosat-7, με κέντρο το εικονοστοιχείο που αντιστοιχεί στη θέση του σταθμού. Συνεπώς, συνολικά 306 εικονοστοιχεία (34 σταθμοί x 9 εικονοστοιχεία) ανά δορυφορική εικόνα χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τριών αυτών παραμέτρων. Αυτό έγινε για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα που προκύπτει από το σταθερό σφάλμα γεωαναφοράς της εικόνας το οποίο είναι της τάξης του ενός εικονοστοιχείου. Οι παράμετροι για την εκτίμηση των οποίων απαιτείται πληροφορία για τη συνιστώσα της κατακόρυφης ανάπτυξης βροχόπτωσης υπολογίστηκαν με βάση το διαχωρισμό της βροχόπτωσης σε κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφη βροχόπτωση, από την τεχνική CST/Met-7.

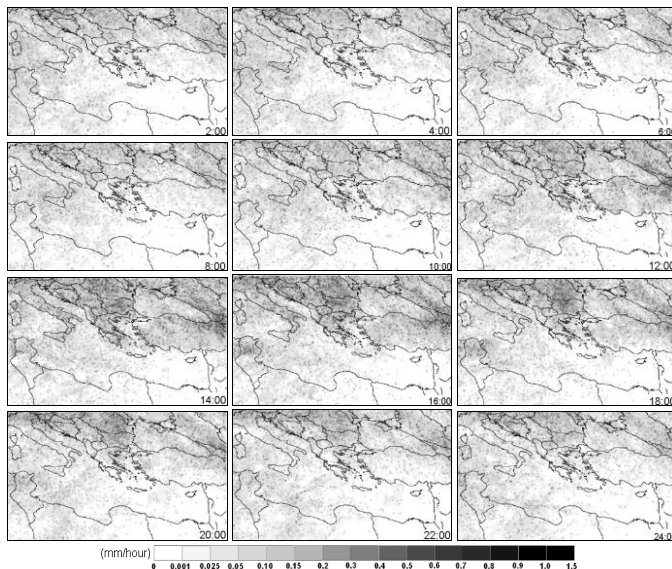
Για την εκτίμηση των ίδιων παραμέτρων με βάση τα επίγεια δεδομένα των σταθμών χρησιμοποιήθηκε το κατώφλι των 6 mm/h στην ένταση βροχής. Μέσες εντάσεις βροχής που καταγράφηκαν σε διάστημα 30' ταξινομούνται ως κατακόρυφης ανάπτυξης όταν οι τιμές τους ήταν μεγαλύτερη ή ίση από αυτό το κατώφλι, έχοντας όμως πάντοτε υπόψη ότι δεν υπάρχει ένα σταθερό κατώφλι έντασης βροχής το οποίο να διαχωρίζει με μεγάλη αξιοπιστία τους δύο τύπους βροχής. Το απλό αυτό κριτήριο ταξινόμησης έχει χρησιμοποιηθεί από αρκετούς ερευνητές, με τιμές κατωφλίου που κυμαίνονται από 5 mm/h έως 10 mm/h (π.χ. Schumacher and Houze, 2003; Nzeukou et al., 2002; Tenório and Kwon, 2006; Atlas et al, 2002). Στον παρόν έργο επιλέχθηκε το κατώφλι των 6 mm/h με στόχο να γίνουν συγκρίσιμοι οι παράμετροι της κατακόρυφης ανάπτυξης βροχής που προέρχονται τόσο από τα δορυφορικά όσο και από τα επίγεια δεδομένα, καθώς αυτή η τιμή είναι η ελάχιστη τιμή έντασης βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης που αποδίδεται από τον αλγόριθμο CST/Met-7.

### 3. Αποτελέσματα

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται υπό τη μορφή χαρτών τα αποτελέσματα της εφαρμογής του CST/Met-7 στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου ως μέσες τιμές για όλη την περίοδο μελέτης (Μάιος-Αύγουστος 2005), σε διαστήματα δυο ωρών. Τα πιο ενδιαφέροντα στοιχεία σε αυτή την παρουσίαση είναι τα ακόλουθα: (1) η έναρξη βροχοπτώσεων κατακόρυφης ανάπτυξης στα Βαλκάνια, γύρω στις 12:00 UTC (15:00 τοπική ώρα), οι οποίες μεγιστοποιούνται στο διάστημα 15:00-16:00 UTC (18:00-19:00 τοπική ώρα), κυρίως στη Βουλγαρία και στη Ρουμανία. (2) η εκδήλωση μικρότερης έντασης βροχοπτώσεων κατακόρυφης ανάπτυξης τις απογευματινές ώρες 12:00-16:00 UTC (15:00-19:00 τοπική ώρα) στις ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας και Ιταλίας και κατά μήκος των κεντρικών οροσειρών, (3) ένα απογευματινό μέγιστο βροχοπτώσεων κατακόρυφης ανάπτυξης κατά μήκος των ορεινών όγκων του Καυκάσου και των νοτίων πλαγιών των Άλπεων, πιθανόν ως αποτέλεσμα τοπικής κυκλοφορίας ορέων/κοιλάδων.

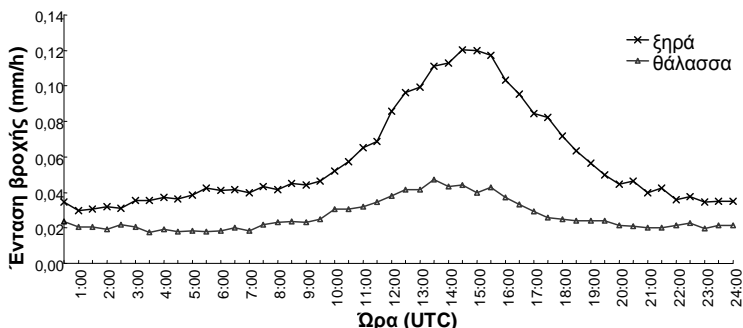
Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, είναι φανερή η ύπαρξη ενδοημερήσιου κύκλου βροχής στην ανατολική Μεσόγειο, ο οποίος γίνεται πιο διακριτός με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Σκοπεύοντας στον εντοπισμό διακριτού ενδοημερήσιου κύκλου βροχής στην Ελλάδα, υπολογίστηκε η ενδοημερήσια μεταβολή της μέσης βροχόπτωσης σε διαστήματα 30' ξεχωριστά πάνω από τη ξηρά και τη θάλασσα στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας (Εικόνα 3). Το γράφημα για τη ξηρά αποτυπώνει ένα τυπικό ενδοημερήσιο κύκλο βροχόπτωσης με ένα μέγιστο μεταξύ 14:00 και 15:00 UTC (17:00 και 18:00 τοπική ώρα), ο οποίος χωρίς αμφιβολία αποτελεί αποτέλεσμα θερμοδυναμικής αστάθειας που δημιουργεί η θέρμανση του εδάφους κατά τη διάρκεια της ημέρας, ιδιαίτερα τις απογευματινές ώρες. Παρόμοιο ενδοημερήσιο κύκλο - αν και λιγότερο σαφή - παρατηρούμε και πάνω από τη θάλασσα, με μέγιστο το οποίο προηγείται κατά μια ώρα του αντίστοιχου μεγίστου πάνω από τη ξηρά. Η διαφορά αυτή φάσης των δυο κύκλων αποτελεί πιθανόν αποτέλεσμα των διαφορετικών φυσικών διεργασιών σχηματισμού βροχής πάνω από τη ξηρά και τη θάλασσα. Η εμφανής διαφορά στο εύρος των δυο κύκλων αποδεικνύει τη γνωστή θεωρία ότι η θερμική αστάθεια πάνω από τη ξηρά αποτελεί την κύρια αιτία δημιουργίας βροχής κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους.

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της βροχόπτωσης, από τη τεχνική CST, στους δυο τύπους βροχής (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφη) (Εικόνα 4), η κατακόρυφης ανάπτυξης συνιστώσα αποτελεί το 51% περίπου της ολικής βροχόπτωσης, ποσοστό σημαντικά μικρότερο από το 67% που βρήκαν οι Negri et. al (2002) για τις τροπικές περιοχές της Αμαζονίας. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί η διαφορά φάσης μεταξύ των δυο κύκλων της κατακόρυφης ανάπτυξης και της στρατόμορφης βροχόπτωσης, με την πρώτη να προηγείται της δεύτερης από ½ έως 1 ώρα.

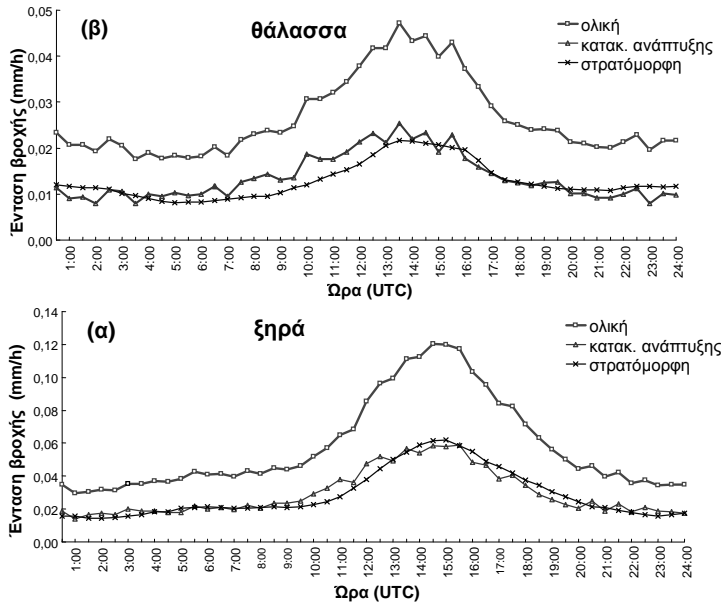


Εικόνα 2. Η μέση τιμή της βροχόπτωσης για την περίοδο Μαΐου – Αυγούστου 2005 με βάση τις εκτιμήσεις της τεχνικής CST/Met-7. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά δυο ώρες.

Για την επαλήθευση των προηγουμένων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι καταγραφές έντασης βροχής από τους 34 βροχομετρικούς σταθμούς της ΕΜΥ (Εικόνα 1). Η αξιολόγηση του δυναμικού της τεχνικής CST/Met-7 στην αναπαράσταση του ενδοημερήσιου κύκλου βροχής εκτιμάται με τις τρεις παραμέτρους βροχής: μέση ένταση βροχής, ποσοστό της βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης και ποσοστό της έκτασης βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης.



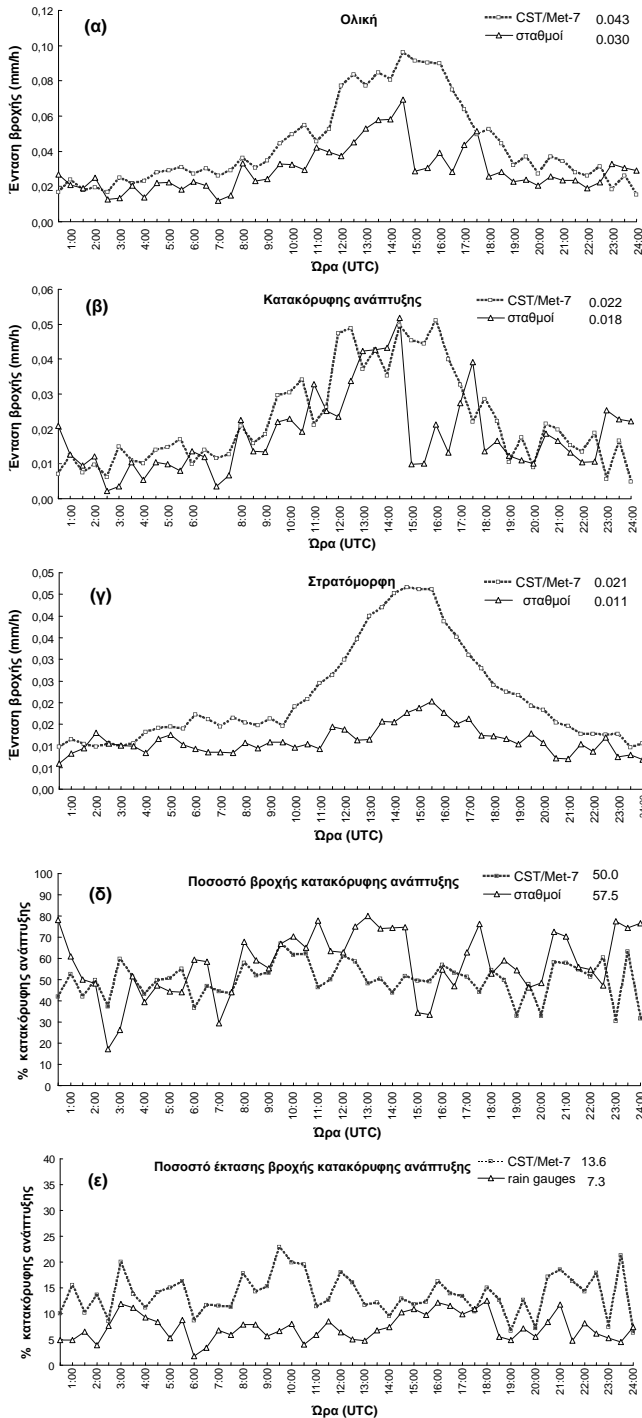
Εικόνα 3. Ενδοημερήσια μεταβολή της βροχόπτωσης, όπως αυτή εκτιμάται από την τεχνική CST/Met-7 για την περιοχή της Ελλάδας, πάνω από τη ξηρά και πάνω από τη θάλασσα, για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005.



Εικόνα 4. Ενδοημερήσια μεταβολή της ολικής, κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης βροχόπτωσης όπως αυτή εκτιμάται από την τεχνική CST/Met-7 για την περιοχή της Ελλάδας, (α) πάνω από τη ξηρά και (β) πάνω από τη θάλασσα, για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005.

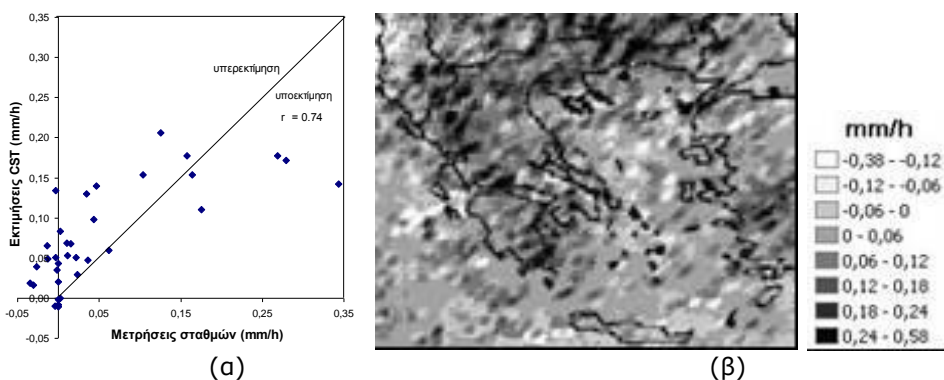
Η Εικόνα 5 παρουσιάζει την ενδοημερήσια μεταβολή των τριών παραμέτρων βροχής με βάση τις εκτιμήσεις του αλγόριθμου CST/Met-7 και τις καταγραφές των επίγειων σταθμών για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005 στην περιοχή της Ελλάδας. Η φάση του κύκλου των δορυφορικών εκτιμήσεων τόσο για την ολική βροχόπτωση όσο και για τους δύο τύπους βροχής (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης) είναι γενικά σύμφωνη με την ανάλυση των επίγειων δεδομένων (Εικόνα 5α,β,γ). Το μέγιστο της βροχόπτωσης εμφανίζεται μεταξύ 14:00 και 16:00 UTC (17:00 και 18:00 τοπική ώρα). Οι δορυφορικές μετρήσεις υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση που καταγράφουν τα βροχόμετρα, αλλά το ενδιαφέρον μας εστιάζεται περισσότερο στην σωστή αναπαράσταση της φάσης του κύκλου παρά στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος bias. Στην Εικόνα 6α παρουσιάζεται το διάγραμμα διασποράς του εύρους της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχόπτωσης (14:30 – 2:30 UTC) με βάση τις εκτιμήσεις του CST και τις μετρήσεις των σταθμών στην Ελλάδα. Το εύρος του ενδοημερήσιου κύκλου της βροχόπτωσης αναπαρίσταται ικανοποιητικά με σχετικά υψηλό συντελεστή συσχέτισης (0.74). Είναι όμως φανερή η υπερεκτίμηση του εύρους από τη CST με εξαίρεση τις πολύ υψηλές τιμές οι οποίες αντίθετα υποεκτιμώνται. Οι θετικές τιμές του εύρους παρατηρούνται κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα με μια μικρή τάση αύξησης με το γεωγραφικό πλάτος (Εικόνα 6β). Οι μεγαλύτερες θετικές τιμές εμφανίζονται στις ορεινές περιοχές γεγονός που καταδεικνύει τη συνεισφορά του ορογραφικού παράγοντα στην εμφάνιση του ενδοημερήσιου κύκλου βροχόπτωσης. Αρνητικές τιμές εύρους εμφανίζονται μόνο πάνω από τη θάλασσα.

Ένα ενδιαφέρον εύρημα είναι η πολύ καλή συμφωνία των δορυφορικών εκτιμήσεων της βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης με τις μετρήσεις των βροχομέτρων (Εικόνα 5β). Ο κύκλος που βασίζεται στις μετρήσεις των σταθμών εμφανίζει απότομες μεταβολές λόγω του σχετικά μικρού αριθμού σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν. Εξετάζοντας μόνο της συνιστώσα της στρατόμορφης βροχόπτωσης (Εικόνα 5γ), βρίσκουμε ότι οι δορυφορικές εκτιμήσεις υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση που καταγράφουν τα βροχόμετρα, γεγονός το οποίο εξηγεί το μεγαλύτερο ποσοστό της υπερεκτίμησης της ολικής βροχόπτωσης που παρατηρήθηκε στην Εικόνα 5α.



Εικόνα 5. Ενδοημερήσια μεταβολή των τριών παραμέτρων βροχής με βάση τις εκτιμήσεις του αλγόριθμου CST/Met-7 και τις καταγραφές των επίγειων σταθμών για την περίοδο Μαΐου-Αυγούστου 2005 στην περιοχή της Ελλάδας. Η μέση τιμή της κάθε παραμέτρου αναγράφεται στο άνω δεξιά τμήμα του κάθε γραφήματος. (α) Μέση ένταση βροχής χωρισμένη σε (β) κατακόρυφης ανάπτυξης και (γ) στρατόμορφη συνιστώσα. (δ) Ποσοστό της βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης. (ε) Ποσοστό της έκτασης βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης.

Καλή συμφωνία βρίσκουμε επίσης στην ενδοημερήσια μεταβολή των δυο παραμέτρων που σχετίζονται με τη βροχόπτωση κατακόρυφης ανάπτυξης (ποσοστό της βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης και ποσοστό της έκτασης βροχόπτωσης κατακόρυφης ανάπτυξης) (Εικόνα 5δ,ε), γεγονός που υποστηρίζει το προηγούμενο εύρημα ότι η τεχνική CST/Met-7 αναπαράγει αποτελεσματικά τη βροχόπτωση κατακόρυφης ανάπτυξης. Οι δορυφορικές εκτιμήσεις φανερώνουν ότι μόνο το 14% της έκτασης βροχής συνδέεται με βροχόπτωση κατακόρυφης ανάπτυξης ενώ το 50% του όγκου βροχής αποτελεί βροχόπτωση αυτού του τύπου. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τα επίγεια δεδομένα είναι 7 και 57%, αντίστοιχα. Η σύγκριση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αν και η τεχνική CST/Met-7 υπερεκτιμά ελαφρώς την έκταση βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης, διαχωρίζει όμως αποτελεσματικά τους δυο τύπους βροχόπτωσης (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης). Η διπλάσια τιμή της έκτασης βροχόπτωσης κατακόρυφης ανάπτυξης (7% έναντι 14%), αν και μπορεί να δικαιολογηθεί από τις μικρές τιμές της παραμέτρου, υποδεικνύει ότι είτε η τεχνική CST/Met-7 υπολογίζει μεγαλύτερο αριθμό κέντρων κατακόρυφης ανάπτυξης ή ότι η διαδικασία βαθμονόμησης της τεχνικής αυτής υπερεκτίμησε τη μέση τιμή της έκτασης βροχόπτωσης τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης που αποδίδεται σε κάθε κέντρο ανοδικών κινήσεων.



Εικόνα 6. (α) Διάγραμμα διασποράς του εύρους της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχόπτωσης (14:30 – 2:30 UTC) με βάση τις εκτιμήσεις της CST/Met-7 και τις μετρήσεις των σταθμών στην Ελλάδα. (β) Η χωρική κατανομή του εύρους στην Ελλάδα.

#### 4. Συμπεράσματα

Βρέθηκε ότι τεχνικές εξαγωγής βροχόπτωσης από τα υψηλής χρονικής ανάλυσης υπέρυθρα δεδομένα γεωστάσιμων δορυφόρων, όπως η CST, παρουσιάζουν σημαντικό δυναμικό για τη μελέτη της ενδοημερήσιας μεταβολής της βροχόπτωσης στην Ελλάδα κατά τη θερμή περίοδο του έτους, όταν αυτές έχουν βαθμονομηθεί στα ιδιαίτερα γεωκλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου CST/Met-7 στην Ελλάδα για την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2005 έδειξαν ότι η ενδοημερήσια μεταβολή της βροχόπτωσης παρουσιάζει ένα διακριτό κύκλο πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές με ένα σαφές μέγιστο βροχόπτωσης που εμφανίζεται μεταξύ 14:00 και 15:00 UTC (17:00 και 18:00 τοπική ώρα), το οποίο μπορεί να αποδοθεί στη θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία προκαλεί θερμοδυναμική ατμοσφαιρική αστάθεια και ισχυρά ανοδικά ρεύματα. Για τον ίδιο λόγο οι θετικές τιμές του εύρους του ενδοημερήσιου κύκλου βροχής παρατηρούνται κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα με μια μικρή τάση αύξησης με το γεωγραφικό πλάτος. Η βροχόπτωση τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης αποτελεί κατά μέσο όρο το 51% του ολικού όγκου βροχής ενώ η εμφάνισή της προηγείται της στρατόμορφης βροχόπτωσης κατά ½ έως 1 ώρα.

Η σύγκριση των δορυφορικών εκτιμήσεων με επίγεια δεδομένα βροχόπτωσης από δίκτυο 34 βροχομετρικών σταθμών στην Ελλάδα έδειξε ότι η φάση του ενδοημερήσιου κύκλου των



δορυφορικών εκτιμήσεων τόσο για την ολική βροχόπτωση όσο και για τους δυο τύπους βροχόπτωσης (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης) είναι γενικά σύμφωνη με αυτή των επίγειων δεδομένων. Η τεχνική CST/Met-7 αναπαριστά αποτελεσματικά τη συνιστώσα της βροχόπτωσης που είναι τύπου κατακόρυφης ανάπτυξης. Εξετάζοντας μόνο της συνιστώσα της στρατόμορφης βροχόπτωσης, βρίσκουμε ότι οι δορυφορικές εκτιμήσεις υπερεκτιμούν τη βροχόπτωση που καταγράφουν τα βροχόμετρα. Η βαθμονομημένη τεχνική CST επίσης υπερεκτιμά ελαφρώς την έκταση βροχής κατακόρυφης ανάπτυξης, διαχωρίζει όμως αποτελεσματικά τους δυο τύπους βροχόπτωσης (κατακόρυφης ανάπτυξης και στρατόμορφης).

## Βιβλιογραφία

Adler R.F., Negri A.J., 1988: A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27 (1), 30-51.

Atlas D., Ulbrich C.W., Marks Jr. F.D., 2002: Reply to comment by S.E. Yuter and R.A. Houze Jr. on "Partitioning tropical oceanic convective and stratiform rains by draft strength" by D. Atlas et al. *J Geophys Res*, 107(D1), 4006

Feidas H., Kokolatos G., Negri A., Manyin M., Chrysoulakis N., 2006: A TRMM-Calibrated infrared technique for rainfall estimation: Application on rain events over eastern Mediterranean. *Advances in Geosciences*, 7: 181-188.

Negri A.J., Adler R.F., Xu. L., 2002: A TRMM calibrated rainfall algorithm applied over Brazil. *J. Geophys. Res.*, 107, 8048-8062.

Nzeukou A., Sauvageot H., Ochou A.D., Kebe M.F., 2002. Raindrop size distribution and radar parameters at Cape Verde. *J Appl Meteorol*, 42, 1031-1034.

Schumacher C., Houze Jr R.A., 2003: Stratiform Rain in the Tropics as Seen by the TRMM Precipitation Radar. *J. Climate*, 16, 1739-1756.

Tenório R.S., Kwon B-H., 2006: Z-R relationship and a severe rainfall observed by C-band radar in eastern coast of northeastern Brazil. In Proceedings of 4th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, ERAD, Barcelona, 18-22 September 2006.

Φείδας Χ, Κοκολάτος Γ., Negri A.J., Manyin M., Χρυσουλάκης Ν., 2006: Βαθμονόμηση και εφαρμογή μιας υπέρυθρης δορυφορικής τεχνικής εκτίμησης της βροχόπτωσης για την περιοχή της Μεσογείου. Πρακτικά του 8ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, 25-27 Μαΐου 2006, (In press).



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ  
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# Περιβάλλον



## ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΟ ΜΟΡΦΩΜΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΒΟΙΑΣ

Εμμανουηλάκης Ε., Δέτσης Β., Βαμβακάρη Μ., Αμπελιώτης Κ.  
*Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας*

### Περίληψη

Η έκταση την οποία θα λάβει μια πυρκαγιά εξαρτάται από έναν αριθμό παραμέτρων, όπως ο τύπος της βλάστησης της περιοχής, οι καιρικές συνθήκες, τα διαθέσιμα πυροσβεστικά μέσα κ.α. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθεί την επίδραση ορισμένων τέτοιων παραμέτρων και στη συνέχεια να διερευνηθεί εάν αυτές οι παράμετροι μπορούν να ερμηνεύσουν τις διαφορές στο μόρφωμα της πυρκαγιάς που παρατηρούνται μεταξύ των νομών Αττικής και Εύβοιας. Το πρωτογενές υλικό της εργασίας ήταν τα δελτία τύπου του Πυροσβεστικού Σώματος για τα έτη 2002-2005. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μέση έκταση της πυρκαγιάς ανάλογα με τον κύριο τύπο χρήσης γης. Επίσης προέκυψαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με τα πυροσβεστικά μέσα που διατέθηκαν και το δείκτη επικινδυνότητας που συνοψίζει τις καιρικές συνθήκες. Σχετικά με τους δύο νομούς παρατηρούμε ότι σε όλες τις χρονιές που εξετάστηκαν στην Αττική είχαμε μεγαλύτερο αριθμό πυρκαγιών και μεγαλύτερη συνολικά καμένη έκταση αλλά μικρότερη μέση έκταση ανά πυρκαγιά από ότι στην Εύβοια. Η διαφορά στον αριθμό και στη συνολική καμένη έκταση μπορεί να ερμηνευθεί λόγω της διαφοράς στην πίεση για αλλαγή της χρήσης της γης ανάμεσα στους δύο νομούς. Η διαφορά στη μέση έκταση θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένα βαθμό από τις διαφορές στις καιρικές συνθήκες κατά τις ημερομηνίες που αυτές εκδηλώνονται και στην πυκνότητα των πυροσβεστικών σταθμών και κλιμακίων στους δύο νομούς.

### DIFFERENCES IN WILDFIRE PATTERN BETWEEN ATTIKI AND EVIA

Emmanouilakis E., Detsis V., Vamvakari M., Abeliotis K.  
*Harokopio University, Dept. of Home Economics and Ecology*

### Abstract

The extend of a wildfire depends on a number of parameters like the vegetation type of the area, the weather conditions, the fire fighting resources involved etc. The aim of the present work is to study the effect of these parameters on wildfires as well as to investigate whether these could explain the differences observed in the wildfire pattern between the neighboring prefectures of Attiki and Evia. The analysis of the data revealed statistically significant differences in the mean wildfire extend in relation to the main land use type. Statistically significant correlations were also found between fire fighting resources and the risk index that summarizes the weather conditions. With regard to the two prefectures studied, a larger number of wildfires, as well as a larger annual total of burned area was found in Attiki during all years taken into account in this study. The mean extend of the individual wildfires however was larger in Evia. The difference in the number of wildfire incidences and in the total burned area can be explained by the difference in the pressure for land use change between the two prefectures. The difference in mean burned area per wildfire incidence could be partly explained by the difference in the weather conditions prevailing at the dates that the wildfires take place and by the difference in the density of fire stations between the two prefectures.

**Λέξεις κλειδιά:** πυρκαγιά, έκταση πυρκαγιάς, τύπος βλάστησης, δείκτης επικινδυνότητας.

**Key words:** wildfire, extend of burned area, vegetation type, fire risk index.

## 1. Εισαγωγή

Είναι κοινός τόπος ότι στην Ελλάδα, όπως και στις υπόλοιπες χώρες της Βόρειας Μεσογείου αλλά και αλλού (π.χ. στις Η.Π.Α., την Αυστραλία κ.α.), υπάρχει σοβαρό πρόβλημα με τις δασικές πυρκαγιές. Στην πραγματικότητα η χρήση του όρου «δασικές» είναι σχετικά παραπλανητική. Ναι μεν οι πυρκαγιές στην ύπαιθρο αφορούν σε μεγάλο βαθμό δασικές εκτάσεις αλλά δεν περιορίζονται αποκλειστικά σε αυτές. Ιστορικά, το χρονικό σημείο στο οποίο εντοπίζεται η εμφάνιση της πυρκαγιάς ως σημαντικού προβλήματος για την Ελλάδα τοποθετείται στο 1974 (Briassoulis, 1992; Lekakis 1995; Iliadis et al., 2002a), οι αντίστοιχες χρονολογίες για άλλες χώρες διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε μίας. Δύο είναι κυρίως οι παράγοντες στους οποίους αποδίδεται η τάση αύξησης των πυρκαγιών στον ευρύτερο ευρωπαϊκό μεσογειακό χώρο. Ο πρώτος είναι η αλλαγή στη διαχείριση ή η εγκατάλειψη της ενεργού διαχείρισης της γης στην ύπαιθρο. Ως αποτέλεσμα της επέκτασης των αστικών κέντρων και της μειωμένης ελκυστικότητας της απόκτησης εισοδήματος από αγροτικές δραστηριότητες, οι περιοχές που έχουν οριακή παραγωγικότητα βγαίνουν εκτός διαχείρισης. Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις όπου η παραγωγικότητα της γης είναι μεν ικανοποιητική αλλά η γη βρίσκεται στα όρια της αστικής επέκτασης οπότε συχνά ο ιδιοκτήτης απλώς περιμένει την κατάλληλη στιγμή για την αξιοποίησή της χωρίς να τη διαχειρίζεται ενεργά. Η πορεία αυτή έχει ως αποτέλεσμα ένα τοπίο πολύ πιο ευνοϊκό για την έναρξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς από ότι ήταν στο παρελθόν (Moreira et al., 2001; Chas Amil, 2007). Η δεύτερη παράμετρος είναι η πίεση για αλλαγή στη χρήση της γης. Οι ρυθμίσεις που συνδέονται με περιορισμούς που αφορούν ιδίως τη μετατροπή σε οικιστική χρήση, οδηγούν στην αξιοποίηση της φωτιάς για τη δημιουργία προϋποθέσεων για άρση των περιορισμών (Briassoulis, 1992; Lekakis, 1995).

Αρκετά πράγματα είναι γνωστά για τη συμπεριφορά της φωτιάς σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες, τον τύπο της βλάστησης κ.α. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να διερευνήσει πως εκφράζεται η επίδραση αυτών των παραγόντων στην περίπτωση των νομών Αττικής και Εύβοιας, οι οποίοι ανήκουν στους νομούς με τα σοβαρότερα προβλήματα από πυρκαγιές (Iliadis et al., 2002a), και ακόμα εάν οι παραπάνω παράγοντες μπορούν να ερμηνεύσουν με επάρκεια τις διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στους δύο νομούς.

## 2. Μεθοδολογία

Τα πρωτογενή δεδομένα συλλέχθηκαν από τα δελτία τύπου που εκδίδει το Πυροσβεστικό Σώμα καθημερινά. Συγκεντρώθηκαν όλα τα δελτία τύπου που εξέδωσε το Πυροσβεστικό Σώμα για τα έτη 2002, 2003, 2004 και 2005 (συνολικά 1.461 δελτία) και απομονώθηκαν οι περιπτώσεις των πυρκαγιών που έλαβαν χώρα σε υπαίθριες περιοχές της Αττικής και της Εύβοιας. Από αυτές τις αναφορές απορρίφθηκαν οι περιπτώσεις εκείνες για τις οποίες δεν δίνονταν αναλυτικά στοιχεία και επομένως δεν ήταν αξιοποιήσιμες στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Σημειώνεται ότι οι περιπτώσεις αυτές αντιστοιχούν σε πυρκαγιές που έλαβαν πολύ μικρή έκταση και ελέγχθηκαν πολύ γρήγορα. Ο τελικός αριθμός των πυρκαγιών που εξετάστηκαν ανέρχεται σε 104 περιπτώσεις συνολικά για τα τέσσερα έτη (από τις οποίες οι 83 αφορούν περιπτώσεις της Αττικής και οι υπόλοιπες 21 περιπτώσεις της Εύβοιας).

Οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τα δελτία τύπου, είναι η ώρα και η ημερομηνία έναρξης της πυρκαγιάς καθώς και η ώρα που τέθηκε υπό έλεγχο (από τις οποίες υπολογίστηκε η χρονική διάρκεια κάθε πυρκαγιάς), η κατηγορία της έκτασης υπό την έννοια του τύπου της βλάστησης, οι δυνάμεις που χρησιμοποιήθηκαν για την καταστολή της εκάστοτε περίπτωσης (δηλαδή: τα πυροσβεστικά οχήματα, τα αεροπλάνα και τα ελικόπτερα και το ανθρώπινο δυναμικό, δηλαδή οι πυροσβέστες), τα στρέμματα που κάηκαν ανά περίπτωση και τέλος ο δείκτης επικινδυνότητας που εξέδιδε το Πυροσβεστικό Σώμα καθημερινά με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

Οι καμένες εκτάσεις κατατάσσονται από το Πυροσβεστικό Σώμα στις εξής 7 κατηγορίες: δασική έκταση, χαμηλή βλάστηση, χορτολιβαδική έκταση, αγροτοδασική έκταση, γεωργική έκταση, ξηρά χόρτα και τέλος θαμνώδης βλάστηση. Επειδή ορισμένες κατηγορίες εκτάσεων εκπροσωπούνταν από πολύ μικρό αριθμό πυρκαγιών, συγχωνεύτηκαν με άλλες για τις οποίες κρίθηκε ότι έχουν σχετικά κοινά χαρακτηριστικά. Έτσι οι κατηγορίες που εξετάστηκαν είναι οι εξής τέσσερις: 1<sup>η</sup> δασική, 2<sup>η</sup> χαμηλή και θαμνώδης, 3<sup>η</sup> χορτολιβαδική και 4<sup>η</sup> αγροτοδασική, γεωργική και ξηρά χόρτα. Στην πραγματικότητα οι πυρκαγιές, τουλάχιστον οι μεγάλες, δεν περιορίζονται σε ένα μοναδικό τύπο βλάστησης. Ωστόσο η καταγραφή του Πυροσβεστικού Σώματος είναι ενδεικτική για τον κυρίαρχο τύπο βλάστησης που αφορούσε η κάθε πυρκαγιά. Προκειμένου να υπάρξει μία ένδειξη για τη σχετική σημασία των πυρκαγιών για κάθε τύπο βλάστησης καταγράφηκαν οι σχετικές εκτάσεις από τη βάση δεδομένων CORINE Land Cover 2000 για τους δύο νομούς. Επειδή οι κατηγορίες του CORINE δεν ταυτίζονται με τις κατηγορίες που καταγράφει το Πυροσβεστικό Σώμα και μετά από επικοινωνία για διευκρινήσεις με το τελευταίο έγινε η παρακάτω αντιστοίχιση κατηγοριών: οι κατηγορίες «δάση» και «μεταβατική δάσος - θαμνώνας» του CORINE αντιστοιχίστηκαν στην κατηγορία «δασική», η κατηγορία «σκληρόφυλλη βλάστηση» στην κατηγορία «χαμηλή και θαμνώδης», η κατηγορία «φυσικά λιβάδια» στην κατηγορία «χορτολιβαδική» και η κατηγορία «γεωργική» στην κατηγορία «αγροτοδασική, γεωργική και ξηρά χόρτα».

Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 10.0. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι στατιστικές μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν, εφαρμόστηκε σε όλες τις περιπτώσεις η μέθοδος Kolmogorov Smirnov για τον έλεγχο της κανονικότητας των κατανομών των παραμέτρων που αναλύθηκαν. Θεωρήθηκε ότι μπορεί να γίνει δεκτή η υπόθεση ότι οι τιμές μιας παραμέτρου προέρχονται από πληθυσμό τιμών που ακολουθεί την κανονική κατανομή όταν  $p > 0,05$ . Καμία παράμετρος δεν έδωσε τέτοια τιμή και επομένως χρησιμοποιήθηκαν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των τιμών τους. Ο έλεγχος Kolmogorov Smirnov επαναλήφθηκε για τις λογαριθμημένες τιμές χρησιμοποιώντας το ίδιο κριτήριο. Σε ορισμένες περιπτώσεις βρέθηκε το  $p > 0,05$  και επομένως χρησιμοποιήθηκαν παραμετρικές μέθοδοι στην περαιτέρω ανάλυση ενώ στις υπόλοιπες χρησιμοποιήθηκαν μη παραμετρικές μέθοδοι. Από την εξέταση αυτή εξαιρέθηκαν οι τιμές του δείκτη επικινδυνότητας, η κατανομή των τιμών του οποίου είναι εξ' ορισμού διακριτή και επομένως δεν είχε νόημα ο έλεγχος.

Για τη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Pearson στην περίπτωση όπου οι λογαριθμημένες τιμές των παραμέτρων ακολουθούσαν την κανονική κατανομή ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Spearman. Η τελευταία χρησιμοποιήθηκε επίσης στην περίπτωση του δείκτη επικινδυνότητας εφόσον οι τιμές του είναι διακριτές αλλά έχουν καθορισμένη ιεραρχία. Προκειμένου να συγκριθούν οι κεντρικές τάσεις των παραμέτρων επιμέρους ομάδων πυρκαγιών (μεταξύ νομών και τύπων βλάστησης) χρησιμοποιήθηκε η παραμετρική μέθοδος t-test για τον έλεγχο της σημαντικότητας των διαφορών στις μέσες τιμές, όπου τα χαρακτηριστικά του δείγματος το επέτρεπαν (με βάση τον έλεγχο κανονικότητας και τον έλεγχο Levene για την ομοιογένεια της διασποράς με όριο  $p > 0,05$ ). Όπου αυτό δεν ήταν δυνατόν χρησιμοποιήθηκαν τα μη παραμετρικά Mann Whitney U test και Kruskal Wallis K test για τον έλεγχο της σημαντικότητας των διαφορών μεταξύ διαμέσων. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το μη παραμετρικό Wilcoxon Signed Ranks test για τη σύγκριση του πλήθους των πυρκαγιών ανά έτος και τη συνολική έκταση που κάηκε ανά έτος στην Αττική και στην Εύβοια. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε γιατί ο μικρός αριθμός τιμών (4 έτη) δεν επέτρεπε ουσιαστικό έλεγχο κανονικότητας και επιπλέον στην περίπτωση αυτή τα δείγματα δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, καθώς οι παράμετροι των πυρκαγιών σε Αττική και Εύβοια για το ίδιο έτος εξαρτώνται από τις ίδιες καιρικές συνθήκες.

### 3. Αποτελέσματα

Οι τιμές των παραμέτρων που εξετάστηκαν παρουσιάζονται περιληπτικά στον Πίνακα 1. Το μέγεθος που έχει τη μεγαλύτερη σημασία, όσον αφορά τις συνέπειες μιας πυρκαγιάς στην

ύπαιθρο, είναι η έκταση που κάηκε. Η συσχέτιση του μεγέθους αυτού με τους άλλους παράγοντες που καταγράφονται στα δελτία τύπου του Πυροσβεστικού Σώματος παρουσιάζεται στους Πίνακες 2, 3. Η έκταση συσχετίζεται θετικά με το χρόνο που διήρκεσε η πυρκαγιά, το δείκτη επικινδυνότητας (δηλαδή τελικά με τις καιρικές συνθήκες) και τις δυνάμεις πυρόσβεσης που διατέθηκαν ενώ οι συσχετίσεις είναι σε όλες τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντικές. Εμφανίζεται επίσης μία εξάρτηση της έκτασης της πυρκαγιάς από τον κυρίαρχο τύπο βλάστησης της έκτασης που κάηκε (Πίνακας 4). Το επίπεδο σημαντικότητας των διαφορών μεταξύ των διαμέσων της καμένης έκτασης ανά τύπο βλάστησης ήταν  $p < 0,05$  (Kruskal Wallis K test).

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά μέτρα για τις παραμέτρους που εξετάστηκαν (m: μέση τιμή, δ: διάμεσος, SD: τυπική απόκλιση).

	Συνολικά			Αττική			Εύβοια		
	m	δ	SD	m	δ	SD	m	δ	SD
Έκταση που κάηκε (στρέμματα)	149,12	23	742,07	130,35	20	768,21	223,29	70	639,61
Χρόνος (ώρες)	2,66	1,53	3,24	1,90	1,25	2,47	5,67	4,42	4,15
Πυροσβεστικά Οχήματα	18,34	15	12,44	18,33	15	11,00	18,38	11	17,33
Πυροσβέστες	71,65	60	57,30	74,13	65	53,18	61,86	39	72,10
Αεροπλάνα	2,54	2	2,51	2,30	2	2,47	3,48	3	2,50
Ελικόπτερα	1,46	1	1,30	1,43	1	1,31	1,57	1	1,29
Δείκτης Επικινδυνότητας	3,78	4,0	0,60	3,73	3,5	0,61	4,02	4	0,51

Σχετικά με τους δύο νομούς που μελετήθηκαν παρατηρούμε ότι το μόρφωμα των πυρκαγιών διαφέρει. Στην Αττική έχουμε περισσότερες πυρκαγιές και συνολικά μεγαλύτερη καμένη έκταση για όλα τα έτη που μελετήθηκαν από ότι στην Εύβοια (Wilcoxon Signed Ranks Test σημαντικότητα 0,07 για τη διαφορά στις διαμέσους και για τις δύο περιπτώσεις: έκταση ανά έτος και αριθμός πυρκαγιών ανά έτος) (Πίνακας 5). Επίσης όμως η διάρκεια της πυρκαγιάς και η καμένη έκταση ανά πυρκαγιά στην Εύβοια είναι μεγαλύτερη (t-test για τις διαφορές στις μέσες τιμές των λογαρίθμων και στις δύο περιπτώσεις,  $p < 0,001$ ) (Πίνακας 1). Στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται τόσο στον αριθμό των πυροσβεστών (t-test επί των λογαριθμημένων τιμών,  $p < 0,05$ ) όσο και στον αριθμό των αεροπλάνων (Mann Whitney U test,  $p < 0,05$ ) (Πίνακας 1). Οι διαφορές όμως δεν ήταν στην ίδια κατεύθυνση: ενώ στην Αττική επεμβαίνουν περισσότεροι πυροσβέστες στην Εύβοια επεμβαίνουν περισσότερα αεροπλάνα.

Πίνακας 2. Συντελεστές συσχέτισης Pearson μεταξύ καμένης έκτασης, διάρκειας πυρκαγιάς, πυροσβεστικών οχημάτων και ανθρώπινου δυναμικού ανά πυρκαγιά.

	Lg(Έκταση)	Lg(Χρόνος)	Lg(Οχήματα)
Lg(Χρόνος)	0,73*		
Lg(Οχήματα)	0,36*	0,27*	
Lg(Ανθρώπινο δυναμικό)	0,43*	0,22**	0,80*

\* επίπεδο σημαντικότητας 0,05, \*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,01.

Πίνακας 3. Συντελεστές συσχέτισης Spearman μεταξύ καμένης έκτασης, αριθμού πυροσβεστικών αεροπλάνων και ελικόπτρων και δείκτη επικινδυνότητας της συγκεκριμένης ημερομηνίας.

	Έκταση	Αεροπλάνα	Ελικόπτερα
Αεροπλάνα	0,50*		
Ελικόπτερα	0,22**	0,61*	
Δείκτης Επικινδυνότητας	0,63*	0,35*	0,06

\* επίπεδο σημαντικότητας 0,05, \*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,01.

Πίνακας 4. Καμένη έκταση ανά πυρκαγιά (στρέμματα) και τύπος έκτασης (m: μέση τιμή, SD: τυπική απόκλιση).

	Συνολικά		Αττική		Εύβοια	
	m	SD	m	SD	m	SD
Δασική	234,15	970,82	208,52	1007,03	336,67	841,32
Χαμηλή και θαμνώδης	12,50	8,73	11,67	8,36	25,00	-
Χορτολιβαδική	53,08	56,20	38,57	37,58	73,40	75,38
Αγροτοδασική, γεωργική και ξηρά χόρτα	38,88	50,19	28,08	39,96	85,67	72,57

Πίνακας 5. Αριθμός πυρκαγιών και συνολική καμένη έκταση (στρέμματα) ανά έτος σε Αττική και Εύβοια (m: μέση τιμή, δ: διάμεσος, SD: τυπική απόκλιση).

	N			επιφάνεια		
	m	δ	SD	m	δ	SD
Αττική	20,75	21,5	9,74	5049,25	5136,5	5049,25
Εύβοια	5,25	4,50	2,63	1172,25	387,50	1589,93

Οι «διαθέσιμες» για κάψιμο υπαίθριες εκτάσεις στους δύο νομούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Η κατηγορία «άλλα» στον πίνακα αυτό αντιστοιχεί είτε σε αστικές εκτάσεις που δεν αποτελούν αντικείμενο της εργασίας αυτής είτε σε εκτάσεις που δεν κινδυνεύουν από πυρκαγιά όπως π.χ. οι υγρότοποι. Στον αριθμό των πυροσβεστικών σταθμών και κλιμακίων της Αττικής συνυπολογίστηκαν συμβατικά 3 σταθμοί από τον μεγάλο αριθμό που βρίσκεται εντός του λεκανοπεδίου. Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται επίσης οι εκτάσεις των δύο νομών που κήκαν το χρονικό διάστημα 2002-2005 και το ποσοστό επί του αντίστοιχου τύπου βλάστησης του νομού. Το ποσοστό υπολογίστηκε με την παραδοχή ότι στο διάστημα των τεσσάρων ετών που καλύπτει η εργασία αυτή η πιθανότητα μία έκταση να καεί δύο φορές είναι πολύ μικρή και δεν επηρεάζει τη συνολική εικόνα. Έτσι κάθε πυρκαγιά θεωρήθηκε ότι αφορούσε διαφορετική περιοχή από τις υπόλοιπες.

Η διαφορά στο μέγεθος της καμένης έκτασης ανά πυρκαγιά μεταξύ των δύο νομών φαίνεται να επιβεβαιώνεται και όταν εξεταστεί η έκταση της πυρκαγιάς για κάθε τύπο βλάστησης ξεχωριστά (Πίνακας 4). Ωστόσο στην περίπτωση αυτή, πιθανόν λόγω του μικρού αριθμού περιπτώσεων που αναφέρονται στους μη δασικούς τύπους βλάστησης, η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική μόνο στην περίπτωση των δασικών εκτάσεων (t-test επί των λογαριθμημένων τιμών,  $p < 0,01$ ). Η αναλογία των τύπων βλάστησης που καίγονται φαίνεται να διαφέρει μεταξύ των δύο νομών, στην Εύβοια παρατηρείται μία μετατόπιση υπέρ της χορτολιβαδικής και σε βάρος της χαμηλής και θαμνώδους βλάστησης σε σχέση με την Αττική



(Πίνακες 6, 7). Προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση αυτής της διαφοράς στην διαφορά ανάμεσα στα μέσα μεγέθη των καμένων εκτάσεων ανάμεσα στους δύο νομούς επαναλήφθηκε ο έλεγχος χωρίς τις πυρκαγιές που αναφέρονται σε χορτολιβαδικές εκτάσεις, που τείνουν να δίνουν μεγάλες σε έκταση πυρκαγιές (Πίνακας 4). Το αποτέλεσμα επιβεβαίωσε ότι η μέση πυρκαγιά στην Εύβοια καταστρέφει μεγαλύτερη έκταση ( $t$ -test,  $p < 0,001$ )

Πίνακας 6. Εκτάσεις (στρέμματα) ανά τύπο βλάστησης, εκτάσεις (στρέμματα) που κάηκαν το διάστημα 2002-2005, ποσοστό της καμένης (%) επί της συνολικής έκτασης του αντίστοιχου τύπου βλάστησης στους δύο νομούς και αριθμός Πυροσβεστικών Σταθμών και Κλιμακίων στους νομούς Αττικής και Εύβοιας.

	Αττική			Εύβοια		
	Συνολική έκταση	Καμένη Έκταση	Ποσοστό	Συνολική έκταση	Καμένη Έκταση	Ποσοστό
Δασική έκταση	98.477	10.009	10,16	140.498	4.040	2,88
Χαμηλή και θαμνώδης	97.346	175	0,18	75.602	25	0,03
Χορτολιβαδική	17.930	270	1,51	21.144	367	1,74
Αγροτοδασική, γεωργική και ξηρά χόρτα	123.487	365	0,30	143.861	257	0,18
Άλλα	62.323			16.598		
Πυροσβεστικοί σταθμοί/κλιμάκια	15*			8		

\* Συμυπολογίζοντας συμβατικά 3 σταθμούς ή κλιμάκια εντός λεκανοπεδίου.

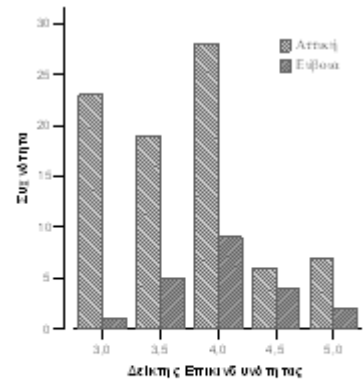
Πίνακας 7. Συχνότητα (αριθμός πυρκαγιών) ανά τύπο βλάστησης και ποσοστό (%) επί του συνολικού αριθμού πυρκαγιών του αντίστοιχου νομού.

	Δασική		Χαμηλή & Θαμνώδης		Χορτολιβαδική		Αγροτοδασική, Γεωργική, Ξερά χόρτα	
	Συχνότητα	Ποσοστό	Συχνότητα	Ποσοστό	Συχνότητα	Ποσοστό	Συχνότητα	Ποσοστό
Αττική	48	57,8	15	18,1	7	8,4	13	15,7
Εύβοια	12	57,1	1	4,8	5	23,8	3	14,3

Η διαφορά που παρατηρείται στις τιμές του δείκτη επικινδυνότητας, με το δείκτη στην Εύβοια να εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές από ότι στην Αττική (Πίνακας 1), είναι στατιστικά σημαντική (Mann-Whitney U test,  $p < 0,05$ ). Η μορφή της κατανομής του δείκτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, όπου φαίνεται ότι η διαφορά δεν περιορίζεται στην τιμή της διαμέσου αλλά επεκτείνεται και στη μορφή της κατανομής των συχνοτήτων. Η απουσία περιστατικών που να αντιστοιχούν σε δείκτη επικινδυνότητας μικρότερο του 3 μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι όταν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για τη φωτιά, οι όποιες πυρκαγιές δεν παίρνουν διαστάσεις και επομένως δεν δίνονται αναλυτικά στοιχεία για αυτές στα δελτία τύπου που εξετάστηκαν.

#### 4. Συζήτηση

Από την εικόνα που δίνει η ανάλυση του συνολικού δείγματος φαίνεται να επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι η έκταση που θα πάρει μία πυρκαγιά σχετίζεται με το είδος της βλάστησης και τις καιρικές συνθήκες καθώς και με τον χρόνο που απαιτήθηκε για να τεθεί υπό έλεγχο (Viegas, 1999; Dimitrakopoulos, 2001; Βορίσης, 2004). Η θετική συσχέτιση μεταξύ πυροσβεστικών μέσων και δυνάμεων από τη μία και έκτασης της πυρκαγιάς από την άλλη δείχνει ότι η πυρκαγιά προσδιορίζει τις δυνάμεις κατάσβεσης που διατίθενται και όχι το αντίστροφο: στις μεγάλες πυρκαγιές διατίθενται μεγάλες δυνάμεις. Στην αντίθετη περίπτωση θα έπρεπε να δεχθούμε ότι τα πυροσβεστικά μέσα συντελούν στην αύξηση της καμένης έκτασης, κάτι που προφανώς αντίκειται στην κοινή λογική. Έχει επίσης δείχθει ότι η συνολική έκταση που κάηκε σε μια συγκεκριμένη χρονιά εξαρτάται κυρίως από τις καιρικές συνθήκες, με την έννοια της συνολικής εικόνας του έτους που προσδιορίζει το υδατικό ισοζύγιο των φυτών αλλά και την πολιτική κατάσταση (Briassoulis, 1992; Lekakis, 1995; Iliadis *et al.*, 2002b).



Σχήμα 1. Συχνότητα των περιπτώσεων πυρκαγιάς σε σχέση με τις τιμές του δείκτη επικινδυνότητας στους δύο νομούς το διάστημα 2001-2004.

Υπολογίζεται ότι το 50% των πυρκαγιών στην Ελλάδα οφείλεται σε εμπρησμό από αμέλεια και 30% σε εμπρησμό από πρόθεση και 3% σε φυσικά αίτια (Βορίσης, 2004). Επιπλέον θεωρείται ότι ένα μεγάλο μέρος από το υπόλοιπο 17% που αφορά περιπτώσεις που δεν εξακριβώθηκαν τα αίτια οφείλεται σε ανθρώπινους παράγοντες. Έτσι τελικά δεν μπορεί να ερμηνευτεί το μόρφωμα της πυρκαγιάς στον ελληνικό χώρο χωρίς να ληφθεί υπόψη ο ανθρώπινος παράγοντας που αλληλεπιδρά με τους φυσικούς (Iliadis *et al.*, 2002a). Έχει παρατηρηθεί και σε άλλες εργασίες η συσχέτιση των πυρκαγιών με την πληθυσμιακή πυκνότητα της περιοχής (Lekakis, 1995). Στην εργασία αυτή η σχέση επαληθεύεται. Το ερώτημα είναι ωστόσο ο μηχανισμός της σύνδεσης. Ο μεγαλύτερος αριθμός και η συνολικά μεγαλύτερη καμένη έκταση στην Αττική μπορεί να ερμηνευτεί λόγω των αυξημένων πιέσεων για αλλαγές στη χρήση γης σε σχέση με την Εύβοια. Αυτή η παράμετρος δεν είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας, ωστόσο υπάρχει αρκετή υποστήριξη που τεκμηριώνει τη σχέση ανάμεσα στις πιέσεις για την αλλαγή χρήσης γης και την εκδήλωση της πυρκαγιάς (Briassoulis, 1992; Lekakis, 1995; Gomes, 2006; Chas Amil, 2007). Η πληθυσμιακή συγκέντρωση στο νομό Αττικής και η πίεση για αστική επέκταση μπορούν, λοιπόν, να ερμηνεύσουν τη διαφορά. Επιπλέον αυτό ερμηνεύει και το μεγάλο αριθμό περιπτώσεων φωτιάς σε δασικές εκτάσεις καθώς αυτή είναι η περίπτωση όπου η νομοθεσία θέτει τα μεγαλύτερα εμπόδια στην αλλαγή της χρήσης γης κυρίως με κατεύθυνση την οικοδόμηση. Θα μπορούσε ακόμα να υποθέσει κανείς ότι και ο αριθμός πυρκαγιών που οφείλεται σε αμέλεια θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος στο νομό Αττικής για στατιστικούς λόγους: η μεγαλύτερη πληθυσμιακή συγκέντρωση και η εντονότερη ανθρώπινη παρουσία στο νομό αυτό δημιουργούν τις προϋποθέσεις για αυξημένο αριθμό ατυχημάτων.

Η επόμενη διαφορά που χρήζει ερμηνείας είναι το γεγονός ότι στην Εύβοια οι πυρκαγιές είναι μεγαλύτερες κατά μέσο όρο. Μία πρώτη προσέγγιση θα μπορούσε να αφορά τα πυροσβεστικά μέσα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα πυροσβεστικό όχημα φτάνει στη μέγιστη απόδοσή του όταν επανδρώνεται από τρεις πυροσβέστες (Εμμανουηλάκης Β., προσωπική επικοινωνία) και παρατηρώντας ότι η αναλογία αυτή εξασφαλίζεται και στους δύο νομούς η ελαφριά διαφορά υπέρ του νομού Αττικής στον αριθμό των πυροσβεστών που επεμβαίνουν δεν μπορεί να αξιολογηθεί. Από την άλλη στο πιο αποτελεσματικό μέσο που διατίθεται, δηλαδή τα πυροσβεστικά αεροπλάνα, η αναλογία είναι υπέρ του νομού Ευβοίας. Ωστόσο αν δεχθούμε ότι υπάρχουν διαφορές στην έκταση των πυρκαγιών με την έκταση στην Εύβοια να

είναι μεγαλύτερη αλλά όχι στα διατιθέμενα πυροσβεστικά μέσα οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι για αντίστοιχο μέγεθος πυρκαγιάς διατίθενται στην Εύβοια λιγότερα μέσα. Αυτό βέβαια έχοντας υπόψη ότι η ερμηνευτική αξία των πυροσβεστικών μέσων είναι περιορισμένη, εφόσον τελικά η πυρκαγιά προσδιορίζει τα μέσα και όχι το αντίστροφο.

Μία άλλη προσέγγιση θα μπορούσε να είναι η ερμηνεία με βάση το είδος της βλάστησης που καίγεται. Η διαφορά στο μέγεθος της καμένης έκτασης ανά πυρκαγιά δεν περιορίζεται στο σύνολο του δείγματος αλλά φαίνεται να επιμένει και όταν εξετάζεται ο κάθε τύπος βλάστησης ξεχωριστά. Η συνεισφορά όμως των διαφορετικών τύπων βλάστησης στο σύνολο της καμένης έκτασης διαφέρει μεταξύ των δύο νομών και επιπλέον οι τύποι βλάστησης διαφέρουν μεταξύ τους στην τάση να δίνουν μικρότερες ή μεγαλύτερες πυρκαγιές. Ωστόσο, εφόσον η διαφορά παρέμεινε ακόμα και όταν εξαιρέθηκε η χορτολιβαδική βλάστηση από τη σύγκριση, η οποία στατιστικά επηρέαζε το τελικό αποτέλεσμα υπέρ της Εύβοιας, δεν θα πρέπει να αποδοθεί στους τύπους της βλάστησης που καίγονται.

Θα μπορούσε κανείς να εστιάσει στο διαθέσιμο αριθμό πυροσβεστικών σταθμών και κλιμακίων ο οποίος είναι περίπου διπλάσιος στην Αττική σε σχέση με την Εύβοια, παρά τη μικρότερη έκταση της πρώτης, με συνέπεια να αναλογεί μικρότερη έκταση ανά σημείο στήριξης του Πυροσβεστικού Σώματος στην Αττική σε σχέση με την Εύβοια. Αυτή η διαφορά στη διαθεσιμότητα και επομένως στην απόσταση που πρέπει να διανυθεί μέχρι να επέμβουν οι πυροσβεστικές δυνάμεις είναι δυνατό να δίνει χρόνο στη φωτιά να εξελιχθεί. Εφόσον η καμένη έκταση συσχετίζεται με το χρόνο αυτός θα μπορούσε να είναι ένας πιθανός μηχανισμός. Επιπλέον η παρέλευση μεγαλύτερου χρόνου μέχρι την πρώτη προσβολή της φωτιάς δημιουργεί τις προϋποθέσεις ώστε η φωτιά να αναπτυχθεί σε δύσκολα ελέγξιμη πυρκαγιά (Βορίσης, 2004).

Η άλλη παράμετρος που θα μπορούσε να ερμηνεύσει τη διαφορά στο μέγεθος της πυρκαγιάς είναι η κατανομή των πυρκαγιών σε ημερομηνίες με διαφορετικές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας. Η κεντρική τάση στην Εύβοια είναι οι πυρκαγιές να εκδηλώνονται σε ημερομηνίες με υψηλότερες τιμές του δείκτη σε σχέση με την Αττική. Η διαφορά αυτή μπορεί να ερμηνεύσει την διαφορά στις καμένες εκτάσεις, ωστόσο μεταθέτει το πρόβλημα της ερμηνείας του φαινομένου: γιατί αυτή η διαφορά στο δείκτη, άρα στις ημερομηνίες; Η κατανομή φαίνεται λογική στην Εύβοια με λίγες αξιοσημειώμενες πυρκαγιές στις ημέρες με χαμηλές τιμές του δείκτη λόγω των μη ευνοϊκών συνθηκών, λίγες επίσης (ως συχνότητα) στις πολύ ευνοϊκές ημέρες (λόγω σπανιότητας των ακραίων συνθηκών). Ως υπόθεση εργασίας και μόνο θα μπορούσε να διατυπώσει κανείς την άποψη ότι εάν πράγματι το μεγαλύτερο μέρος των πυρκαγιών οφείλεται σε εμπρησμό, είτε ο εμπρησμός συνειδητά δεν γίνεται σε ημέρες με ακραία ευνοϊκές συνθήκες, εφόσον η πρόθεση δεν είναι μια μεγάλης κλίμακας καταστροφή αλλά μια περιορισμένης κλίμακας αλλαγή των χρήσεων γης, είτε ότι γίνεται ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και στατιστικά οι ακραία ευνοϊκές ημέρες είναι λιγότερες άρα και τα επεισόδια είναι αντίστοιχα λιγότερα. Προφανώς οι δύο υποθέσεις δεν αλληλοαποκλείονται αμοιβαία.

Μία άλλη πιθανή παράμετρος, που δεν είναι δυνατό να διερευνηθεί στη βάση των στοιχείων της εργασίας αυτής, είναι η επίδραση του μεγάλου αριθμού μικρών σε έκταση πυρκαγιών που παρατηρούνται στην Αττική στο μέγεθος των επόμενων. Θα μπορούσε να υποθεθεί ότι ο μεγάλος αριθμός περιορισμένων σε έκταση πυρκαγιών δημιουργεί αρνητικές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη μεγάλων πυρκαγιών δημιουργώντας ασυνέχειες στους χώρους που θα μπορούσε να εξαπλωθεί μια νέα πυρκαγιά. Επιπλέον ακόμα και εάν η βλάστηση έχει ανακάμψει θα έχει μειωμένη ιστάμενη μάζα που θα μπορούσε να τροφοδοτήσει μια φωτιά η οποία θα ήταν δύσκολο να τεθεί υπό έλεγχο. Λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο αριθμό πυρκαγιών καθώς και το γεγονός ότι η φωτιά έχει την τάση να επανέρχεται στους ίδιους χώρους (Mouillot *et. al.*, 2003; Viedma *et. al.*, 2006), πιθανόν λόγω της ανάπτυξης πυρόφιλης βλάστησης ως αποτέλεσμα της, θα μπορούσε να πει κανείς ότι έχουμε συχνές επαναλήψεις από μικρής έκτασης πυρκαγιές. Αυτή η ερμηνεία ωστόσο δεν είναι πλήρης γιατί δε λαμβάνει υπόψη την επικρατούσα εκτίμηση για το ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα. Το ερώτημα τελικά θα μπορούσε να απαντηθεί εάν μελετηθεί με χωρικά συγκεκριμένο τρόπο το

μόρφωμα της εξάπλωσης των πυρκαγιών στους αντίστοιχους χώρους.

## 5. Συμπεράσματα

Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στο μόρφωμα των πυρκαγιών μεταξύ Αττικής και Εύβοιας συνοψίζονται στα εξής χαρακτηριστικά: μεγαλύτερος αριθμός και μεγαλύτερη συνολικά καμένη έκταση στην Αττική αλλά μεγαλύτερο μέσο μέγεθος πυρκαγιάς στην Εύβοια. Η διαφορά στον αριθμό και στη συνολική καμένη έκταση μπορεί να ερμηνευθεί λόγω της διαφοράς στην πίεση για αλλαγή της χρήσης της γης ανάμεσα στους δύο νομούς. Η διαφορά στο μέσο μέγεθος θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένα βαθμό από τις διαφορές στις καιρικές συνθήκες κατά τις ημερομηνίες που αυτές εκδηλώνονται και στην πυκνότητα των πυροσβεστικών σταθμών και κλιμακίων στους δύο νομούς. Ωστόσο δύο ερωτήματα χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης: Σε τι οφείλεται η διαφορά μεταξύ των δύο νομών στην κατανομή των πυρκαγιών σε ημέρες με διαφορετικές τιμές του δείκτη επικινδυνότητας και επομένως με διαφορετικές καιρικές συνθήκες και ακόμα ποια θα μπορούσε να είναι η επίδραση της διαφοράς στον αριθμό και τη συνολικά καμένη έκταση επί της μέσης έκτασης κάθε πυρκαγιάς.

## Βιβλιογραφία

Βορίσης Δ., 2004: Ο ρόλος των επιχειρησιακών κέντρων συντονισμού στην κατάσταση των δασικών πυρκαγιών. Η ελληνική πραγματικότητα. Έκδοση Αρχηγείου Πυροσβεστικού Σώματος.

Briassoulis H., 1992: The Planning Uses of Fire: Reflections on the Greek Experience. *Journal of Environmental Planning and Management*, 35, 161-173.

Chas Amil M.L., 2007: Forest fires in Galicia (Spain): Threats and challenges for the future. *Journal of Forest Economics*, 13, 1-5.

Dimitrakopoulos A.P., 2001: Thermogravimetric analysis of Mediterranean plant species. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 60, 123-130.

Gomes J.F.P., 2006: Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen. *International Journal of Environmental Studies*, 63, 109-119.

Iliadis L.S., A.K. Papastavrou, P.D. Lefakis, 2002a: A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets. *Forest Policy and Economics*, 4, 43-54.

Iliadis L.S., A.K. Papastavrou, P.D. Lefakis, 2002b: A heuristic expert system for forest fire guidance in Greece. *Journal of Environmental Management*, 65, 327-336.

Lekakis J.N., 1995: Social and Ecological Correlates of Rural Fires in Greece. *Journal of Environmental Management*, 43, 41-47.

Moreira F., Rego F.C., Ferreira P.G., 2001: Temporal (1958-1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence. *Landscape Ecology*, 16: 557-567.

Mouillot F., J.-P. Ratte, R. Joffre, J.M. Moreno and S. Rambal, 2003: Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a Mediterranean landscape (Corsica, France). *Landscape Ecology*, 18, 665-674.

Viedma O., J.M. Moreno, I. Riero, 2006: Interactions between land use/land cover change, forest fires and landscape structure in Sierra de Gredos (Central Spain). *Environmental Conservation*, 33, 212-222.

Viegas D.X., 1999: Main causes of forest fires. Mechanical Engineering Department, University of Coimbra, Portugal.

## ΠΕΙΡΑΤΕΙΕΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΔΑΦΝΩΝΑ (ΝΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ)

Κόντου Α., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκιάν Χ.

*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας*

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετώνται δύο πειρατείες υδρογραφικού δικτύου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Δάφνων, με σκοπό την καταγραφή των επιμέρους χαρακτηριστικών τους και τον προσδιορισμό των παραγόντων που διευκόλυναν τις συλλήψεις. Πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των περιοχών με ψηφιοποίηση των ισοϋψών ανά 4μ. σε κλίμακα 1:5.000, καθώς και επιμήκεις τομές της κεντρικής κοίτης των ρεμάτων (αποκομμένων και πειρατών). Η πειρατεία στην περιοχή της Ανω Βοσκίνας αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση σύλληψης ενός κεντρομόλου δικτύου από παραπόταμο του Δάφωνα. Η πειρατεία στην περιοχή του Αγ. Βασιλείου είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση σύλληψης ενός κλάδου του Δάφωνα από γειτονικό δίκτυο, με χαρακτηριστική κάμψη σε ορθή γωνία. Οι λιθολογικές διαφοροποιήσεις και ο ρηξιγενής τεκτονισμός δεν αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που διευκόλυναν τις πειρατείες, σε αντίθεση με τη μορφολογία του αναγλύφου και το στάδιο εξέλιξης του γεωμορφολογικού κύκλου στο οποίο βρίσκεται η περιοχή (στάδιο ωριμότητας με αναγεννημένο το κατάντη τμήμα του δικτύου), το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εμφάνιση των πειρατειών στο δίκτυο του Δάφωνα.

### CASES OF STREAM PIRACY IN THE DRAINAGE BASIN OF DAFNON RIVER (SE PELOPONNESUS)

Kontou A., Gaki-Papanastasiou K., Maroukian H.

*University of Athens, Faculty of Geology, Department of Geography-Climatology*

### Abstract

In this paper two cases of stream piracy in the drainage basin of Dafnon River are studied. The aim of this study is to record the respective characteristics and the factors that facilitated the stream captures. Mapping of the areas at a scale of 1:5.000 and construction of the longitudinal profiles of the main channels were performed. The piracy in the area of Ag. Vasilios is a peculiar case of stream capture by a pirate neighbouring river, with the usual right angle headward approach. The piracy in the area of A. Voskina is a characteristic stream capture of a centripetal drainage network. Lithology and fault tectonism are not the main factors of piracy influence. On the contrary, the morphology and hydro-geomorphology of the region are the principal factors that influenced the stream piracies.

**Λέξεις κλειδιά:** Πειρατεία υδρογραφικού δικτύου, σύλληψη υδρογραφικού δικτύου, Δάφνων, Πελοπόννησος.

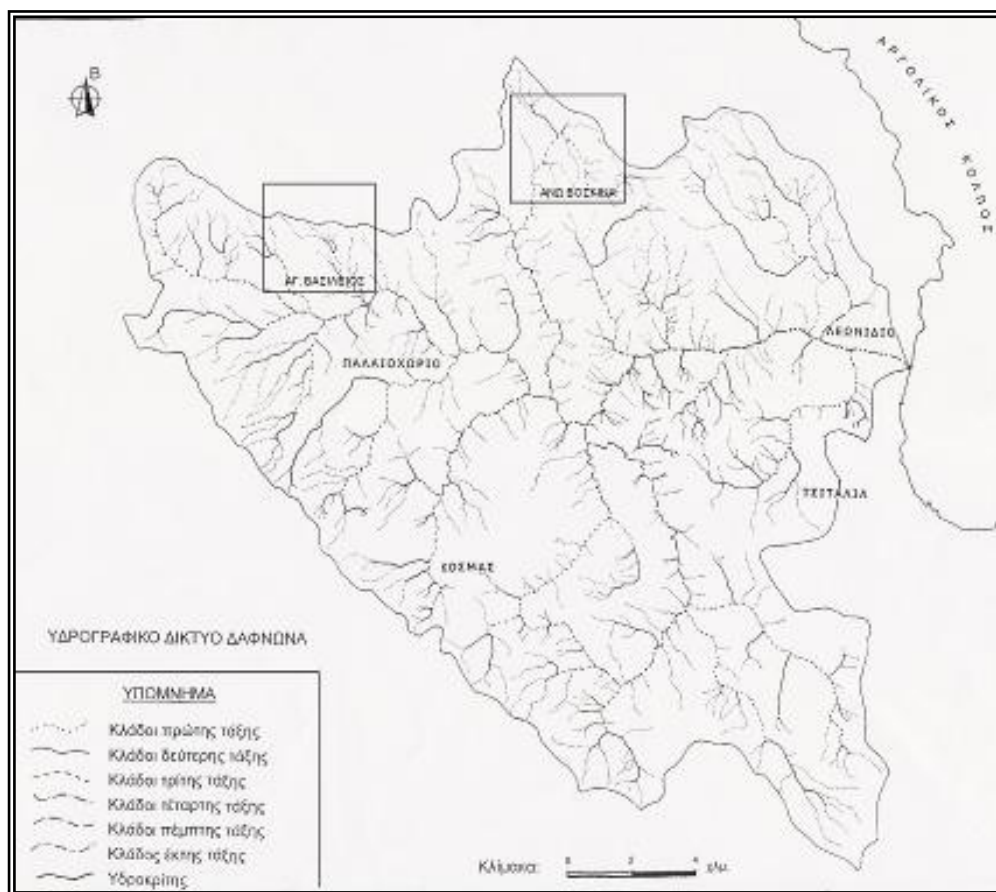
**Key words:** Stream piracy, stream capture, Dafnon, Peloponnesus.

### 1. Εισαγωγή

#### 1.1 Γενικά - Σκοπός της εργασίας - Μεθοδολογία

Κατά την εξέλιξη ενός τυπικού ποτάμιου κύκλου τα χαρακτηριστικά ενός υδρογραφικού δικτύου διαφοροποιούνται ανάλογα με το στάδιο εξέλιξης που βρίσκεται αυτό. Στο στάδιο της ωριμότητας συχνά λαμβάνουν χώρα πειρατείες οι οποίες αφορούν στη σύλληψη των υδάτων

ενός υδρογραφικού δικτύου από ένα γειτονικό του. Κυρίως οφείλονται στα διαφορετικά υψόμετρα των βασικών επιπέδων των δύο λεκανών απορροής, με τον πειρατή ποταμό να έχει χαμηλότερο βασικό επίπεδο. Η πειρατεία οδηγεί στη δημιουργία μεγαλύτερου δικτύου και συμβαίνει συνήθως σε ορεινές περιοχές με έντονο ανάγλυφο, διαφοροποιήσεις στη λιθολογία ή/και ρηξιγενή τεκτονισμό. Επιτυγχάνεται κυρίως με οπισθοδρομούσα ή πλευρική διάβρωση (Lauder W.R. 1968, Sala M. 2004).



Σχήμα 1. Υδρογραφική λεκάνη ποταμού Δάφνωνα και περιοχές μελέτης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη δύο περιοχών στην υδρογραφική λεκάνη του ποταμού Δάφνωνα, προκειμένου να πιστοποιηθούν οι πειρατείες στα επιμέρους δίκτυα και να διευκρινιστούν τα αίτια που οδήγησαν στις συλλήψεις των ρεμάτων καθώς και οι παράγοντες εκείνοι που τις διευκόλυναν.

Χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000, τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 και αεροφωτογραφίες. Πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση των ισοϋψών ανά 40μ. για τα υδρογραφικά δίκτυα και ανά 4μ. για τη στενή περιοχή των πειρατειών, σε κλίμακα 1:5.000 με χρήση λογισμικού MapInfo. Επίσης, έγιναν επιμήκεις τομές της κεντρικής κοίτης των ρεμάτων (αποκομμένων και πειρατών).

### 1.2 Γεωγραφικά στοιχεία - Υδρογραφικό δίκτυο ποταμού Δάφνωνα

Η υδρογραφική λεκάνη του ποταμού Δάφνωνα, έκτασης 311 τ.χλμ., βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του ορεινού Πάρωνα στη ΝΑ Πελοπόννησο. Οι περιοχές μελέτης εστιάζονται στο βόρειο τμήμα της υδρογραφικής λεκάνης του Δάφνωνα (Σχήμα 1). Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ποικιλόμορφη τοπογραφία, όπου επικρατεί το ανάγλυφο απόπλυσης/διάβρωσης, καθώς και από ένα ικανοποιητικά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο σχετίζεται άμεσα με την τεκτονική και λιθολογία της. Ο Δάφνων παρουσιάζει χειμαρρώδη δράση, ενώ υδρολογικά εξεταζόμενη η περιοχή εμφανίζει σημαντική υπόγεια απορροή, μεγαλύτερη ίσως από την επιφανειακή, καθώς στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από υδροπερατά ανθρακικά πετρώματα.

Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου του Δάφνωνα είναι κυρίως δενδριτικός αν και τοπικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως κλιμακωτό, ορθογώνιο ή παράλληλο. Με βάση τις γεωμορφές που παρατηρούνται σ' έναν τυπικό ποτάμιο κύκλο, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το δίκτυο βρίσκεται σ' ένα στάδιο ωριμότητας με εξαίρεση το κεντρικό και ανατολικό κατάντη τμήμα του, όπου είναι αναγεννημένο και το ποτάμι εγκλιβωτισμένο. Η αναγέννηση αυτή, που έλαβε χώρα κατά το Μέσο-Άνω Πλειστόκαινο, οφείλεται κυρίως στη συνεχιζόμενη καταβύθιση του Αργολικού Κόλπου με επακόλουθο η οπισθοδρομούσα διάβρωση να προχωρά σταδιακά προς τα ανάντη. Κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο οι ευστατικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας επηρεάζουν τα κατάντη τμήματα του αναγεννημένου δικτύου (Κόντου Α. 2002, Κόντου et al., 2004).

### 1.3 Γεωλογία-Τεκτονική

Το σημερινό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι κυρίως αποτέλεσμα της λιθολογίας (επικράτηση των ανθρακικών/δολομιτικών σχηματισμών), του μεταλλικού ρηγματογόνου τεκτονισμού, που χαρακτηρίζεται από ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ (Mariolakos et al., 1985), των γεωμορφικών διεργασιών και των έντονων κλιματικών μεταβολών κατά το Μ.-Αν. Πλειστόκαινο. Το τεκτονικό βύθισμα του Αργολικού Κόλπου ανάλογης διεύθυνσης αποτελεί σημαντικό γεγονός για την εξέλιξη του κατώτερου τμήματος του υδρογραφικού δικτύου του Δάφνωνα.

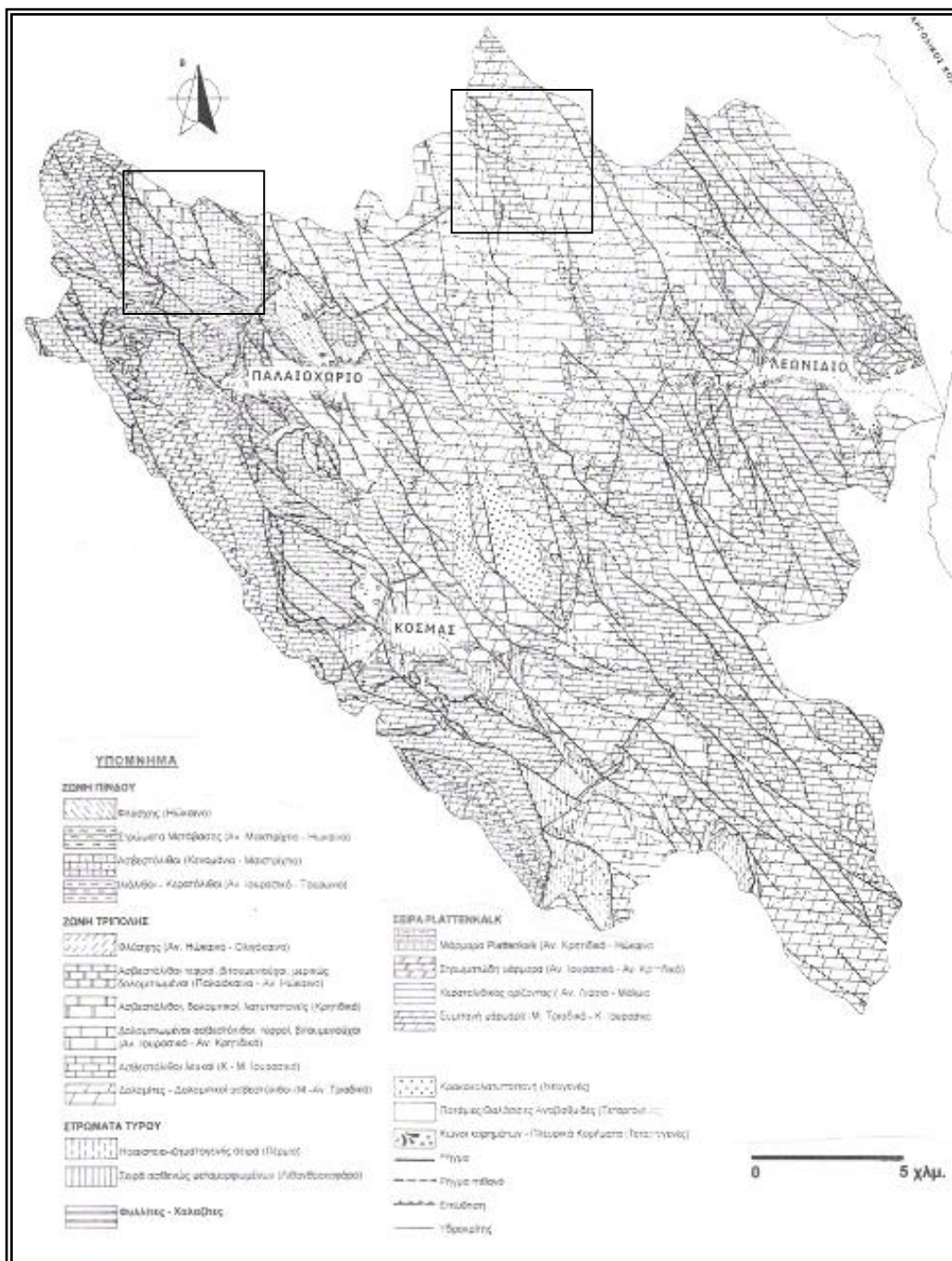
Οι γεωτεκτονικές ενότητες της Πίνδου και της Τρίπολης, η Φυλλιτική-χαλαζιτική σειρά, η σειρά «Plattenkalk», καθώς και σχηματισμοί του Νεογενούς και Τεταρτογενούς συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της περιοχής (Renz C. 1955, Lekkas S. 1980, Thiebault F. 1982, Bassias J. 1989) (Σχήμα 2).

### 1.4 Κλιματικό καθεστώς

Στην περιοχή επικρατεί ο χερσαίος μεσογειακός τύπος κλίματος. Από τα στοιχεία πέντε μετεωρολογικών σταθμών (Βαμβακού, Βασαράς, Βούρβουρα, Λεωνίδιο, Σπάρτη) προκύπτει ότι οι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για τους ορεινούς σταθμούς είναι 560-970 χλμ. ενώ για το σταθμό του Λεωνιδίου είναι 288 χλμ.

Στην σχεδόν ξηρή κοίτη του Δάφνωνα αντανακλώνται οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής που χαρακτηρίζονται από μικρό σχετικά ύψος υετού με αποτέλεσμα ο Δάφνωνας να ενεργοποιείται σπάνια μόνο μετά από έντονες αλλά σύντομες βροχοπτώσεις δίνοντας πλημμύρες με περίοδο επανάληψης ανά πενταετία.

Αξιοσημείωτες είναι οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στο Λεωνίδιο κατά τη χειμερινή περίοδο, κάτι που δικαιολογείται από τη θέση του στα ανατολικά παράλια της Πελοποννήσου, όπου επικρατούν οι ΒΑ ψυχροί άνεμοι.



Σχήμα 2. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής (IGME 1978, Κόντου Α. 2002).



## 2. Εκτροπές υδρογραφικού δικτύου

Όπως προαναφέρθηκε το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού Δάφνωννα χαρακτηρίζεται από δύο γεωμορφολογικές ενότητες: μια εκτεταμένη καρστικοποιημένη παλαιοεπιφάνεια, που αντιστοιχεί στο ανώτερο τμήμα του δικτύου, και το αναγεννημένο κατάντη τμήμα του.

Το ποτάμι δρα περισσότερο κατά βάθος και οι διεργασίες εκβάθυνσης υπερτερούν ακόμη αυτών της διαπλάτυνσης. Επιπλέον, σημεία κάμψης οριοθετούν τις θέσεις όπου η αναγεννημένη κοιλάδα διαφοροποιείται από το «ώριμο» ανάγλυφο που χαρακτηρίζεται από παλαιοεπιφάνειες. Συχνές είναι οι γωνιώδεις κάμψεις των ρεμάτων του δικτύου του Δάφνωννα, καθώς και οι συλλήψεις ρεμάτων από παραπλήσιες λεκάνες, σαν συνέπεια κυρίως του σταδίου εξέλιξης στο οποίο βρίσκονται, της οπισθοδρομούσας διάβρωσης και της διεύρυνσης των ρεμάτων τόσο σε βάθος και πλάτος όσο και σε μήκος.

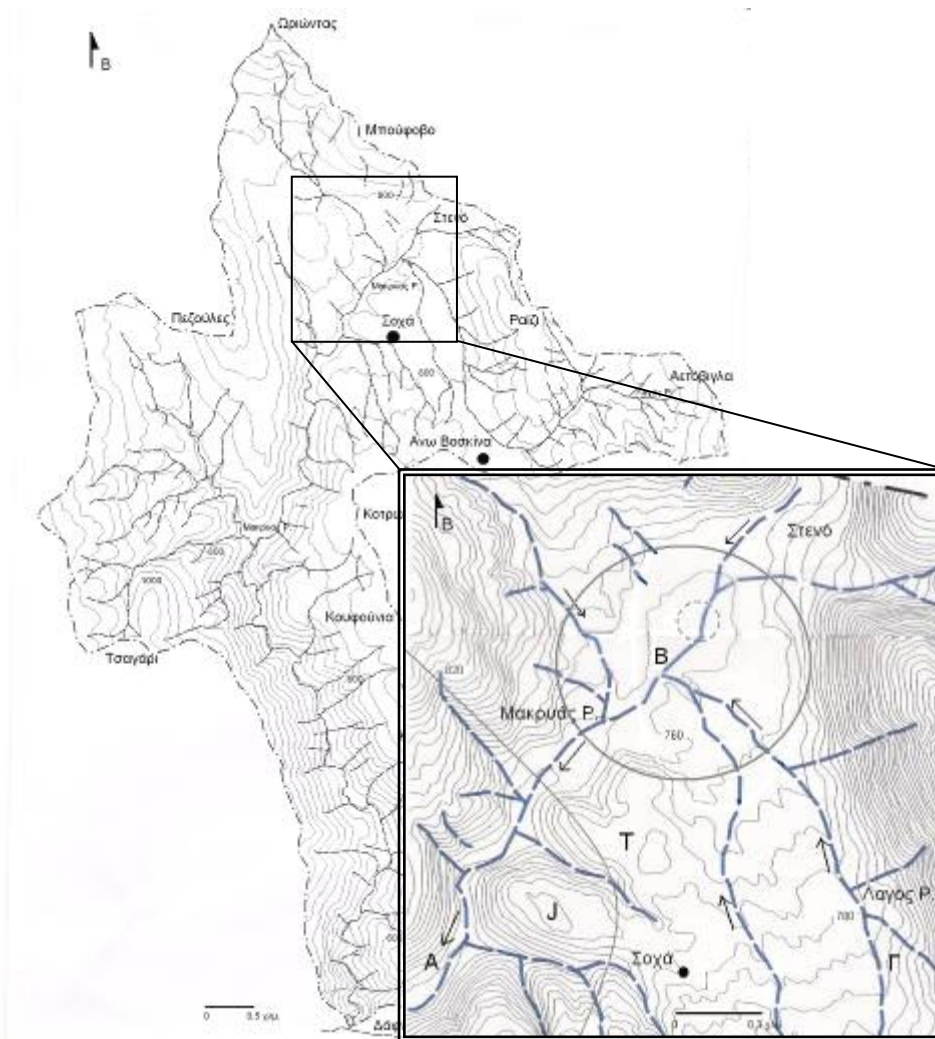
### 2.1. Μακρυάς Ρέμα – Λαγός ρέμα

Πρόκειται για μια χαρακτηριστική περίπτωση σύλληψης ποταμού, που απαντά σε υψόμετρο 760 μ., κοντά στο βόρειο όριο του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Δάφνωννα στην περιοχή της Άνω Βοσκίνας (Φωτ. 1). Πιο συγκεκριμένα, ο παραπόταμος Μακρυάς, ένας 4ης τάξης κλάδος του ποταμού Δάφνωννα, εμφανίζεται ως πειρατής να έχει εισβάλει με τη βοήθεια της οπισθοδρομούσας διάβρωσης στο γειτονικό δίκτυο του ρέματος Λαγός, το οποίο έχει αντίθετη διεύθυνση ροής, και να έχει συλλάβει τα ύδατα του τελευταίου αυξάνοντας έτσι σημαντικά το μήκος του, καθώς και την τάξη του (Σχήμα 3). Πιο συγκεκριμένα:

- Η αλλαγή πορείας του συλληφθέντος ρέματος του Λαγού σηματοδοτείται από μια οξεία γωνία στο σημείο της σύλληψής του από τον γειτονικό Μακρυά.
- Παρατηρείται σημαντική εκβάθυνση της κοίτης του πειρατή ποταμού Μακρυά, η οποία οφείλεται στην αύξηση της παροχέτευσης μέσω των υδάτων του συλληφθέντος κλάδου και στην έντονη κατά βάθος διάβρωση. Η κοίτη του ρέματος Μακρυά, όπως είναι αναμενόμενο, βρίσκεται χαμηλότερα από την κοίτη του ρέματος Λαγός.
- Η λιθολογία παίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση αυτή, καθώς οι δύο κλάδοι ρέουν σε δύο διαφορετικά είδη ασβεστολίθων. Ο Μακρυάς ρέμα ρέει κυρίως σε Ιουρασικούς ασβεστολίθους (J) της ζώνης Τρίπολης που διαβρώνονται πιο δύσκολα από τους Τριαδικούς ασβεστολίθους (T) της ίδιας ζώνης, πάνω στους οποίους ρέει ο Λαγός ρέμα και οι οποίοι είναι σχετικά ευδιάλυτοι. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται και με την προχωρημένη καρστικοποίηση της περιοχής της Άνω Βοσκίνας όπου παρατηρούνται μεγάλες επιφάνειες ισοπέδωσης.



Φωτ. 1. Πειρατεία στην περιοχή της Άνω Βοσκίνας (από Α προς Δ).

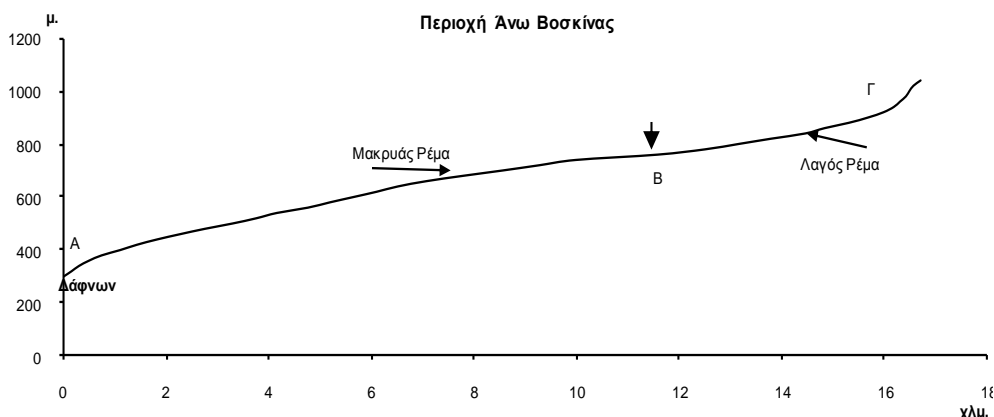


Σχήμα 3. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Ανω Βασκίνας. Στο ένθετο σημειώνεται η θέση της πειρατείας και η διαφοροποίηση στη λιθολογία.

- Η κλίση της κεντρικής κοίτης του ρέματος Μακρύας είναι απότομη (30%), σε αντίθεση με το Λαγό ρέμα, ο οποίος ρέει σε ένα ήπιο ανάγλυφο με μικρή κλίση (0,5%) και κατά συνέπεια με μικρή διαβρωτική ικανότητα. Επιπλέον, οι ρηξιγενείς γραμμές που επικρατούν στην περιοχή έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και είναι πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη των υδρογραφικών λεκανών σ' αυτή τη διεύθυνση.
- Από τον τοπογραφικό χάρτη του Σχήματος 3 γίνεται φανερό ότι πριν τη σύλληψη ο Μακρύας ρέμα είχε διεύθυνση ροής από ΒΒΔ προς ΝΝΑ. Από την άλλη πλευρά, το δίκτυο του ρέματος Λαγός ήταν ένα κεντρομόλο δίκτυο με διεύθυνση εσωτερικής ροής όλων των επιμέρους κλάδων του προς μια ταπείνωση της επιφάνειας του αναγλύφου, το πιθανότερο ένα καρστικό έγκοιλο, όπως μια δολίνη, σχηματισμοί οι οποίοι είναι πολύ συχνόι στην

καρστικοποιημένη παλαιοεπιφάνεια του δικτύου του Δάφνωνα. Στο Σχήμα 3 σημειώνεται με τα βέλη η κεντρομόλος ροή στην περιοχή γύρω από το σημείο της σύλληψης και με διακεκομμένη γραμμή η περιοχή αυτή της εσωτερικής ροής. Επίσης, σημειώνεται η διαφοροποίηση στη λιθολογία.

- Στην επιμήκη τομή της κεντρικής κοίτης του ρέματος Μακρούς (Σχήμα 4) σημειώνεται το σημείο της σύλληψης (B), το κατάντη τμήμα του (AB) που αντιστοιχεί στο ρέμα Μακρούς πριν τη σύλληψη, καθώς και το ανάντη τμήμα του σημερινού Μακρούς (BG) που αντιστοιχεί στο συλληφθέν ρέμα Λαγός.

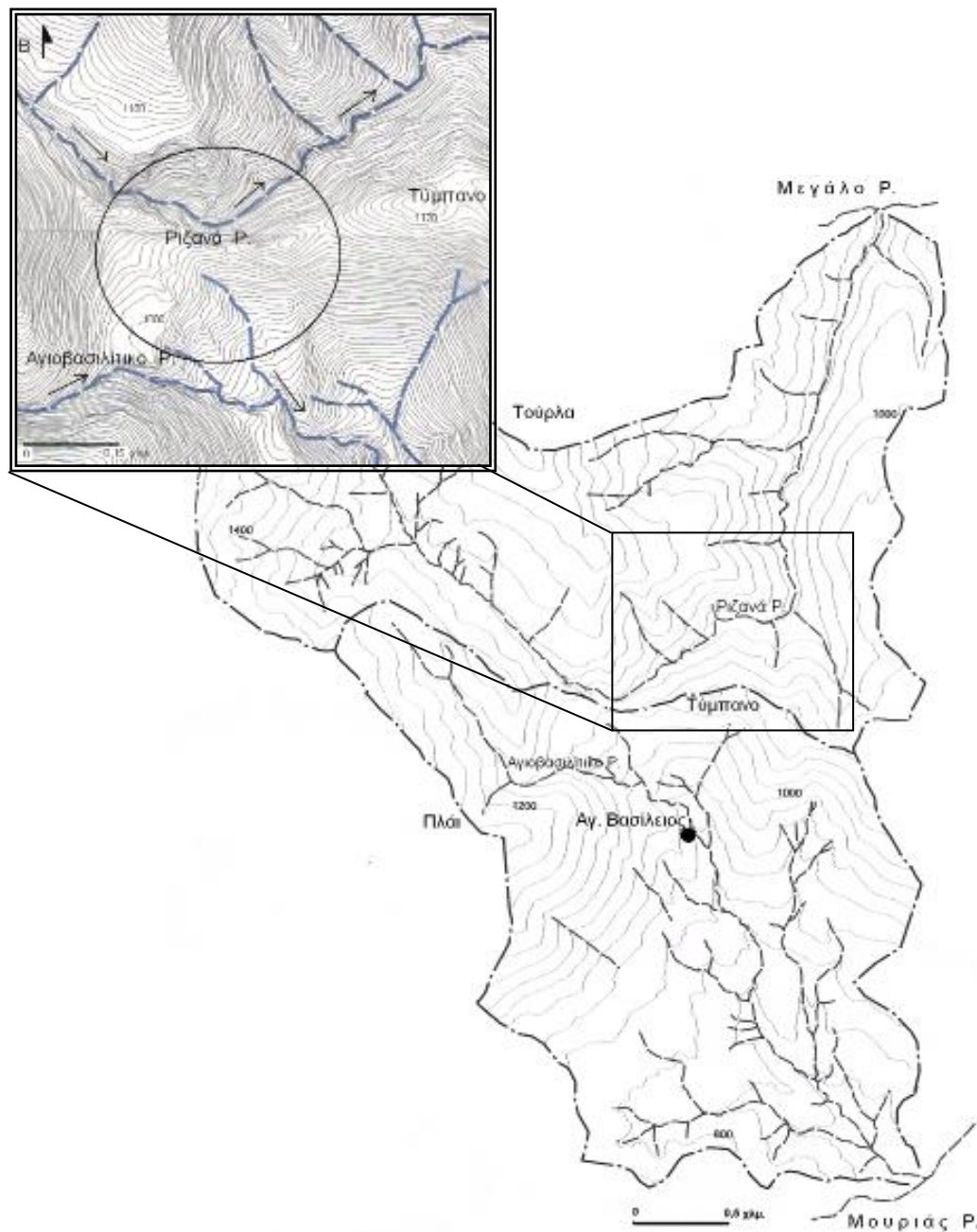


Σχήμα 4. Επιμήκης τομή της κεντρικής κοίτης των ρεμάτων Μακρούς και Λαγός.

## 2.2. Αγιοβασιλίτικο Ρέμα – Ριζανά Ρέμα

Πρόκειται για μια ιδιόζουσα περίπτωση σύλληψης ποταμού σε δολομιτικούς ασβεστολίθους, που παρατηρείται σε υψόμετρο 1.040 μ., κοντά στο βορειοδυτικό όριο του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του δικτύου του Δάφνωνα, στην περιοχή του Αγ. Βασιλείου. Πιο συγκεκριμένα, το Αγιοβασιλίτικο ρέμα, ένας 3ης τάξης κλάδος του ποταμού Δάφνωνα εμφανίζεται αποκομμένος και με μικρότερο μήκος ροής και εν μέρει ατροφικός. Ο Ριζανά ρέμα, ένας κλάδος που ανήκει στο γεγονικό του Δάφνωνα υδρογραφικό δίκτυο του Μεγάλου Ρέματος, εμφανίζεται ως πειρατής να παροχετεύει το ανάντη τμήμα του Αγιοβασιλίτικου ρέματος που αποκόπηκε, μέσω της σύλληψης των υδάτων του τελευταίου (Σχήμα 5). Ειδικότερα:

- Το ανάντη τμήμα του Αγιοβασιλίτικου ρέματος που αποκόπηκε, έχει την ίδια ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση με τη φυσική συνέχειά του (τον σημερινό 3ης τάξης κλάδο του Δάφνωνα), κάτι που υποδηλώνει ότι στην πραγματικότητα αποτελούσε τμήμα του Αγιοβασιλίτικου ρέματος. Ο υδροκρίτης των δύο λεκανών είναι σήμερα μια ράχη ανάμεσά τους, πλάτους 60μ. περίπου, σε υψόμετρο 1080μ. (Φωτ. 2).
- Η αλλαγή πορείας του ανάντη τμήματος του Αγιοβασιλίτικου ρέματος σηματοδοτείται από μια ορθογώνια καμπή στο σημείο της σύλληψής του από το γειτονικό Ριζανά ρέμα (elbow of capture), καθώς και από την ύπαρξη, πολύ κοντά στο σημείο αυτό, της τεκτονικής επαφής της επωθημένης ενότητας της Πίνδου πάνω στην ενότητα της Τρίπολης.
- Το ατροφικό τμήμα του Αγιοβασιλίτικου ρέματος (ο σημερινός 3ης τάξης κλάδος) δείχνει να είναι ασυμβίβαστος με την κοιλάδα μέσα στην οποία ρέει. Επιπλέον, η ύπαρξη φερτών υλικών στην περιοχή της ράχης του υδροκρίτη αποτελεί άλλη μια ένδειξη της.



Σχήμα 5. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Αγ. Βασιλείου, όπου σημειώνεται η πειρατεία



Φωτ. 2. Σημείο σύλληψης στην περιοχή Αγ. Βασιλείου - Ράχη υδροκρίτη από Β προς Ν.πειρατείας, καθώς υποδηλώνει υπολειμματικές αποθέσεις της ροής του Αγιοβασιλίτικου ρέματος προς νότο πριν την πειρατεία.

- Παρατηρείται εκβάθυνση της κοίτης του πειρατή ποταμού, η οποία οφείλεται στην αύξηση της παροχέτευσης μέσω των υδάτων του συλληφθέντος ποταμού.



Σχήμα 6. Επιμήκης τομή της κεντρικής κοίτης των ρεμάτων Αγιοβασιλίτικο και Ριζανά.

Προκειμένου να πιστοποιηθούν τα παραπάνω, τα οποία είναι εμφανή και στο ύπαιθρο, πραγματοποιήθηκαν οι επιμήκεις τομές των κεντρικών κοιτών των δύο ρεμάτων (Σχήμα 6), στις οποίες φαίνεται ο αποκομμένος ποταμός να καταλήγει ακριβώς στο υψόμετρο όπου έγινε η σύλληψη.

Σημειώνεται ότι η κοίτη του πειρατή Ριζανά ρέμα, κατά παράδοξο τρόπο, βρίσκεται ψηλότερα από την κοίτη του ατροφικού Αγιοβασιλίτικου ρέματος κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η πειρατεία έγινε με μικρή υψομετρική διαφορά και όχι με έντονη κατά βάθος διάβρωση. Επιπλέον τα δύο επιμέρους δίκτυα βρίσκονται πολύ κοντά στον υδροκρίτη που χωρίζει δύο μεγαλύτερα δίκτυα με αντίθετη ροή: το δίκτυο του Δάφωνα και το γειτονικό δίκτυο του Μεγάλου ρέματος. Η μεγαλύτερη διάβρωση, που παρατηρείται στην κατάντη περιοχή της πειρατείας του Αγιοβασιλίτικου ρέματος, οφείλεται κυρίως στα ευδιάβρωτα πετρώματα του φλύσχη που επικρατούν στην περιοχή.

### 3. Συμπεράσματα

Με την παρούσα εργασία μελετώνται δύο περιπτώσεις πειρατείας στην υδρογραφική λεκάνη του ποταμού Δάφωνα και καταγράφονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Και οι

δύο περιπτώσεις οριοθετούνται στο βόρειο τμήμα του δικτύου κοντά στον υδροκρίτη αυτού. Η πρώτη πειρατεία παρατηρείται στην περιοχή της Ανω Βοσκίνας και αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση σύλληψης του υδρογραφικού δικτύου του ρέματος Λαγός, το οποίο παρουσίαζε εσωτερική ροή, από το παρακείμενο δίκτυο του ρέματος Μακρυάς, παραποτάμου του Δάφνωνα. Η δεύτερη πειρατεία παρατηρείται στην περιοχή του Αγ. Βασιλείου και αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση σύλληψης του ανάντη τμήματος του Αγιοβασιλίτικου ρέματος, κλάδου του Δάφνωνα, από το Ριζανά ρέμα, το οποίο είναι κλάδος του γειτονικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος και έχει αντίθετη ροή και μικρή υψομετρική διαφορά κοίτης.

Ο ρηξιγενής τεκτονισμός που επικρατεί στην περιοχή και οι λιθολογικές διαφοροποιήσεις, αν και επηρεάζουν την ανάπτυξη της υδρογραφικής λεκάνης του Δάφνωνα, αναφορικά με τις διευθύνσεις των κλάδων και τις κάμψεις των ρεμάτων, δεν αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που διευκόλυναν τις συλλήψεις των μελετούμενων ρεμάτων. Αντίθετα το στάδιο εξέλιξης του γεωμορφολογικού κύκλου στο οποίο βρίσκεται το καλά ανεπτυγμένο δίκτυο του Δάφνωνα και η ποικιλομορφία του αναγλύφου της περιοχής με τις έντονες διαφοροποιήσεις στην κλίση, αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες για την εμφάνιση των πειρατειών στο δίκτυο αυτό.

Ειδικότερα, το υδρογραφικό δίκτυο του Δάφνωνα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας, με εξαίρεση το αναγεννημένο κατάντη τμήμα του. Η οπισθοδρομούσα διάβρωση αποτελεί την κύρια διεργασία της δημιουργίας των πειρατειών, ως επακόλουθο του σταδίου εξέλιξης των υδρογραφικών δικτύων.

Συμπερασματικά, οι συλλήψεις των ρεμάτων στην υδρογραφική λεκάνη του Δάφνωνα αποτελούν σημαντικό κομμάτι της εξέλιξης του αναγλύφου της περιοχής, καθώς και της γεωμορφολογικής ιστορίας του δικτύου του.

## Βιβλιογραφία

Κόντου Α., 2002. Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής Πάρνωννα (Υδρογραφική λεκάνη ποταμού Δάφνωνα), Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, 188σ.

Κόντου Α., Μαρουκιάν Χ., Γάκη-Παπαναστασίου Κ. & Λειβαδίτης Γ., 2004. Μορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του Δάφνωνα Ανατ. Πάρνωνας ΝΑ Πελοπόννησος. 7<sup>ο</sup> Παν. Γεωγραφικό Συνέδριο, Μυτιλήνη, I, 144-152.

Bassias J., 1989. Paléogéographie jurassique des "Plattenkalk" ioniens dans le Péloponnèse oriental (Parnon), Grèce. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Serie II, 275-281.

Lauder W.R., 1968. Stream capture, Piracy. Fairbridge R.W. (ed.), Encyclopedia of Geomorphology, 1054-1057.

Lekkas S., 1980. Les phyllades du Péloponnèse: un métaflysch ionien chevauché par la serie de Gavrovo-Tripolitza. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 291, Serie I, 21-24.

Mariolakos I., Papanikolaou D. and Lagios E., 1985. A Neotectonic Geodynamic Model of Peloponnesus based on morphotectonics, Repeated Gravity measurements and Seismicity. Geol. Jb., Ser. B, No 50, 3-17.

Renz C., 1955. Die vorneogene Stratigraphie der normal sedimentären Formationen Griechenlands. Inst. F. Geol. and Subsurface Research, Athens.

Sala M., 2004. River capture. Goudie A.S. (ed.), Encyclopedia of Geomorphology, 2, 860-861.

Thiebault F., 1982. L' évolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional. Publ. Soc. Geol. Nord., 6, 574p.

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΝ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ  
ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ:  
Ο ΣΕΙΣΜΟΣ M=9.2 R ΤΗΣ 26ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2004 ΣΤΟΝ ΙΝΔΙΚΟ  
ΩΚΕΑΝΟ ΚΑΙ Ο ΣΕΙΣΜΟΣ M=7.6 R ΤΗΣ 8ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2005  
ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΠΑΚΙΣΤΑΝ**

Λέκκας Ε.<sup>1</sup>, Παρχαρίδης Ι.<sup>2</sup>, Σκούρτσος Ε.<sup>1</sup>, Φουμέλης Μ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

<sup>2</sup>Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

### Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια εκδηλώθηκαν φυσικές καταστροφές, οι επιπτώσεις των οποίων ήταν τεράστιες για πολλές χώρες του Τρίτου Κόσμου. Τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν ο σεισμός M=9.2 R της 26<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό και η εκδήλωση θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων που προκάλεσαν ανυπολόγιστες ζημιές και 230.000 περίπου θανάτους σε 9 χώρες και ο σεισμός M=7.6 R της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 στην περιοχή του Πακιστανικού και Ινδικού Κασμίρ, όπου εκατοντάδες χωριά ισοπεδώθηκαν προκαλώντας 90.000 ανθρώπινες απώλειες και τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Παρουσιάζονται οι εμπειρίες που αποκτήθηκαν σε ό,τι αφορά το συν-καταστροφικό στάδιο διαχείρισης κατά τις επιστημονικές αποστολές του Πανεπιστημίου Αθηνών. Διαπιστώθηκε ότι στη φάση έκτακτης ανάγκης, παρατηρήθηκαν τεράστια προβλήματα, τα οποία σχετίζονται με: i) το μέγεθος των φαινομένων και των καταστροφών, ii) τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά και τις γεωδυναμικές διεργασίες, iii) τις πολιτικοκοινωνικές συνθήκες και iv) τη συνδρομή της διεθνούς κοινότητας. Ανάλογα προβλήματα πρέπει να επιλύονται από τους φορείς διαχείρισης, δεδομένου ότι εισερχόμαστε σε μία περίοδο με μεγάλη συχνότητα εκδήλωσης φυσικών καταστροφών παγκόσμιας κλίμακας.

**MANAGEMENT STAGE DURING DISASTROUS EVENTS IN GLOBAL SCALE  
NATURAL DISASTERS IN THIRD WORLD COUNTRIES:  
THE M=9.2 R EARTHQUAKE, 26<sup>TH</sup> OF DECEMBER 2004 IN THE INDIAN  
OCEAN AND THE M=7.6 R EARTHQUAKE, 8<sup>TH</sup> OF OCTOBER 2005  
IN NORTH PAKISTAN**

Lekkas E.<sup>1</sup>, Parcharidis I.<sup>2</sup>, Skourtsos E.<sup>1</sup>, Foumelis M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National and Kapodistrian University of Athens

<sup>2</sup>Harokopion University

### Abstract

During the last years, natural disasters have been manifested in numerous Third World countries with immense consequences. The most typical examples are the earthquake of the 26th December 2004, M=9.2R in the Indian Ocean, that triggered tsunami waves causing immeasurable damages and approximately 230.000 casualties in 13 countries, and the earthquake of the 8th October 2005, M=7.6R in the Pakistani and Indian Kashmir, that caused the destruction of hundreds of settlements, 90.000 casualties and great social and economical consequences. In the present report, the experience gained by the University of Athens scientific assignments, regarding the stage of management during the disastrous events, is presented. It has been established that great problems immersed during the emergency and rehabilitation phases, that were the result of i) the magnitude of the catastrophic phenomena and the disasters, ii) the physical-geographical characteristics and

geodynamic processes, iii) the political and social conditions, and iv) the aid of the international community. Similar problems should be resolved by specialized management teams given that the world enters a period of frequent manifestations of natural disasters.

**Λέξεις κλειδιά:** Διαχείριση Καταστροφών, Σεισμός 9.2R Ινδικός Ωκεανός, Θαλάσσια Σεισμικά Κύματα, Σεισμός 7.6R Κασμίρ.

**Key words:** Disaster Management, Earthquake 9.2R Indian Ocean, Tsunami Waves, Earthquake 7.6R Kashmir.

## 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια εκδηλώθηκαν φυσικές καταστροφές, οι επιπτώσεις των οποίων ήταν τεράστιες για πολλές χώρες του Τρίτου Κόσμου. Τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν ο σεισμός M=9.2 R της 26ης Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό και η εκδήλωση θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων που προκάλεσαν ανυπολόγιστες ζημιές και 230.000 περίπου θανάτους σε 9 χώρες καθώς επίσης και ο σεισμός M =7.6 R της 8ης Οκτωβρίου 2005 στην περιοχή του Πακιστανικού και Ινδικού Κασμίρ, όπου εκατοντάδες χωριά ισοπεδώθηκαν προκαλώντας 90.000 ανθρώπινες απώλειες και τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εμπειρίες που αποκτήθηκαν σε ό,τι αφορά το συν-καταστροφικό στάδιο διαχείρισης των ανωτέρω καταστροφών κατά τις επιστημονικές αποστολές του Πανεπιστημίου Αθηνών στις πληγείσες περιοχές, ενώ τέλος γίνονται γενικές επισυμάνσεις για την ορθότερη αντιμετώπιση των προβλημάτων σε προσεχή γεγονότα.

## 2. Ο Σεισμός της 26<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2004 και τα Θαλάσσια Σεισμικά Κύματα

Ο σεισμός της 26ης Δεκεμβρίου 2004 εκδηλώθηκε στις 7:58:53 π.μ. τοπική ώρα, 310 χιλιόμετρα δυτικά του Medan της Βόρειας Σουμάτρας, στον Ινδικό Ωκεανό. Το μέγεθος του κυρίου σεισμού ήταν 9,2 R και ακολουθήθηκε από πλήθος μετασεισμών με μεγέθη έως 7,7 R. Το βάθος της εστίας του σεισμού υπερέβαινε τα 25 km ενώ η ανάλυση του μηχανισμού γένεσης έδειξε ότι πρόκειται για ανάστροφο ρήγμα με γενική διεύθυνση BBD-NNA και κλίση 50° προς τα ανατολικά (USGS, 2004).

Γεωτεκτονικά, ο σεισμός εντάσσεται στο καθεστώς σύγκλισης των δύο λιθοσφαιρικών πλακών, με την Ινδική πλάκα να κινείται προς τα ανατολικά και να υποβυθίζεται και την πλάκα της Μπούρμα να κινείται προς τα δυτικά και να επωφθείται με μέση ταχύτητα περίπου 6 cm ανά έτος. Η μετάθεση των εκατέρωθεν τεμαχίων ήταν σύμφωνα με υπολογισμούς 20-25 m. Το ανερχόμενο τέμαχος κινήθηκε προς τα δυτικά και το κατερχόμενο προς τα ανατολικά ενώ το μήκος της ρηγιγενούς ζώνης υπερέβαινε τα 80 Km (USGS, 2004). Η δημιουργία των θραύσεων στον πυθμένα είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων (Tsunamis) τα οποία υπερέβησαν σε ορισμένες παράκτιες περιοχές τα 40 m (Εικόνα 1).





Εικόνα 1. Η θέση του επικέντρου του σεισμού της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 στο Κασμίρ και του σεισμού της 26<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό.

### 3. Κατανομή των καταστροφών

Οι καταστροφές αναπτύχθηκαν σε 9 χώρες και ειδικότερα στην Ινδονησία, Σρι Λάνκα, Ινδία, Ταϊλάνδη, Σομαλία, Μπούρμα, Μαλαισία, Μαλβίδες και Τανζανία και οφείλονται στα θαλάσσια σεισμικά κύματα τα οποία αναπτύχθηκαν σε όλο τον Ινδικό Ωκεανό (Εικόνες 2, 3). Εξαιρεση αποτελεί μόνο η Βόρεια Σουμάτρα στην οποία οι καταστροφές οφείλονται και στην σεισμική δόνηση, δεδομένου ότι παρατηρήθηκαν δομικές καταρρεύσεις οφειλόμενες σε έλλειψη αντισεισμικού σχεδιασμού των κτιρίων. Το σύνολο των ανθρώπινων απωλειών υπερβεί τις 230.000.

Εκτός από την Βόρεια Σουμάτρα στις υπόλοιπες περιοχές οι καταστροφές αναπτύχθηκαν γραμμικά κατά μήκος των ακτογραμμών και σε ένα πλάτος έως και 1.000 m προς την ενδοχώρα. Οι περισσότερο πληγείσες περιοχές ανήκουν στην Ινδονησία (Βόρειος Σουμάτρα), στην Ταϊλάνδη, Ινδία και Σρι Λάνκα. Αντίθετα κατά μήκος των ακτογραμμών των Μπαγκλαντές, Μπούρμα και Βόρειας Ινδίας το ύψος των κυμάτων ήταν μικρό, γεγονός το οποίο έχει άμεση σχέση με τη διαδικασία θραύσης του σεισμικού ρήγματος στον πυθμένα της θάλασσας, τα φαινόμενα κατευθυντικότητας, την παράκτια μορφολογία, τον προσανατολισμό της ακτογραμμής, κ.α. (ΛΕΚΚΑΣ 2005, PARCHARIDIS et al 2005).



*Εικόνα 2. Δορυφορική εικόνα της περιοχής Khao Lak της Ταϊλάνδης πριν και μετά την προσβολή των θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων. Διακρίνονται οι ολοκληρωτικές ζημιές στον οικιστικό ιστό, στα έργα υποδομής και στο φυσικό περιβάλλον.*

#### 4. Διαχείριση της καταστροφής



*Εικόνα 3. Καταστροφές στην πόλη Patong και στην περιοχή Khao Lak της επαρχίας Phuket της Ταϊλάνδης.*

Στα κράτη που επλήγησαν, η διαχείριση των κινδύνων δεν μπορεί να αποτελεί όπως είναι φυσικό πρώτη προτεραιότητα, δεδομένου ότι πρέπει να αντιμετωπιστούν άλλα επείγοντα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα. Ειδικότερα σε συν-καταστροφικό επίπεδο μπορούν να τονισθούν τα ακόλουθα:

α. Δεν υφίσταντο οργανωμένα επιχειρησιακά σχέδια διαχείρισης κινδύνων. Όπου υπήρχαν στηρίζοντο στην ανάληψη πρωτοβουλιών από τις ένοπλες δυνάμεις, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η σύγχρονη επιστημονική γνώση και χωρίς να χρησιμοποιούνται έμπειρες ομάδες και σύγχρονες τεχνολογίες.

β. Παρά το γεγονός ότι τα διεθνή επιστημονικά κέντρα υποψιάστηκαν τη δημιουργία των θαλάσσιων σεισμικών κυμάτων, εντούτοις παρατηρήθηκε χαρακτηριστική αδράνεια στη διάχυση της πληροφόρησης στις χώρες που επλήγησαν.

γ. Οι αρχές ορισμένων χωρών, όπως της Ταϊλάνδης, που ειδοποιήθηκαν έστω και με καθυστέρηση, εντούτοις δεν υπήρχαν οι κατάλληλες διοικητικές δομές αφενός για να αξιολογήσουν την πληροφορία, αφετέρου για να θέσουν σε ενέργεια τον όποιο μηχανισμό κινητοποίησης.

δ. Η ενημέρωση του πληθυσμού (κατοίκων και τουριστών) ήταν ανύπαρκτη με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί τεράστια έκθεση στον κίνδυνο ενώ ακολουθήθηκαν και τραγικά λανθασμένες πρακτικές κατά τη διάρκεια προσβολής των ακτογραμμών από τα θαλάσσια σεισμικά κύματα.

ε. Ουσιαστική βοήθεια στον πληγέντα πληθυσμό δεν παρασχέθηκε άμεσα και εφαρμόστηκαν αυτόνομες επεμβάσεις από τοπικές δυνάμεις που δεν διέθεταν ούτε την απαιτούμενη εμπειρία ούτε τον απαραίτητο εξοπλισμό.

στ. Αρχικά η διεθνής βοήθεια ήταν εξαιρετικά περιορισμένη και αναποτελεσματική, δεδομένης βέβαια και της τεράστιας έκτασης της καταστροφής. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η εξωτερική βοήθεια καθυστέρησε για κάποιες «κρίσιμες» ώρες κυρίως γιατί δεν είχαν εκτιμηθεί από την πρώτη στιγμή οι επιπτώσεις και η σοβαρότητα της κατάστασης.

ζ. Ο ρόλος της διεθνούς συνδρομής στη συνέχεια ήταν σημαντικός αλλά σε καμία περίπτωση δεν κάλυψε σε πρώτη φάση πάνω από το 30% των απαιτούμενων αναγκών.

η. Σε ορισμένες χώρες κινήθηκαν εθελοντικές ομάδες οι οποίες είχαν ως στόχο την παροχή βοήθειας στους πληγέντες, ενώ και διεθνώς υπήρχε ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για συνδρομή και βοήθεια. Η παρουσία ομάδων εθελοντών κρίνεται ως πολύ σημαντική και αποδοτική κατά τη συν-καταστροφική φάση αναπληρώνοντας έτσι την ανύπαρκτη τοπική παρέμβαση.

θ. Ο Ο.Η.Ε. κινήθηκε αποφασιστικά κατά τη συν-καταστροφική φάση δημιουργώντας κέντρα διαχείρισης καταστροφής σε πολλές άλλες χώρες όπως λόγω χάρη την Ταϊλάνδη, την Ινδονησία και την Σρι Λάνκα τα οποία είχαν καθοριστική παρέμβαση (Εικόνα 4) κυρίως εκεί όπου παρατηρήθηκαν εκτεταμένα φαινόμενα κοινωνικής αποδιοργάνωσης κυρίως από την απώλεια μεγάλου αριθμού κατοίκων.



Εικόνα 4. Αναζήτηση αγνοουμένων στο Κέντρο Διαχείρισης Κρίσης του Ο.Η.Ε. στο Phuket της Ταϊλάνδης.

## 5. Ο σεισμός της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005

Ο σεισμός της 8ης Οκτωβρίου στο Πακιστανικό Κασμίρ, με επίκεντρο 19 km βορειοανατολικά του Muzaffarabad, πρωτεύουσας του Πακιστανικού Κασμίρ έγινε πολύ αισθητός στη δυτική Ινδία και στο βορειοανατολικό Αφγανιστάν, προκαλώντας απώλειες χιλιάδων ανθρώπων και εκτεταμένες καταστροφές στα οικιστικά κέντρα και στις υποδομές. Το βάθος της εστίας του σεισμού ήταν 25 km, προήρχετο από μία επωθητική ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και με κλίση 37ο προς τα ΒΑ (USGS, 2005), ενώ η ολίσθηση του ρήγματος πάνω στη διάρρηξη κυμαίνεται ανώμαλα από 1-6 m (Εικόνα 1).

Στην ευρύτερη περιοχή εκδηλώθηκαν γεωδυναμικά φαινόμενα, τα περισσότερα από τα οποία σχετιζόνταν με τη γενικότερη καταπόνηση και αστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής. Πρόκειται για εντυπωσιακές κατολισθήσεις, καταπτώσεις βραχωδών μαζών, καθιζήσεις, ροές κορημάτων και πλευρικές εκτάσεις με ταυτόχρονη δημιουργία εδαφικών διαρρήξεων, ενώ παρατηρήθηκαν και σημαντικές αλλαγές στο υδρογραφικό δίκτυο.

## 6. Η κατανομή και το είδος των καταστροφών

Ο σεισμός της 8ης Οκτωβρίου είχε σημαντικότερες επιπτώσεις στις κατασκευές και στα έργα υποδομής. Στις επαρχίες Dupatta, Muzaffarabad, Balakot, Bisham, Batagram, Bagh, οι ζημιές στις κατασκευές υπερέβησαν το 50%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έφτασαν και το 100%. Διαπιστώθηκε μία ανάπτυξη των καταστροφών με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, μήκους περίπου 150 km και πλάτους 50-70 km. Η επιμήκης ανάπτυξη διαπιστώθηκε από τα ποσοστά των ζημιών τα οποία υπερβαίνουν στο κεντρικό τμήμα το 70% με πλέον χαρακτηριστικές περιπτώσεις τις πόλεις Bagh, με ποσοστό 70%, το Muzaffarabad, με ποσοστό 90% και τη πόλη Balakot, με ποσοστό πάνω από 95%. Στις πόλεις αυτές οι εντάσεις εκτιμούνται ότι υπερέβησαν τους XI βαθμούς και τοπικά έφτασαν τους XII της EMS 1992 (Εικόνα 5). Η διάταξη αυτή, ουσιαστικά, συνέπιπτε με τη διάταξη των επικέντρων της σεισμικής ακολουθίας, αλλά και της σεισμικής ζώνης, η οποία είχε και αυτή διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Οι αρχές του Πακιστάν ανέφεραν πάνω από 88.000 νεκρούς και πενταπλάσιο αριθμό τραυματιών, ενώ σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, οι άστεγοι ανήλθαν σε τέσσερα εκατομμύρια. Τουλάχιστον 11.000 άνθρωποι πιστεύεται ότι χάθηκαν στο Muzaffarabad. Πολλές μικρότερες πόλεις κυριολεκτικά ισοπεδώθηκαν, όπως η Balakot, η Batagram και το Bagh (Εικόνα 5). Στην πρωτεύουσα του Πακιστάν, το Islamabad, δύο πολυώροφα κτίρια κατέρρευσαν, ενώ άλλα 50 περίπου κτίρια υπέστησαν ανεπανόρθωτες ζημιές. Σημαντικές ζημιές αναφέρονται και στη Βορειοδυτική Ινδία, όπου πάνω από 2.500 κτίρια κατέρρευσαν και τουλάχιστον 2.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι πάνω από το 80% της συνοριακής πόλης Udi καταστράφηκε.



Εικόνα 5. Ολοκληρωτικές καταστροφές στις πόλεις Balakot και Muzaffarabad του Πακιστανικού Κασμίρ.

Οι ζημιές στο οδικό δίκτυο και τα έργα υποδομής, οφείλοντο σχεδόν αποκλειστικά σε φαινόμενα αστοχίας των γεωλογικών σχηματισμών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα δίκτυα αποχέτευσης, ύδρευσης, τηλεφωνίας και ηλεκτροδότησης στις επαρχίες Muzafarabad και Balakot καταστράφηκαν ολοσχερώς (LEKKAS & SKOURTSOS, 2005).

## 7. Διαχείριση της καταστροφής

Η διαχείριση της καταστροφής του σεισμού των 7.6R στο Κασμίρ, όπως είναι φυσικό διαφέρει από αντίστοιχες καταστροφές ακόμη και από χώρες που βρίσκονται σε αντίστοιχη κατάσταση με το Πακιστάν (ΛΕΚΚΑΣ, 2002). Οι ιδιαίτερες συνθήκες οι οποίες υφίσταντο δημιούργησαν και ειδικές συνθήκες διαχείρισης σε συν-καταστροφικό, η οποία γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλής αποτελεσματικότητας. Ιδιαίτερα μπορούν να επισημανθούν τα ακόλουθα:

α) Η αδυναμία πλήρους και ολοκληρωμένης εικόνας της έκτασης αλλά και του βαθμού καταστροφής σε κεντρικό επίπεδο. Η προσοχή αρχικά στράφηκε στο Islamabad, όπου υπήρχαν καταρρεύσεις πολυώροφων κτιρίων ενώ η κύρια καταστροφή αναπτύχθηκε στο Πακιστανικό Κασμίρ, όπου οι εκτιμήσεις αρχικά υποβάθμιζαν κατά πολύ την κατάσταση.

β) Οι γεωμορφολογικές συνθήκες και τα συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα, ήταν απαγορευτικά για γρήγορη και εύκολη πρόσβαση, η οποία σε πολλές περιπτώσεις έγινε μόνο μετά τη πάροδο αρκετών ημερών ακόμη και εβδομάδων.

γ) Εκτιμάται ότι υπάρχουν πάνω από 100 μεγάλοι και πάνω από 1000 μικροί οικισμοί που επλήγησαν, ενώ σε πολλές περιπτώσεις οι καταστροφές, από τη εκδήλωση εκτεταμένων κατολισθήσεων, ήταν καθολικές. Δύο εβδομάδες μετά το σεισμό, πολλά χωριά στο εσωτερικό του Κασμίρ, παρέμεναν αποκλεισμένα καθώς το επαρχιακό οδικό δίκτυο είχε σχεδόν πλήρως καταστραφεί από εκτεταμένες κατολισθήσεις και καταπτώσεις. Ακόμη και ο ορεινός εμπορικός δρόμος του Karakorum, που συνδέει το Πακιστάν με τη Κίνα, αποκλείστηκε από τις κατολισθήσεις.

δ) Χιλιάδες άνθρωποι από τις πληγείσες περιοχές διέσχισαν πεζή μεγάλες αποστάσεις για να φτάσουν στις πιο κοντινές πόλεις για αναζήτηση στέγης και τροφής, αναφέροντας ότι καμία βοήθεια δεν έφτασε στα χωριά τους. Αν και από τις πρώτες στιγμές μετά την εκδήλωση του σεισμού, η διεθνής κοινότητα διέθεσε πάνω από 50 ελικόπτερα, εκτιμάται ότι ακόμη και δέκα ημέρες μετά, καμία βοήθεια δεν είχε φτάσει τουλάχιστον στο 50% της περιοχής που επλήγη, καθώς τα ελικόπτερα δεν μπορούσαν να προσεγγίσουν, λόγω του μεγάλου υψόμετρου, του έντονου ανέμου και των κακών καιρικών συνθηκών.

ε) Οι υφιστάμενες πολιτικές συνθήκες και οι προβληματικές διακρατικές σχέσεις μεταξύ του Πακιστάν και της Ινδίας που διεκδικούν εδάφη του Κασμίρ, είχαν ως αποτέλεσμα η περιοχή να στρατοκρατείται και να υπάρχει καχυποψία εκατέρωθεν ως προς την σκοπιμότητα της προσφοράς βοήθειας. Στη συνέχεια το κλίμα βελτιώθηκε και δόθηκε άδεια σε Ινδικές στρατιωτικές μονάδες να εισέλθουν στο Πακιστανικό Κασμίρ, ούτως ώστε να επέμβουν στους πληγέντες οικισμούς στους οποίους η πρόσβαση από το Πακιστάν ήταν αδύνατη. Πάντως ενδεικτικό της καχυποψίας, ήταν το γεγονός ότι η Ινδική πλευρά πρόσφερε έναν αριθμό ελικοπτέρων στο Πακιστάν, το οποίο αξίωσε να χειρίζονται και να επιβαίνουν στα ελικόπτερα μόνο Πακιστανοί πιλότοι, απαίτηση η οποία απορρίφθηκε.

στ) Η παροχή άμεσης βοήθειας στους κατοίκους ήταν υποτυπώδης και ανοργάνωτη. Ειδικότερα η βοήθεια ακόμα και σε είδη πρώτης ανάγκης, τροφές και φάρμακα ήταν ελλιπής και δεν κάλυπτε όλο τον πληθυσμό ενώ σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν και φαινόμενα βιαιοπραγιών (Εικόνα 6). Σε πολλές περιπτώσεις η προσφερόμενη βοήθεια δεν αφορούσε τις άμεσες ανάγκες που είχαν οι πληγέντες ενώ η έλλειψη συντονισμού και οργάνωσης είχε ως αποτέλεσμα τη καθυστερημένη παραλαβή της βοήθειας που προσέφεραν πολλά κράτη και οργανώσεις.



Εικόνα 6. Παροχή βοήθειας στην ευρύτερη περιοχή στην πόλη του Muzaffarabad του Πακιστανικού Κασμίρ.

ζ) Η καταστροφή των νοσοκομειακών μονάδων που υπήρχαν στην περιοχή που επλήγη, συμπεριλαμβανομένου ακόμη και του στρατιωτικού νοσοκομείου του Muzaffarabad ήταν καθοριστικής σημασίας. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκαν τεράστιες ελλείψεις σε προσωπικό και βασικά ιατρικά είδη και φάρμακα με αποτέλεσμα τα χειρουργεία, σε αρκετές περιπτώσεις, να λειτουργούν στην ύπαιθρο (Εικόνα 7). Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης ήταν η εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών σε τμήμα του πληθυσμού. Η όλη κατάσταση βελτιώθηκε μετά από περίπου δύο εβδομάδες, σε μετακαταστροφικό επίπεδο όταν και ανέλαβαν υπηρεσία ξένες αποστολές βοήθειας, που έφτασαν στην περιοχή.

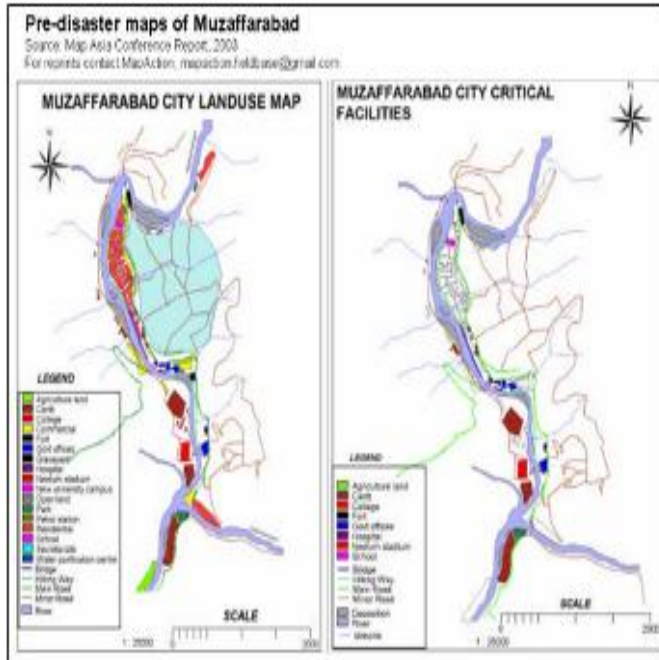


Εικόνα 7. Πρόχειρες χειρουργικές εγκαταστάσεις και σημεία περίθαλψης στα προάστια του Muzaffarabad.

η) Σε γενικές γραμμές, εκτιμάται ότι αρνητικό ρόλο έπαιξε η στρατιωτική αντίληψη στη φάση της επέμβασης, που όπως είναι φυσικό έχει διαφορετικές προσεγγίσεις στην όλη διαδικασία, καθώς επίσης, και οι υφιστάμενες πολιτικές και θρησκευτικές αντιλήψεις, πράγμα το οποίο έχει παρατηρηθεί και σε άλλες Μουσουλμανικές χώρες. Η όλη αντιμετώπιση της καταστροφής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία παθητική στάση παρά ως μία ενεργητική αντιμετώπιση και άρα αποτελεσματική προσέγγιση.

θ) Η αδυναμία της τοπικής και της κεντρικής διοίκησης να καταστρώσει και να εφαρμόσει ένα καλά δομημένο σχέδιο επέμβασης. Αν και σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρχαν κάποια υποτυπώδη σχέδια οργάνωσης σε περιπτώσεις έκτακτων αναγκών, όπως για παράδειγμα στο

Muzaffarabad, εντούτοις αυτά ακυρώθηκαν ολοκληρωτικά λόγω της έκτασης των καταστροφών (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Σχέδια διαχείρισης καταστροφών στην πόλη Muzaffarabad, τα οποία όμως λόγω της έκτασης της καταστροφής δεν μπόρεσαν να εφαρμοστούν.

## 8. Σχολιασμός – Συμπεράσματα

Οι προοπτικές επιτυχούς διαχείρισης σε συν-καταστροφικό επίπεδο μιας μεγάλης φυσικής καταστροφής σε χώρες του Τρίτου Κόσμου φαίνεται δυσώιωνη στο μέλλον. Ειδικότερα οι βασικές παράμετροι που δυσχεραίνουν τη σωστή διαχείριση σε συν-καταστροφικό επίπεδο και γενικότερα σε όλα τα επίπεδα διαχείρισης είναι οι ακόλουθες:

α) Η έλλειψη κάθε δυνατότητας για την χάραξη και υλοποίηση πολιτικής αντιμετώπισης των καταστροφών, δεδομένων των τεράστιων αναγκών σε όλους τους άλλους τομείς οι οποίοι έχουν άμεση προτεραιότητα (υποδομές, εκπαίδευση, υγεία, κ.α.).

β) Η περιορισμένη έως ανύπαρκτη εκπαίδευση, εμπειρία, τεχνογνωσία και διάθεση εξοπλισμού.

γ) Η έλλειψη κάθε προετοιμασίας σε προ-καταστροφικό επίπεδο σε όλους τους επί μέρους κλάδους που το συνθέτουν (έρευνα, χωροταξικός και πολεοδομικός σχεδιασμός, εκπαίδευση, νομικό πλαίσιο, υλικοτεχνική υποδομή, κ.α.).

δ) Η ακύρωση των όποιων σχεδίων διαχείρισης των καταστροφών σε συν-καταστροφικό επίπεδο λόγω της μεγάλης κλίμακας των επιπτώσεων και η εφαρμογή αυτόνομων και λανθασμένων ενεργειών.

ε) Ο ρόλος της διεθνούς βοήθειας μέσα από Διεθνείς Οργανισμούς και Μ.Κ.Ο. κρίνεται γενικά ως καθοριστικός.

στ) Θα πρέπει να επιλυθούν προβλήματα συντονισμού της Διεθνούς Βοήθειας αλλά αυτής της ίδιας της παρουσίας και της αυτοδυναμίας ορισμένων κυρίως Μ.Κ.Ο. οι οποίες δεν είναι επαρκώς προετοιμασμένες και εκπαιδευμένες με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν την ήδη κρίσιμη κατάσταση.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι οι παγκόσμιες κλίμακας φυσικές καταστροφές σε χώρες του Τρίτου Κόσμου μπορούν να αντιμετωπιστούν εν γένει και να μειωθούν οι επιπτώσεις τους μόνο με εξωτερική βοήθεια και ειδικότερα με την συνδρομή των Κυβερνήσεων των Διεθνών Οργανισμών και των Μ.Κ.Ο.

### Βιβλιογραφία

Λέκκας, Ε., 2002. – Διαχείριση έκτακτης ανάγκης σε μεγάλης κλίμακας σεισμικές καταστροφές. 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία, том. 2, 400-407, Θεσσαλονίκη.

Λέκκας, Ε., 2005. – Ο σεισμός των 9.0R και τα Θαλάσσια Κύματα Βαρύτητας της 26ης Δεκεμβρίου 2004 στον Ινδικό Ωκεανό. Παράγοντες που επέδρασαν στην κατανομή και το είδος των καταστροφών. Ημερίδα ΓΕΩΤΕΕ – Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών: «Φυσικές καταστροφές με έμφαση στους σεισμούς και στα κύματα βαρύτητας (Tsunamis), Αθήνα.

MapAction, 2003. – Pre-disaster maps of Muzaffarabad. Map Asia Conference Report.

U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2004, Magnitude 9.2 – Indian Ocean 2004 December 26, Preliminary Earthquake Report.

U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2005. Magnitude 7.6 – Pakistan, 2005 October 8 03:50:40 UTC, Preliminary Earthquake Report.

Parcharidis, I., Lekkas, E., Foumelis, M., 2005. – Tsunami impact depending on coastal morphology: The case of Phuchet Island and Khao Lac coast (Thailand). International Symposium on the Geodynamics of Eastern Mediterranean: Active Tectonics of the Aegean Region. Abstracts, 238, Istanbul.

Lekkas, E. & Skourtsos, E. 2005. – Αποστολή στο Πακιστάν. Ο σεισμός 7.6R της 8ης Οκτωβρίου 2005. Ημερίδα Αποστολή στο Πακιστάν – Σεισμός 7,6R 8 Οκτωβρίου 2005. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εργαστήριο Πρόληψης και Διαχείρισης Φυσικών Καταστροφών, 21σ, Αθήνα.



## ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΤΗΛΟΥ

Λόγος Ε.<sup>1</sup>, Τσιούμας Β.<sup>2</sup>, Θεοχάρης Δ.<sup>1</sup>, Λέκκας Ε.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

<sup>2</sup>Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρατίθενται καινούργια δεδομένα των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην νήσο Τήλο και γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της διαφοροποίησης του υδρογεωλογικού καθεστώτος. Από το έτος 1986 υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση των υδροχημικών σταθερών των υδατικών πόρων λόγω της υπεράντλησης των υφιστάμενων γεωτρήσεων. Προτείνονται επίσης μέθοδοι βελτίωσης της ποιότητας των υδατικών πόρων καθώς και ερευνητικές εργασίες για τον καθορισμό των υπόγειων ροών των μετώπων των υποθαλάσσιων πηγών με απώτερο σκοπό την ορθολογική αξιοποίηση και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της Τήλου.

### HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN TILOS ISLAND

Logos E.<sup>1</sup>, Tsioumas V.<sup>2</sup>, Theocharis D.<sup>1</sup>, Lekkas E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment

<sup>2</sup>Institute of Geology and Mineral Exploration

### Abstract

In this study new data of the hydrogeological conditions in Tilos Island are apposed trying to estimate the changes of the hydrogeological status. Since 1986 there is important variations of the hydrochemical constants of water resources due to overpumping of the existent boreholes. In this paper also proposed methods to improve the quality of water resources as well as research projects for the accurately assessment of the submarine springs fronts groundwater flow for the further aim of sustainable management of Tilos Island water resources.

**Λέξεις κλειδιά:** Τήλος, υδατικοί πόροι, υδρογεωλογία, υφαλμύριση, υδροχημεία.

**Key words:** Tilos Island, water resources, hydrogeology, saline intrusion, hydrochemistry.

### 1. Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των υδατικών πόρων της νήσου Τήλου και η ορθολογική τους διαχείριση διότι η ύπαρξη τυχόν περιβαλλοντικών προβλημάτων θα έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δυσμενών και πολλές φορές μη αναστρέψιμων καταστάσεων.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες: i) συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα υφιστάμενων ερευνών, μελετών, γεωτρητικών εργασιών και κλιματολογικών δεδομένων, ii) έγινε γενική υδρογεωλογική, υδρολιθολογική και τεκτονική χαρτογράφηση σε κατάλληλη κλίμακα, iii) απογραφή σημείων ύδατος, μετρήσεις παροχών πηγών, δειγματοληψία και έρευνα χημισμού υπογείων νερών, iv) εντοπισμός ρυπάνσεων του υδροφόρου ορίζοντα, προσδιορισμός πηγών ρύπανσης, v) προτάσεις μακροπρόθεσμης διαχείρισης, τεχνητού εμπλουτισμού και προστασίας υδροφόρων οριζόντων.

## 2. Γεωμορφολογία – Υδρογραφικό Δίκτυο

Η νήσος Τήλος έχει έκταση 62,2 km<sup>2</sup> με μέγιστο μήκος 15,5 km, μέγιστο πλάτος 8,5 km και μήκος ακτών 75,362 km. Είναι μία από τις δώδεκα κύριες νήσους του νομού Δωδεκανήσων. Είναι κύρια ορεινό νησί με υψηλότερη κορυφή αυτή του Προφ. Ηλία (612 m) που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Οι πεδινές εκτάσεις είναι σχετικά μικρές και αναπτύσσονται στις ευρύτερες περιοχές των όρμων Ερίστου, Αγ. Αντωνίου και Λιβαδίων.

Στην Τήλο αναπτύσσονται έξι υδρογραφικά δίκτυα 3ης τάξης από τα οποία τα τέσσερα αναπτύσσονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, ένα στο κεντρικό τμήμα και το άλλο στο νοτιοανατολικό τμήμα. Οι 3ης τάξης κλάδοι παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα μήκη (τρεις) στο βορειοδυτικό τμήμα. Διακρίνονται τυφλοί κλάδοι γεγονός που υποδηλώνει ότι παρουσιάζεται σημειακά μεγάλη περατότητα ή ότι γίνεται αποκάλυψη παλαιού (απολιθωμένου) υδρογραφικού δικτύου.

## 3. Γεωλογία - Τεκτονική

Στην Τήλο απαντώνται τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί.

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που απαντώνται στο νησί είναι Τεταρτογενούς ηλικίας και αποτελούνται από: i) παράκτιες άμμοι και κροκάλες, ii) αλλούβια, iii) χερσαίες αποθέσεις, iv) πώρο (αδρομερείς ασβεστιτικούς ψαμμίτες), και v) ηφαιστειακούς τόφφους (Ρούσσοσ, 1985).

Απαντώνται δύο αλπικές γεωτεκτονικές ενότητες επωθημένες η μία στην άλλη. Από την ανώτερη προς την κατώτερη, είναι η γεωτεκτονική ενότητα της Πίνδου(;), η οποία απαντάται με τη μορφή δύο υποενοτήτων την υποενότητα Καμάρας και την υποενότητα Κρεατής, και η γεωτεκτονική ενότητα Κουτσουμπά (Ρούσσοσ, 1985).

Η υποενότητα Καμάρας αποτελείται από: α) τον πρώτο φλύσχη Κενομάνιας ηλικίας, και β) ασβεστόλιθους (πλακώδεις) ηλικίας Τιθώνιο – Άλβιο.

Η υποενότητα Κρεατής αποτελείται από: α) ραδιολαρίτες και "πρώτο φλύσχη" Άνω Κρητιδικής ηλικίας, β) ραδιολαρίτες ηλικίας Τιθώνιο - Μέσο Ανώτερο Άλβιο, γ) ασβεστόλιθους ηλικίας Ανώτερο Νόριο-Ιουρασικό(;), και δ) την κλαστική Τριαδική σειρά (φλυσχοειδές) ηλικίας Κάρνιο - Κατώτερο Νόριο.

Η ενότητα Κουτσουμπά αποτελείται από: α) φλύσχη Μαιστριχτίου ηλικίας, β) ασβεστόλιθους Κρητιδικής ηλικίας, γ) πλακώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Δογγέριο(;)- Οξφόρδιο, και δ) νηριτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες ηλικίας Μέσο - Ανώτερο(;)- Λιάσιο.

Η τεκτονική παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών έχει πραγματοποιηθεί σε δύο μεγάλες περιόδους, την Αλπική και τη Μεταλπική ή Νεοτεκτονική. Κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο παρατηρούνται περισσότερες της μίας παραμορφωτικές φάσεις, ενώ στο σύνολό τους όλοι οι αλπικοί ηλικίας σχηματισμοί έχουν υποστεί την τελευταία παραμορφωτική φάση του αλπικού ορογενετικού κύκλου στην οποία έλαβε χώρα η επώθηση της Πίνδου επάνω στην ενότητα Κουτσουμπά, ενώ οι μεταλπικοί σχηματισμοί έχουν υποστεί μόνο την μεταλπική παραμόρφωση. Στη δεύτερη περίοδο, που είναι γνωστή ως Μεταλπική ή Νεοτεκτονική φάση παραμόρφωσης, κυριαρχεί ο θραυσιγενής τεκτονισμός (ρηξιγενείς ζώνες, ρήγματα) χωρίς να λείπει και ο πλαστικός τύπου τεκτονισμός (ανοικτές πτυχές). Οι αλπικές δομές που επικρατούν στους αλπικούς σχηματισμούς έχουν κύρια διεύθυνση βορειοανατολικά – νοτιοδυτικά (BA-ND) και δευτερεύουσα βόρειο βορειοδυτικά – νότιο νοτιοανατολικά (BBD-NNA). Αυτό επιβεβαιώθηκε στις εργασίες υπαίθρου τόσο από τους άξονες των πτυχών όσο και στις ρηξιγενείς ζώνες. Κατά τη νεοτεκτονική περίοδο έχουμε ανύψωση του νησιού και αυτό συμπεραίνεται από την διαφοροποίηση του καρστ (Εικ. 1, 2).



Εικ. 1 Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι – μεταβολές του επιπέδου του καρστ. Το καρστ ελέγχεται τεκτονικά. Υποθαλάσσιες πηγές.



Εικ. 2 Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι – μεταβολές του επιπέδου του καρστ. Το καρστ ελέγχεται τεκτονικά. Υποθαλάσσιες πηγές.

#### 4. Κλιματολογικά Στοιχεία

Στην νήσο Τήλο δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός παρακολούθησης των κλιματολογικών παραμέτρων από κανένα δημόσιο ή ιδιωτικό φορέα. Γι' αυτό το λόγο ελήφθησαν υπόψη οι μετεωρολογικοί σταθμοί που βρίσκονται στα πλησιέστερα νησιά για να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν βέλτιστη προσέγγιση τιμών των παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος στο υδρολογικό ισοζύγιο. Συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, της θερμοκρασίας αέρα και της σχετικής υγρασίας.

Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: Κέφαλος (1983-1999), Ασφενδίου-νήσου Κω (1983-1999), Απολλακιά (1965-1968 & 1978-1999), Καταβιάς (1967-1999) και Αστυπάλαια (1969-1974 & 1983-1999) του Υπουργείου Γεωργίας και Κως (1965-1996) και Ρόδος (1955-1996) της ΕΜΥ. Για την εξαγωγή των εξισώσεων έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερα ζεύγη τιμών και να ισχύει  $R > 0.7$ . Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα ανά σταθμό παρατήρησης (Πίνακας 1) όπου δίνονται, η μέση ετήσια βροχόπτωση και η μέση κατανομή κατά εποχή.

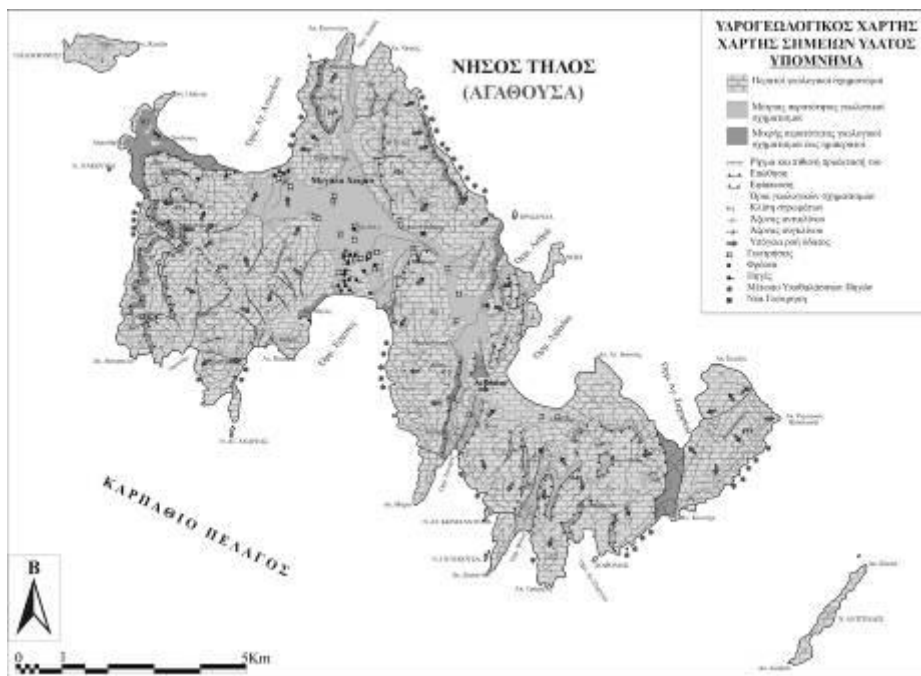
Πίνακας 1. Βροχομετρικά δεδομένα

Σταθμός	Μ.Ο. έτους (σε mm)	Χειμ.	% έτους	Άνοιξη	% έτους	Θέρος	% έτους	Φθιν.	% έτους
Κέφαλος	509	260,8	51,27	38,8	7,63	8,2	1,61	200,9	39,49
Ασφενδίου	720,4	366,8	50,9	64,8	9,0	5,4	0,78	283,4	39,34
Απολλακιά	546,5	274,5	50,23	35,3	6,46	5,3	0,97	231,4	42,34
Καταβιάς	531,1	258,0	48,5	9,4	9,43	1,4	0,27	130,0	41,71
Αστυπάλαια	720,4	186,6	49,1	36,3	9,55	2,1	0,84	155,1	40,82
Κως	694,4	352,5	50,98	57,2	8,27	8,0	1,16	273,7	39,59
Ρόδος	694,4	333,9	47,78	43,1	6,17	6,5	0,93	315,3	45,12

#### 5. Απογραφή Σημείων Νερού

Η απογραφή των σημείων νερού πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 1999 και η παρακολούθηση αυτών ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2001. Απογράφηκαν 5 πηγές συνεχούς ροής, συνολικά 46 γεωτρήσεις και φρέατα, η θέση των οποίων παρουσιάζεται στην Εικ. 3. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες μικρότερες πηγές περιοδικής λειτουργίας. Στην σημαντικότερη πηγή του νησιού, πηγή Αγίου Παντελεήμονα (Π2), παρατηρείται μεγάλη διακύμανση της παροχής η οποία κυμαίνεται από 0,5 m<sup>3</sup> – 3 m<sup>3</sup> την ώρα.

Διαπιστώθηκε η ύπαρξη υποθαλάσσιων πηγών οι οποίες εντοπίστηκαν κατά τον περιήλου του νησιού (Ιούλιο του 1999), με σκάφος το οποίο διέθετε όργανο καταγραφής μεταβολών θερμοκρασίας. Εντοπίστηκαν 10 μέτωπα υποθαλάσσιων πηγών (Εικ. 1, 2, 3). Θα πρέπει να τονιστεί ότι υπήρχαν περιοχές που παρουσίαζαν ακόμα και 6°C διαφορά θερμοκρασίας. Στον όρμο της Ερίστου μετρήθηκε θερμοκρασία 25°C στη θάλασσα ενώ στην νοτιοανατολική ακτή, σε ορισμένα σημεία, το νερό είχε θερμοκρασία 19°C γεγονός που επιβεβαιώνει τη συμβολή και μίξη σημαντικών μαζών γλυκού νερού και θαλάσσιου.



Εικ. 3. Υδρολιθολογικός – Υδρογεωλογικός Χάρτης και σημείων ύδατος νήσου Τήλου.

## 6. Υδρολιθολογία - Υδρογεωλογία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί, ανάλογα με τη φάση τους και την παραμόρφωση που έχουν υποστεί, από υδρολιθολογική άποψη διακρίθηκαν σε: i) Περατούς: οι παράκτιες άμμοι, οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι χερσαίες αποθέσεις, ο πάρος και οι ανθρακικές ακολουθίες των αλπικών γεωτεκτονικών ενοτήτων, ii) Μέτριας περατότητας: οι ηφαιστειακοί τόφφοι, ο πρώτος φλύσχος των δύο γεωτεκτονικών υποενοτήτων και οι ραδιολαρίτες Κρεατής, και iii) Μικρής περατότητας: η περμουτριάδικη κλαστική ακολουθία της γεωτεκτονικής ενότητας Κρεατής και ο φλύσχος της γεωτεκτονικής ενότητας Κουτσουμπά (Εικ. 3).

Η κατείσδυση των υδάτων έχει άμεση σχέση με την υδροπερατότητα των σχηματισμών αλλά και την τοπογραφία του ανάγλυφου. Είναι αξιοσημείωτο ότι και για τον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό παρουσιάζεται διαφοροποίηση περατότητας τόσο από την διαφοροποίηση της φύσης των μελών που τον αποτελούν όσο και από την τεκτονική χαλάρωση του κατά θέσεις λόγω της τεκτονικής – νεοτεκτονικής καταπόνησής τους.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που κατεisdύουν στο υπέδαφος, ανάλογα με τον σχηματισμό, είτε εμπλουτίζουν κάποιο ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα είτε κινούνται δια

συγκεκριμένων και προϋπαρχόντων υδραγωγών (καρστ, τεκτονικές ζώνες χαλάρωσης) μέχρι να συναντήσουν υδατοστεγή ή μικρότερης περατότητας γεωλογικό σχηματισμό και τότε κινούνται στην επιφάνεια αυτού του σχηματισμού. Η κίνηση αυτή γίνεται μέχρι το απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας (Εικ. 3). Ελεύθεροι υδροφόροι οριζόντες αναπτύσσονται κύρια στα τμήματα που υπάρχει εξάπλωση των μεταλλικών σχηματισμών.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα τα οποία πέφτουν:

α) Στις παράκτιες αποθέσεις, άμμους και κροκάλες, κύρια κατεισδύουν και είτε εμπλουτίζουν τους υποκείμενους μεταλλικούς σχηματισμούς είτε ενώνονται με το θαλασσινό νερό. Στα αλλούβια, στις χερσαίες αποθέσεις, τον πώρο και στους ηφαιστειακούς τόφους, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία τροφοδοτώντας πλευρικά μεγαλύτερης περατότητας γεωλογικούς σχηματισμούς.

β) Στον πρώτο φλύσχη της υποενότητας Καμάρας, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους πλακώδεις ασβεστόλιθους, είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία. Αξιοσημείωτο είναι ότι το ποσοστό των κατεισδύοντων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αυξάνει όταν απαντώνται οι ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή που υπάρχουν εντός του πρώτου φλύσχη. Στους πλακώδεις ασβεστόλιθους της υποενότητας Καμάρας, το μεγαλύτερο ποσοστό κατεισδύει μέχρι να συναντήσει την τεκτονική ενότητα της υποενότητας Καμάρας, με την κλασική τριαδική σειρά της υποενότητας Κρεατής και στην συνέχεια κινείται παράλληλα προς αυτή.

γ) Στους ραδιολαρίτες και «πρώτο φλύσχη» της υποενότητας Κρεατής, είτε κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους ασβεστόλιθους είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία εμπλουτίζοντας τους σχηματισμούς από τους οποίους διέρχονται. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατείσδυσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων παρουσιάζεται πλησίον των έντονα τεκτονισμένων περιοχών και ειδικότερα πλησίον των περιοχών των επιπνεύσεων. Το νερό που κατεισδύει εμπλουτίζει τους υποκείμενους ασβεστόλιθους της αυτής υποενότητας. Στους Ιουρασικούς ασβεστόλιθους της υποενότητας Κρεατής, μεγάλο ποσοστό κατεισδύει έως ότου συναντήσει την επαφή των ασβεστόλιθων με την κλασική σειρά του τριαδικού της αυτής ενότητας και τότε κινείται παράλληλα προς αυτή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τόσο στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου (ευρύτερη περιοχή Αγ. Αντωνίου και ακρωτηρίου Πούντας) όσο και στο νοτιοανατολικό τμήμα (μεταξύ Γερά και Κουτσουμπά) οι ασβεστόλιθοι είναι η βάση της επώθησης της υποενότητας Κρεατής στον φλύσχη της παρα-αυτόχθονης ενότητας της Κουτσουμπά. Γι' αυτό το λόγο το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύει όταν συναντήσει την επιφάνεια της επώθησης κινείται παράλληλα με αυτή. Στην κλασική σειρά του Τριαδικού (φλυσχοειδές) της υποενότητας Κρεατής, το μεγαλύτερο ποσοστό απορρέει προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό και ειδικότερα πλησίον της επιφάνειας επώθησης κατεισδύει και εμπλουτίζει τους υποκείμενους τεκτονικά γεωλογικούς σχηματισμούς.

δ) Στο φλύσχη της ενότητας Κουτσουμπά, είτε απορρέουν προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία είτε κατεισδύουν στο υπέδαφος. Μεγαλύτερο ποσοστό κατείσδυσης παρουσιάζεται πλησίον της έντονα τεκτονισμένης ζώνης της επιφάνειας επώθησης της υποενότητας Κρεατής. Στους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ενότητας Κουτσουμπά, κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς που είναι τμήμα της νηριτικής ακολουθίας της αυτής γεωτεκτονικής ενότητας ενώ μικρό μόνο ποσοστό έχει επιφανειακή απορροή προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία. Στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και δολομίτες του ανώτερου Ιουρασικού της ενότητας Κουτσουμπά, κατεισδύουν και εμπλουτίζουν τους υποκείμενους ασβεστόλιθους του μέσου Ιουρασικού της αυτής γεωτεκτονικής ενότητας. Στους νηριτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες του μέσου Ιουρασικού της ενότητας Κουτσουμπά, κύρια κατεισδύουν και στη συνέχεια ενώνονται με το θαλασσινό νερό.

Απόδειξη των προαναφερθέντων ως προς την υπόγεια διακίνηση του νερού είναι η ύπαρξη πηγών οι οποίες είτε είναι επαφής είτε είναι υπερπλήρωσης είτε μικτής λειτουργίας, οι οποίες παρουσιάζονται κύρια μεταξύ των γεωλογικών σχηματισμών με διαφορετική περατότητα.

## 7. Υδροχημεία

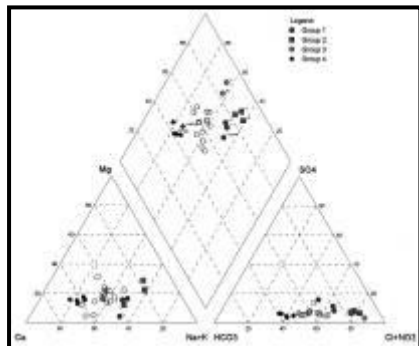
Η ποιότητα των νερών από φυσική, χημική και μικροβιολογική άποψη εξαρτάται από διαφορετικές παραμέτρους των οποίων οι τιμές τα χαρακτηρίζουν σε αντίστοιχη κατηγορία καταλληλότητας σε σχέση με τις διάφορες χρήσεις του. Από τις παραμέτρους που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για γνωματεύσεις στην ποιότητα των νερών και για μια συνολική κατάταξη αυτών με βάση τα πρότυπα που έχει καθιερώσει η κάθε χώρα, η W.H.O. (1978) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) μπορούν από χημικής σκοπιάς να αναφερθούν σαν σπουδαιότερες οι εξής: i) οργανοληπτικές παράμετροι: χρώμα, θολερότητα, οσμή και γεύση, και ii) φυσικοχημικές παράμετροι: θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, χλώριο, θειικά, πυρίτιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο, αργίλιο, ολική σκληρότητα, διαλυμένο οξυγόνο, ξηρό υπόλειμμα.

Έγιναν δύο αντιπροσωπευτικές δειγματοληψίες, τον Οκτώβριο του 1999 (ξηρή περίοδος) και την Άνοιξη του 2000 (υγρή περίοδος) προκειμένου να διαπιστωθεί ποια είναι η ποιοτική κατάσταση των υδροφόρων οριζώντων. Συλλέχθηκαν, 26 δείγματα νερού για κάθε περίοδο, στα οποία έγιναν χημικές αναλύσεις στο εργαστήριο της διεύθυνσης χημείας του Ι.Γ.Μ.Ε. και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 2, 3.

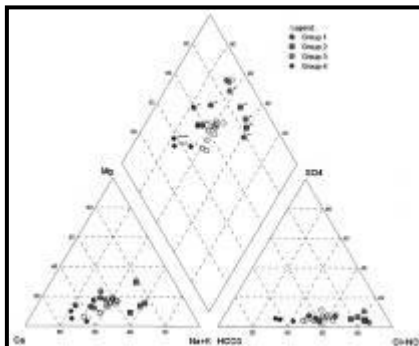
Από τα διαγράμματα Piper (Εικ. 4, 5) και σύμφωνα με την κατάταξη κατά Freeze – Chery (1979), στα οποία τα νερά χαρακτηρίζονται βάσει της % περιεκτικότητάς τους σε ανιόντα και κατιόντα, προκύπτει ότι η πλειονότητα των δειγμάτων εντάσσονται στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα νερά προέρχονται από ανθρακικούς σχηματισμούς έχοντας υποστεί μόλυνση λόγω θαλάσσιας διείσδυσης (στα διαγράμματα συμβολίζονται με λευκούς κύκλους). Τα δείγματα τα οποία έχουν επισημανθεί με διαφορετικό συμβολισμό πάνω στα διαγράμματα και έχουν ομαδοποιηθεί σε ομάδες (Group 1,2,3,4) έχουν χημική σύσταση διαφοροποιημένη σε σχέση με αυτήν που αντιπροσωπεύει η πλειονότητα των δειγμάτων.

Για την υγρή περίοδο όπως προκύπτει από τα διαγράμματα Piper τα δείγματα Φ1, Φ16, Γ8, Γ14, Π. Καμάρι (Group1) ανήκουν στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού αλλά έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου. Τα δείγματα Φ13, Φ3, Γ22, Φ14 (Group2) τείνουν προς το πεδίο του χλωριούχου – νατρίου και καλιούχου έως υπερχλωρικού νερού υποδηλώνοντας εντονότερη μόλυνση των υδροφόρων οριζώντων από θαλάσσια διείσδυση. Τα δείγματα Φ12, Φ10, Γ7 (Group3) έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα NO<sub>3</sub>- η οποία υποδηλώνει πιθανή ρύπανση του υδροφόρου οριζώντα από οργανικούς ρύπους. Τα δείγματα Γ12, Π. Ποταμοί, Π. Μεσαριά, Γ13 (Group4) ανήκουν στο πεδίο του δισανθρακικού νερού με τάση προς ασβεστούχο. Πρόκειται για νερό που ανανεώνεται διερχόμενο από ανθρακικούς ή ψαμμιτικούς(;) υδροφόρους σχηματισμούς και χωρίς προβλήματα υφαλμύρισης.

Στην ξηρή περίοδο τα δείγματα που διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτά που ανήκουν στο πεδίο του χλωριούχου και ασβεστούχου νερού είναι: Φ3, Γ11, Π. Παραδείσι (Group1) εντάσσονται στο πεδίο του χλωριούχου - νατρίου και καλιούχο με τάση προς ασβεστούχο νερό. Φ13, Φ18 (Group2) όπως προηγούμενα. Γ7, Φ10 (Group3) όπως προηγούμενα. Γ1, Γ13, Π. Ποταμός, Π. Μεσαριά, Π1 (δίκτυο) (Group4) όπως προηγούμενα.



Εικ. 4. Διάγραμμα Piper χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού ξηρής περιόδου 1999.



Εικ. 5. Διάγραμμα Piper χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού υγρής περιόδου 2000.

Από τους πίνακες των χημικών αναλύσεων, της ξηρής και υγρής περιόδου (Πίνακες 2, 3) παρατηρείται ότι τα νερά του νησιού χαρακτηρίζονται σχεδόν στο σύνολό τους σαν όξινα ανθρακικά λόγω της επικράτησης των ιόντων  $\text{HCO}_3^-$  έναντι των άλλων στοιχείων. Από άποψη ποσιμότητας τα νερά των πηγών κατατάσσονται μεταξύ 1ης και 2ης τάξης δηλαδή είναι καλής έως ικανοποιητικής ποσιμότητας. Ενώ τα νερά των γεωτρήσεων και των φρεάτων κατατάσσονται στο σύνολό τους μεταξύ 2ης και 3ης τάξης δηλαδή εμφανίζουν ποσιμότητα ικανοποιητική έως μέτρια, σε ορισμένες περιπτώσεις (Φ13, Φ10, Φ18, Γ5, Γ7) χαρακτηρίζεται έως κακή. Είναι φανερό ότι η υποβάθμιση αυτών των νερών οφείλεται κυρίως στην αύξηση των ιόντων χλωρίου και νατρίου δηλαδή σε επίδραση του θαλάσσιου νερού.

Οι τιμές του pH κυμαίνονται σε επιτρεπτά όρια 7-8,5 με ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή 9,5. Η αγωγιμότητα οφείλεται στα διαλυμένα στερεά (TDS) και εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία. Λαμβάνει τιμές από 400 έως 3400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , οι μικρότερες παρατηρούνται στις πηγές ενώ οι μεγαλύτερες στα φρέατα και στις γεωτρήσεις. Ανώτερη τιμή ποσιμότητας 1000-1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα χλωριόντα κυμαίνονται από 60,3 έως 687,8 ppm, ενώ η ανεκτή περιεκτικότητα σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα είναι 350 ppm. Τα θειικά με προτεινόμενο όριο παρουσίας στο νερό 250 ppm λαμβάνουν τιμές από 15,4 έως 143,7 ppm. Η σκληρότητα προκαλείται στο νερό από τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου και αναφέρεται σε γαλλικούς βαθμούς, κυμαίνεται από 15,2 έως 155,5.

Η αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε χλωριόντα στους διάφορους υδροφόρους ορίζοντες οφείλεται:

Στη διείσδυση του θαλασσινού νερού και στον εμπλουτισμό με αυτόν τον τρόπο των υδροφόρων οριζόντων έως ορισμένο βάθος. Η μόλυνση αυτή τοποθετείται μέχρι το βάθος των 10-18 m. περίπου, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το στοιχείο αυτό συμπεραίνεται από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Δανδολος, 1986) και καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες του νησιού.

Στο ατμοσφαιρικό νερό που προέρχεται κυρίως από την εξάτμιση της θάλασσας και το οποίο επικάθεται στα επιφανειακά στρώματα (δημιουργώντας έτσι μια ευδιάκριτη αλατότητα των εδαφών) στη συνέχεια διηθείται ανάλογα προς τα βαθύτερα στρώματα, αλλοιώνοντας έτσι και την ποιότητα του υπόγειου νερού

Πίνακας 2. χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού ξηρής περιόδου έτους 1999

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	pH		ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ mg/lit										ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/lit) CaCO <sub>3</sub>		
			ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ						ΟΛΙΚΗ	ΠΑΡΟΔΙΚΗ	ΜΟΝΙΜΗ
	Αγωγιμότητα μS/cm		Ca	Mg	Na	K	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>				
	θ=25°C														
Φ5	7.8	920	86.6	28.2	89.7	7.8	0	280	36	192	6.2	332	229	103	
Φ18	8.5	2150	189	38.9	297	15.6	12	260	91.3	688	0	632	233	399	
Φ13	8	3400	152	158	540	27.4	0	326	143	1262	49.6	1555	267	1288	
Φ10	8	2150	241	50.1	209	11.7	0	261	79.7	688	12.4	1055	214	841	
Φ16	8	920	128	16.5	62.1	3.9	0	240	36	204	12.4	455	197	258	
Φ2	8	770	89.8	18.5	94.3	7	0	280	27.4	183	0	429	229	200	
Φ6	8.4	1110	120	22.9	120	5.5	12	294	91.9	248	0	560	261	299	
Φ3	8.3	1170	94.6	25.8	133	23.5	4.8	205	74.9	277	24.8	526	176	350	
Γ11	7.9	920	68.9	21.4	122	3.9	0	171	43.2	245	6.2	260	140	120	
Γ10	8	720	51.3	22.4	82.8	6.3	0	237	24	135	3.1	220	194	26	
Γ6	7.7	900	96.2	24.3	89.7	4.7	0	239	28.3	225	3.1	340	196	144	
Γ13	7.7	700	103	17.5	52.9	3.9	0	308	20.7	124	3.1	328	252	76	
Γ21	7.6	820	93	21.4	80.5	3.1	0	283	27.4	168	3.1	320	232	88	
Γ5	7.8	1180	112	39.9	98.9	8.6	0	269	31.7	296	3.1	444	220	224	
Γ14	8	860	80.2	35	55.2	2.3	0	238	37.5	153	24.8	320	195	125	
Γ7	7.8	2400	231	73.9	216	9.4	0	175	43.2	830	0	1046	143	903	
Γ1	7.5	1040	144	21.4	43.7	2.3	0	371	20.2	158	0	455	304	151	
Γ8	8	1040	112	19.5	78.2	5.5	0	269	41.3	186	12.4	450	220	230	
Γ2	8	1100	115	31.1	101	7	0	275	38.4	216	99.2	508	225	283	
Γ4	8.1	740	68.1	18.5	83.9	4.7	0	258	28.8	135	9.3	353	211	142	
Π1 (δίκτυο)	8.5	460	64.1	8.3	27.6	1.6	6	176	15.4	60.3	3.1	194	154	40	
Π.ΠΟΤΑΜΟΣ	7.6	740	115	17.5	46	2.3	0	336	29.3	114	1.2	360	275	85	
Π.ΜΕΣΑΡΙΑ	7.5	740	103	19	50.6	1.6	0	281	21.6	138	0	334	230	104	
Π.ΠΑΡΑΔΕΙΣΙ	7.5	400	32.1	2.9	43.7	3.9	0	75.7	30.7	67.4	6.2	175	62	113	
Α.ΠΑΝΤΕΛΗΜΩΝ	7	480	54.5	3.9	39.1	1.6	0	104	17.8	92.2	6.2	152	85	67	
Π.ΚΑΜΑΡΙ	8	520	67.3	3.9	25.3	25	0	140	20.2	92.2	9.3	223	115	108	



Πίνακας 3. χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού υγρής περιόδου έτους 2000

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	PH	Αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$ $\theta=25^\circ\text{C}$	ΧΙΛΙΟΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ mg/lit										ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (mg/lit) $\text{CaCO}_3$		
			ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ						ΟΛΙΚΗ	ΠΑΡΟΛΙΚΗ	ΜΟΝΙΜΗ
			Ca	Mg	Na	K	$\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3$	Cl	$\text{SO}_4$	$\text{NO}_3$				
Φ1	7.7	1300	111	27.7	78.2	18	0	291.7	215	34.6	3.1	390	239	151	
Φ2	7.7	1070	80.2	18.5	80.5	11.7	0	249	167	27.9	3.1	276	204	72	
Φ3	7.8	1500	94.6	25.3	108	25	0	218.5	246	50	31	340	179	161	
Φ4	8.2	1450	103	26.3	101	26.6	0	258.7	245	48	15.5	364	212	152	
Φ6	7.6	1440	117	21.4	113	12.5	0	277	241	72	3.1	380	227	153	
Φ8	8	3000	191	30.6	336	13.7	0	236.8	775	55.7	9.3	602	194	408	
Φ10	7.7	3000	237	57.9	207	26.6	0	227	745	66.3	15.5	830	186	644	
Φ12	7.5	3500	345	47.2	230	23.5	0	225.8	812	173	86.8	1054	185	869	
Φ13	7.4	4000	149	125	361	35.2	0	283.1	961	86.5	43.4	884	232	652	
Φ14	7.9	2100	103	40.4	283	27.4	0	281.9	553	58.6	3.1	422	231	191	
Φ15	7.8	1300	90	24.3	106	10.2	0	259.9	227	28	6.2	324	213	111	
Φ16	7.7	1400	135	19.9	80.5	8.6	0	220.9	261	42.3	9.3	418	181	237	
Γ13	7.9	900	99.4	3.4	57.5	6.3	0	262.4	113	15	0	262	215	47	
Γ10	7.4	900	62.5	14.1	73.6	6.3	0	225.8	128	18	3.1	214	185	29	
Γ4	7.3	960	68.9	18.5	73.6	6.3	0	251.4	131	18	6.2	248	206	42	
Γ18	7.1	1300	96.2	28.7	106	7	0	244.1	248	38	3.1	358	200	158	
Γ6	7.2	1350	107	19.5	101	4.7	0	225.8	255	26.4	3.1	348	185	163	
Γ21	7	1250	114	12.2	92	3.1	0	261.2	213	24.5	0	334	214	120	
Γ7	7.1	2750	216	68.1	168	9.4	0	177	716	38.4	3.1	820	145	675	
Γ8	7.8	1100	99.4	20.4	64	4.7	0	263.6	156	37.5	9.3	332	216	116	
Γ22	7.6	3100	154	46.2	368	11.7	0	286.8	748	93.7	6.2	574	235	339	
Γ14	7.5	1000	115	15.6	44	2.3	0	227	160	16.3	21.7	352	186	166	
Π.ΚΑΜΑΡΙ	7.7	600	64.1	4.4	34	2	0	136.7	89	11.5	6.2	178	112	66	
Π.ΠΟΤΑΜΟΙ	7.2	900	114	10.7	39	2	0	313.6	96	20.7	0	328	257	71	
Α.ΠΑΝΤΕΛΗΜΩΝ	7.7	550	48.1	5.4	39	2	0	102.5	85	16.8	6.2	142	84	58	
Π.ΜΕΣΑΡΙΑ	8	520	67.3	3.4	25	2	0	185.5	50	13.9	0	182	152	30	

## 8. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Συνοψίζοντας όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια προτάθηκαν τα ακόλουθα έργα και μελέτες για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της έλλειψης καλής ποιότητας ύδατος:

1. Η εκτέλεση 2 ερευνητικών γεωτρήσεων η Γ1 και Γ2 στις βορειοανατολικές κλιτύες της τοπογραφικής έξαρσης Προφ. Ηλίας.

2. Σε ότι αφορά το Δ.Δ. Λιβαδειών, λόγω των μεγάλων αναγκών σε νερό εξαιτίας της ραγδαίας τουριστικής ανάπτυξης, οι υπάρχουσες γεωτρήσεις, λόγω των υπεραντλήσεων έχουν ήδη επιβαρυνθεί από την διεύδυση της θάλασσας όπως ήδη αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της Υδροχημείας. Γι' αυτό το λόγο προτάθηκε η διάνοιξη ερευνητικής γεώτρησης βόρεια της οδού Λιβαδίων – Μεγάλου Χωριού, νοτιοανατολικά του ναού Αγ. Κωνσταντίνου. Η γεώτρηση

πραγματοποιήθηκε ερευνητικά (Εικ. 3) στις 24-5-2002, ήταν επιτυχής. Προτάθηκε η κατασκευή νέου δικτύου ύδρευσης το οποίο θα καταλήγει στον οικισμό των Λιβαδίων σε βρύσες, από όπου οι μόνιμοι κάτοικοι και οι επισκέπτες θα μπορούν να προμηθεύονται νερό μόνον για πόσιμο και θα το μεταφέρουν σε δοχεία, επειδή υπάρχει ρύπανση του υπάρχοντος. Τονίζεται ότι οι βρύσες δεν θα είναι συνεχούς ροής αλλά με βάνες. Επίσης θα πρέπει το νερό που χρησιμοποιείται για τις «πισίνες» να αντλείται από τη θάλασσα διότι δεν είναι απαγορευτικές οι αποστάσεις. Από την στιγμή που τα αποτελέσματα του γεωτρητικού προγράμματος θα είναι θετικά είναι σκόπιμη η μη άντληση των γεωτρήσεων οι οποίες είναι επιβαρημένες από την διεύδυση της θάλασσας.

3. Αξιολογώντας τις μικροβιολογικές αναλύσεις που έγιναν σε διάφορα δείγματα νερού γεωτρήσεων αλλά και του δικτύου, τόσο στο Μεγάλο Χωριό όσο και στα Λιβάδια όπου φαίνεται ότι υπάρχει επιβράδυνση προτείνεται η σταδιακή αλλαγή του εσωτερικού δικτύου των δύο προαναφερόμενων οικισμών διότι μπορεί να δημιουργείται μέσα από ρηγματώσεις του ήδη υπάρχοντος δικτύου.

4. Η παρακολούθηση της ποιότητας των νερών των υδροφόρων οριζόντων που διαμορφώνονται θα πρέπει να είναι συνεχής και εντατική.

5. Προτάθηκε η καταγραφή θερμογραφημάτων από αέρος σε όλες τις ακτές του νησιού με σκοπό τον εντοπισμό των υποθαλάσσιων πηγών, ορισμένες από τις οποίες έχουν ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

6. Για την διερεύνηση υπογείων επιφανειών ροής νερού, προτάθηκε η εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων προκειμένου να καθοριστούν επακριβώς οι επιφάνειες υπόγειας ροής και ειδικότερα των σημαντικών μετώπων των υποθαλάσσιων πηγών.

7. Να κατασκευασθούν μικρά φράγματα ανάσχεσης της ροής των επιφανειακών υδάτων σε κατάλληλες θέσεις ώστε να επιβραδύνεται ο χρόνος η απορροή προς τη θάλασσα και να αυξάνεται ο χρόνος κατείδυσης στους γεωλογικούς σχηματισμούς και έτσι να εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφορέας (τεχνητός εμπλουτισμός).

## Βιβλιογραφία

Δανδολος, Η. (1986). Έκθεση αποτελεσμάτων γεωτρητικών εργασιών στη νήσο Τήλο, ΙΓΜΕ, Αθήνα, 15 σελ.

Freeze, R. & Cherry, A. (1979). Groundwater and the hydrologic cycle, Univ. of British Columbia, p. 192-232.

Piper, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water - analyses, Trans. Amer. Geophysical Union, v. 25, 914-928.

Piper, A.M. (1955). Groundwater notes, Geochemistry, 12.

Roussos, N. (1978). Contribution al' étude Géologique de l' arc Egéen l'île de Tilos, Diplôme de 3e cycle Paris 6, Paris, 110 p.

Ρουσσος, Ν. (1985). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:50.000, Φύλλο «Τήλος», Ι.Γ.Μ.Ε.

Roussos, N. & Bonneau, M. (1977). Stratigraphy and structure of the island of Tilos, VI Colloquium on the geology of the Aegean region, Athens, p. 46.

WHO (1978). Water quality surveys, 350 p.

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΑΤΩ ΖΑΚΡΟΥ

Μαριολάκος Η., Λόγος Ε., Φουντούλης Ι., Θεοχάρης Δ.  
*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος*

### Περίληψη

Η έρευνα των γεωδυναμικών συνθηκών που επικράτησαν και επικρατούν στον αρχαιολογικό χώρο της Κάτω Ζάκρου είχαν σαν συνέπεια να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις: α) στους δομικούς λίθους διαπιστώθηκαν περιοχές με σημαντικές διαρρήξεις, η δημιουργία των οποίων δεν θα ήταν εύκολο να δικαιολογηθεί μόνο από τα ασκηθέντα φορτία, β) σε διαφορετικά επιχρίσματα αναστήλωσης διαπιστώθηκαν διαρρήξεις, γ) διάφορα κτίσματα όπως η "Κυκλική Δεξαμενή", η "Τικτή Κρήνη" που χρησιμοποιούν για την περισυλλογή αναβλύζοντος ύδατος και αποθήκευσης γλυκού νερού, σήμερα βρίσκονται βυθισμένες τουλάχιστον 1,3 και 2,75 μέτρα αντίστοιχα κάτω από την σημερινή επιφάνεια της θάλασσας, δ) στον πυθμένα της παραλίας εντοπίστηκαν δύο διαφορετικές ακολουθίες beach-rock διερρηγμένες σε βάθη περίπου 1,5 και 3 μέτρων αντίστοιχα καθώς και βυθισμένες παλαιοακτές, ε) σε αντίστοιχα βάθη έχουν εντοπιστεί και ανθρωπογενείς κατασκευές που πιθανολογούνται ως υπολείμματα μινωικών λιμενικών εγκαταστάσεων.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι σημαντικός παράγοντας που παραμόρφωσε τις κατασκευές και διαμόρφωσε το σημερινό γεωπεριβάλλον είναι ενεργές κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις και η σεισμική δραστηριότητα.

### OBSERVATIONS ON THE VERTICAL TECTONIC MOVEMENTS DURING THE HISTORICAL TIMES IN THE KATO ZAKROS (CRETE, GREECE) ARCHEOLOGICAL SITE

Mariolakos I., Logos E., Fountoulis I., Theocharis D.  
*University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment*

### Abstract

Many damages and fractures on the stones used for the construction of the archeological site were observed. These fractures were not created only due to the loading itself. Furthermore, many fractures were observed on the coating created during the erection works. Many structures as the "Cyclic tank" (Kiklikli dexameni) or the "Tikti Krini" that were used to deposit fresh water, are located 1.3 to 2.75 meters below sea level at the present time. At the sea bottom close to the seaside, two fractured beach rock occurrences can be distinguished. They occur in depths 1.5 and 3 meters below sea level, as well submerged shorelines. In same depths there are also many man made structures that are thought likely to the remnants of the Minoan harbor. Taking all these into account, we think that the vertical movements influenced dramatically the structures as the whole area suffers from the seismic activity.

**Λέξεις κλειδιά:** Κρήτη, Ζάκρος, Μινωικός πολιτισμός, γεωπεριβάλλον, νεοτεκτονική.

**Key words:** Crete, Zakros, Minoan civilization, geo-environment, neotectonics.

## 1. Εισαγωγή

Το ανάκτορο της Κάτω Ζάκρου θεωρείται το τέταρτο σε μέγεθος ανάκτορο της Μινωικής Κρήτης που πρωτοχτίστηκε γύρω στα 1900 π.Χ.. Τα ερείπια που βλέπουμε σήμερα ανήκουν στο νέο ανάκτορο που χτίστηκε περίπου το 1600 π.Χ., που, όπως αναφέρεται, καταστράφηκε από πυρκαγιά που προκλήθηκε από άγνωστους λόγους το 1450 π.Χ., μαζί με άλλα κέντρα της Μινωικής Κρήτης, χωρίς να ξανακατοικηθεί. Η έκταση του είναι 8000 τετραγωνικά μέτρα (m<sup>2</sup>) και είναι το μόνο από τα μινωικά ανάκτορα που βρέθηκε με τα θησαυροφυλάκια του ασύλητα ύστερα από την καταστροφή του. Βρίσκεται σε ένα ασφαλισμένο κολπίσκο στα ανατολικά παράλια της Κρήτης και βορειοανατολικά της εξόδου του φαραγγιού Κάτω Ζάκρου, το οποίο μετονόμασε ο Νικόλαος Πλάτων «Φαράγγι των Νεκρών» διότι σε πολλές από τις σπηλιές του υπήρχαν ταφές προγενέστερες του ανακτόρου. Στην περιοχή αναπτύχθηκε ένα σημαντικό λιμάνι του μινωικού πολιτισμού και πρέπει να υπήρξε σημαντική βάση του μινωικού στόλου που προστάτευε το νησί.

Τα αρχαία της Ζάκρου είχαν επισημανθεί, για πρώτη φορά, από τον T.A.B. SPRATT το 1832 (Πλάτων, 1974).

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια χωροχρονικού συσχετισμού των διαφόρων αρχαιολογικών ευρημάτων και του γεωλογικού – τεκτονικού καθεστώτος της στενής αλλά και της ευρύτερης περιοχής του αρχαιολογικού χώρου.

## 2. Γεωλογία

Στη στενή αλλά και στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος απαντώνται τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί (Παπασταματίου κ.α., 1959).

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί αποτελούνται από θαλάσσιες και χερσαίες αποθέσεις οι οποίες κατά σειρά από τις νεώτερες στις αρχαιότερες είναι: αλλούβια, σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις, σύγχρονες αδρομερείς ποταμοχειμάρειες αποθέσεις, σύγχρονες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις, ακτόλιθοι – ψηφιδοπαγής αιγιαλός (beach rocks), πλευρικά κορήματα, πλειστοκαινικές παράκτιες αποθέσεις (από ψαμίτες και αιολιανίτες) και νεογενείς αποθέσεις.

Οι αλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα της Τρίπολης. Πρόκειται για την ηφαιστειοϊζηματογενή κλαστική σειρά, όλη την ανθρακική ακολουθία της γεωτεκτονικής ενότητας και για το φλύσχη της.

## 3. Τεκτονική - Νεοτεκτονική

Η τεκτονική παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών έχει πραγματοποιηθεί σε δύο μεγάλες περιόδους την αλπική και την μεταλπική ή νεοτεκτονική.

Κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο παρατηρούνται περισσότερες της μίας παραμορφωτικές φάσεις, ενώ στο σύνολό τους όλοι οι αλπικής ηλικίας σχηματισμοί έχουν υποστεί την τελευταία παραμορφωτική φάση του αλπικού ορογενετικού κύκλου. Γενικά στο σύνολό τους, οι αλπικές παραμορφωτικές φάσεις εκδηλώνονται με πτυχές σε διάφορες κλίμακες παρατήρησης, με ρηγματογόνο τεκτονισμό (κυρίως ανάστροφα ρήγματα και λεπίσσεις) και με επωθήσεις όταν πρόκειται για διαφορετικούς παλαιογεωγραφικούς χώρους.

Στη δεύτερη περίοδο, που είναι γνωστή ως Μεταλπική ή Νεοτεκτονική φάση παραμόρφωσης, κυριαρχεί ο θραυσιγενής τεκτονισμός (ρηξιγενείς ζώνες, ρήγματα) χωρίς να λείπει και ο πλαστικού τύπου τεκτονισμός (ανοικτές πτυχές).

Και οι δύο τύποι τεκτονισμού έχουν επηρεάσει τους αλπικούς σχηματισμούς ενώ οι μεταλπικοί σχηματισμοί έχουν υποστεί μόνο την Μεταλπική – Νεοτεκτονική παραμόρφωση.

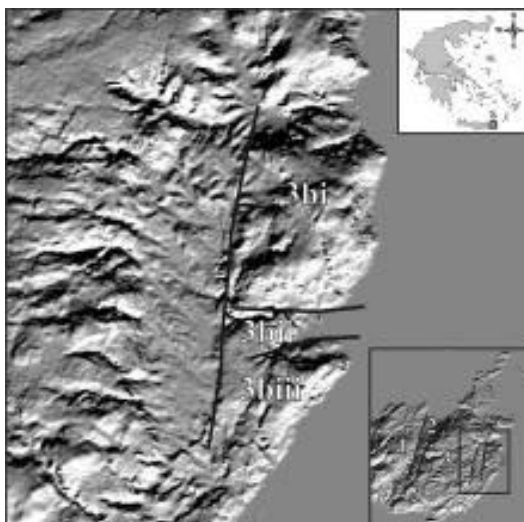
Η κύρια αλπική παραμόρφωση έχει φορά από Βορρά προς Νότο, έτσι ώστε η κύρια

διεύθυνση των αξόνων των πτυχών να είναι Ανατολή Δύση (Α-Δ) (σε όλες τις κλίμακες) και δευτερεύουσα διεύθυνση Βορρά-Νότο (Β-Ν) οι οποίες είναι κυρίως σε μικρής κλίμακας πτυχές και σε λίγες θέσεις. Ειδικότερα στην ανατολική Κρήτη παρατηρείται διασπορά των διευθύνσεων έως και 30<sup>ο</sup> σχετικά με την κύρια διεύθυνση Α-Δ.

Από νεοτεκτονική άποψη (Φυτρολάκης, 1980) στην ανατολική Κρήτη απαντώνται τέσσερις κύριες νεοτεκτονικές μακροδομές οι οποίες, από δυτικά προς ανατολικά, είναι οι ακόλουθες: α) η τεκτονική τάφρος Ιεράπετρας, β) το τεκτονικό κέρας των ορέων της Σητείας, γ) η τεκτονική τάφρος της Σητείας και δ) το τεκτονικό κέρας Ζήρου. Σύμφωνα με νεότερες έρευνες (Μαρκοπούλου – Διακαντώνη κ.α. 1993) η τεκτονική τάφρος Σητείας εμπεριέχεται σε μεγαλύτερης τάξης δομή που είναι το νεοτεκτονικό βύθισμα Σητείας – Μακρύ Γιαλού.

Το τεκτονικό κέρας Ζήρου έχει γενική διεύθυνση Βορράς – Νότος (Β-Ν). Στην νεοτεκτονική μακροδομή εμπεριέχονται και μικρότερης τάξης νεοτεκτονικές δομές όπως είναι το νεοτεκτονικό βύθισμα Ζάκρου (3α) με γενική διεύθυνση σχεδόν Β-Ν, το νεοτεκτονικό κέρας Τραγόσταλος – Μετόχι Αμπελιές (3β) το οποίο έχει γενική διεύθυνση Β-Ν και το ανατολικό βύθισμα του θαλάσσιου χώρου (Εικ. 1 ένθετο).

Θεωρείται σκόπιμο να αναφερθεί ότι στις τελευταίες προαναφερθείσες νεοτεκτονικές δομές εμπεριέχονται μικρότερης τάξης νεοτεκτονικές δομές που έχουν γενική διεύθυνση Α-Δ, αναπτύσσονται δηλαδή εγκάρσια προς την διεύθυνση της μεγαλύτερης τάξης νεοτεκτονικής δομής. Ακριβώς μία τέτοια μικρότερης τάξης νεοτεκτονική δομή με γενική διεύθυνση Α-Δ είναι και το νεοτεκτονικό βύθισμα της Κάτω Ζάκρου (3βii), στο οποίο βρίσκεται και ο αρχαιολογικός χώρος, που χωρίζει το σχετικά μεγαλύτερο νεοτεκτονικό κέρας του Τραγόσταλου (3βi) - Μετοχίου Αμπελιές (3βiii), σε μικρότερης τάξης νεοτεκτονικές δομές, προς βορά βρίσκεται το νεοτεκτονικό κέρας του Τραγόσταλου και προς νότο το νεοτεκτονικό κέρας του Μετοχίου Αμπελιές (Εικ. 1).



Εικ. 1. Η νεοτεκτονική δομή της Ανατολικής Κρήτης και οι μικρότερης τάξης νεοτεκτονικές μακροδομές, σε χάρτη σκιασμένου αναγλύφου.

**Υπόμνημα:** (1) Τεκτονικό κέρας Σητειακών Ορέων, (2) Τεκτονικό βύθισμα Σητείας – Μακρύ Γιαλού, (3) Τεκτονικό κέρας Ζήρου, (3α) Τεκτονικό βύθισμα Ζάκρου, (3β) Τεκτονικό κέρας Τραγόσταλου – Μετοχίου Αμπελιές, (3βi) Τεκτονικό κέρας Τραγόσταλου, (3βii) Τεκτονικό βύθισμα Κάτω Ζάκρου, (3βiii) Τεκτονικό κέρας Μετοχίου Αμπελιές

Το νεοτεκτονικό κέρασ του Τραγόσταλου έχει υψόμετρο 515 m και διεύθυνση Β-Ν. Ο Μουρτζάς (1990), στο εν λόγω κέρασ, έως το υψόμετρο των 473 m έχει καταγράψει 17 επιφάνειες θαλάσσιες διάβρωσης.

Το νεοτεκτονικό κέρασ Μετοχίου Αμπελιές έχει υψόμετρο 208 m και διεύθυνση Β-Ν. Ο Μουρτζάς (1990), έως το υψόμετρο των 200 m έχει καταγράψει 13 επιφάνειες θαλάσσιες διάβρωσης. Πρόκειται για επιφάνειες που έχουν γενικά κλίση προς την θάλασσα και οι οποίες παρουσιάζουν διάφορες τιμές κλίσεων. Η διαφοροποίηση των τιμών υποδηλώνει διαφορετικές ταχύτητες ανύψωσης των νεοτεκτονικών κεράτων. Οι μορφολογικές ασυνέχειες, που διαχωρίζουν τις θαλάσσιες επιφάνειες διάβρωσης, δείχνουν περιόδους απότομης ανύψωσης. Το ύψος τους κυμαίνεται από 3 έως 40 μέτρα.

Κατά την εργασία υπαίθρου εντοπίστηκαν διάσπαρτες μικρές και μεγαλύτερες υπολειμματικές εμφανίσεις νεογενών αποθέσεων που απαντούν σε διάφορα υψόμετρα σε όλη την έκταση των κεράτων, ακόμη και στις κορυφές τους. Με βάση τα στρωματογραφικά δεδομένα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ (Παπασταματίου κ.α., 1959) το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι θα πρέπει καθ' όλη τη διάρκεια του νεογενούς να ήταν καλυμμένα από τη θάλασσα μετά από μία βαθμιαία βύθιση.

#### 4. Νεοτεκτονικό βύθισμα Κάτω Ζάκρου

Η μορφολογική ταπεινώση της Κάτω Ζάκρου αποτελεί ένα νεοτεκτονικό βύθισμα διεύθυνσης Α-Δ, τα περιθώρια του οποίου, τόσο προς βορά με το νεοτεκτονικό κέρασ του Τραγόσταλου, όσο και προς νότο με το νεοτεκτονικό κέρασ Μετοχίου Αμπελιές, ορίζονται από ρηξιγενείς ζώνες γενικής διεύθυνσης Α-Δ. Τμήμα του βυθίσματος, το βόρειοανατολικό, καταλαμβάνει ο αρχαιολογικός χώρος. Το μινωικό ανάκτορο της Κάτω Ζάκρου, κύρια, είναι θμελιωμένο στο φλύσχη της γεωτεκτονικής ενότητας της Τρίπολης, ενώ μικρό τμήμα του, νότια, είναι επάνω σε σύγχρονες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις και σε αλλούβια.

Κατά την έρευνα στο βύθισμα, τόσο στη χέρσο όσο και υποθαλάσσια, καταγράφηκαν τα ακόλουθα:

α) Από τη λεπτομερή έρευνα του πυθμένα του όρμου της Ζάκρου εντοπίστηκαν δύο διαφορετικές ακολουθίες ακολίθων - ψηφιδοπαγών αιγιαλών (beach rocks) σε μέσα βάθη 1,5 και 3 μέτρα, που βυθίζονται προς τα ανατολικά (Εικ 2,3,4,5).



Εικ. 2. Διακρίνονται: α) η ρηξιγενής ζώνη, του βόρειου περιθωρίου του νεοτεκτονικού βυθίσματος Κάτω Ζάκρου, γενικής διεύθυνσης Α-Δ και β) οι δύο διαφορετικοί ορίζοντες των δύο βυθισμένων ακολίθων σε βάθη 1,5 και 3 μέτρα περίπου



Εικ. 3. Διακρίνονται: α) η ρηξιγενής ζώνη, στο νότιο περιθώριο του νεοτεκτονικού βυθίσματος Κάτω Ζάκρου, γενικής διεύθυνσης Α-Δ και β) οι δύο διαφορετικοί ορίζοντες των δύο βυθισμένων ακολίθων σε βάθη 1,5 και 3 μέτρα περίπου

β) Εντοπίστηκαν βυθισμένες παλαιοακτές σε βάθη 0,90, 1,5, 3 και 5 μέτρα (Εικ. 6, 7) ενώ οι μεταξύ τους επιφάνειες επιπέδωσης έχουν κλίση προς τα ανατολικά.

γ) Σύγχρονες ανοδικές κινήσεις ακτογραμμών σφηνοειδούς μορφής, που έχουν κλίση προς τα ανατολικά (Εικ. 8, 9, 10, 11). Πρόκειται για ανοδικές περιστροφικές κινήσεις τω

ρηξιτεμαχών, τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο άκρο του όρμου. Δυτικά παρουσιάζεται ανύψωση της τάξης των 55-60 εκατοστών περίπου, η οποία προς τα ανατολικά μειώνεται στα 10 εκατοστά περίπου.



Εικ. 4. Ο βυθισμένος ορίζοντας των ακτολίθων σε βάθος 1,5 μέτρα περίπου.



Εικ. 5. Ο βυθισμένος ορίζοντας των ακτολίθων σε βάθος 3 μέτρα περίπου



Εικ. 6. Βυθισμένες παλαιοσακτές σε βάθη: α) 0,9, β) 1,5 και γ) 3 μέτρα περίπου.



Εικ. 7. Βυθισμένες παλαιοσακτές σε βάθη: α) 1,5 β) 3 και γ) 5 μέτρα περίπου



Εικ. 8. Γραμμές παλαιοσακτών από το νότιο περιθώριο του νεοτεκτονικού βυθίσματος Κάτω Ζάκρου, που δεν ισαπέχουν δημιουργώντας την εντύπωση σφήνας.



Εικ. 9. Το δυτικό άκρο των παρατηρούμενων σύγχρονων ανοδικών κινήσεων, που παρουσιάζει ανύψωση περίπου 60 εκατοστά η οποία μειώνεται προς τα ανατολικά.



Εικ. 10. Όπως και στην Εικ. 8, από το βόρειο περιθώριο του νεοτεκτονικού βυθίσματος Κάτω Ζάκρου.



Εικ. 11. Το δυτικό άκρο των παρατηρούμενων σύγχρονων ανοδικών κινήσεων, που παρουσιάζει ανύψωση περίπου 60 εκατοστά και η οποία μειώνεται προς τα ανατολικά.



Εικ. 12. Η «Κυκλική Δεξαμενή» που βρίσκεται βυθισμένη κατά 1,3 μέτρα περίπου.



Εικ. 13. Η «Τικτή Κρήνη» που βρίσκεται βυθισμένη κατά 2,75 μέτρα περίπου.

Οι αρχαιολογικές ανασκαφές στη στενή περιοχή του μινωικού ανακτόρου αλλά και στην ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου, με επικεφαλής τον καθηγητή Ν. Πλάτωνα, που ξεκίνησαν το Σεπτέμβριο του 1963 έφεραν στο φως σημαντικά στοιχεία του Μινωικού Πολιτισμού. Δύο από τις εντυπωσιακότερες κατασκευές στο μινωικό ανάκτορο (Πλάτων, 1974) είναι η «Κυκλική Δεξαμενή» (Εικ. 12) και η «Τικτή Κρήνη» (Εικ. 13) που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του ανακτόρου. Χρησίμευαν, η μεν πρώτη, για την περισυλλογή ύδατος που ανάβλυζε από «υπόγεια φλέβα» (υδρομαστευτικό έργο) και η δεύτερη σαν εγκατάσταση εφοδισμού ύδατος (δεξαμενή). Ο Πλάτων 1974, αναφέρει ότι βρίσκονται βυθισμένες αντίστοιχα κατά 1,3 και 2,75 μέτρα τουλάχιστον. Αρχαιολογικά, το συμπέρασμα ενισχύθηκε από τη χρήση τους κατά τη ρωμαϊκή περίοδο αλλά και από τα διάφορα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα σε χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>) είναι πολύ μεγάλη γεγονός που επιβεβαιώνει την υδραυλική επικοινωνία με την θάλασσα.

## 5. Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη: α) την γεωλογική έρευνα στην στενή αλλά και στην ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου και β) τα αρχαιολογικά ευρήματα, είναι δυνατόν να διατυπωθούν οι ακόλουθες σκέψεις – απόψεις:

α) Στην περιοχή, το σύνολο των τεκτονικών κινήσεων δεν είναι συγκεκριμένης φοράς, αλλά υπήρχε και υπάρχει αντιστροφή της φοράς κίνησης από το Πλειόκαινο έως και σήμερα. Πρόκειται για κατακόρυφες ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις, αλλά περιστροφικού χαρακτήρα των τεκτονικών ρηξιτεμαχών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στο γενικό εντατικό πεδίο που υπήρχε στην περιοχή παρουσιάζονται επιμέρους διαφορετικές κινήσεις στα μικρότερα ρηξιτεμάχια του τεκτονικού κέρατος «Μετοχίου Αμπελιές», του τεκτονικού βυθίσματος «Κάτω Ζάκρου» και του τεκτονικού κέρατος «Τραγόσταλου».

β) Από το 1600 π.Χ. που χτίστηκε το ανάκτορο, που βλέπουμε σήμερα, μέχρι το πρόσφατο παρελθόν, παρατηρείται ομοιογενοποίηση της κίνησης των ρηξιτεμαχών που χαρακτηρίζεται από βύθιση της περιοχής. Στο γεγονός αυτό συνηγορούν:

i) η βύθιση της «Κυκλικής Δεξαμενής» και της «Τικτής Κρήνης» σε βάθος 1,3 και 2,75 μέτρα τουλάχιστον,

ii) η ύπαρξη βυθισμένων οριζόντων ακτολίθων (beach rocks) σε βάθη 1,5 και 3 μέτρων περίπου, και

iii) η ύπαρξη βυθισμένων παλαιοακτών σε αντίστοιχα βάθη, και

γ) Οι σύγχρονες τεκτονικές κινήσεις που παρατηρούνται στα περιθώρια είναι ανοδικές περιστροφικού χαρακτήρα.



**Βιβλιογραφία**

Μαρκοπούλου – Διακαντώνη, Α., Μίρκου, Μ.Ρ., Λόγος Ε. Ανδρεάδου, Α. & Ζέρη, Σ. (1993). Νέα δεδομένα στη στρωματογραφία του Νεογενούς στο νεοτεκτονικό βύθισμα Σητείας, *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, XXIX, 17-31.

Μουρτζιάς, Ν. (1990). *Τεκτονικές κινήσεις κατά το Τεταρτογενές στις ακτές της Ανατολικής Κρήτης*, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, 480 σελ.

Παπασαματίου, Ι., Βετούλης, Δ., Μπορνόβας, Ι., Χριστοδούλου, Γ. & Τάταρης, Α. (1959). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Σητεία, 1:50.000*, Ι.Γ.Ε.Υ.

Παπασαματίου, Ι., Βετούλης, Δ., Μπορνόβας, Ι., Χριστοδούλου, Γ. & Τάταρης, Α. (1959). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Ζήρος, 1:50.000*, Ι.Γ.Ε.Υ.

Πλάτων, Ν. (1974). *Ζάκρος – Το νέον Μινωικό Ανάκτορο*, Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα

Φυτρολάκης, Ν. (1980). *Η γεωλογική δομή της Κρήτης – προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα (μεθ' ενός τεκτονικού χάρτου εκτός κειμένου)*, Διατριβή Υψηγείας, Εκδ. Έδρας Ορυκτολογίας – Πετρογραφίας – Γεωλογίας Ε.Μ.Π., Αθήνα, 147 σελ.

## ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μιμιδης Θ., Ρίζος Σ.

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση της υδρογεωλογίας της περιοχής της λίμνης Κουμουνδούρου καθώς επίσης και της υδροχημείας των επιφανειακών, πηγαίων και υπόγειων υδάτων αυτής, στα πλαίσια μιας προγραμματισμένης παρέμβασης για την απορρύπανσή της από υπογείως διαφεύγοντες πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες των Διυλιστηρίων των Ελληνικών Πετρελαίων (ΕΠ) (πρώην ΕΛΔΑ) προς τη λίμνη. Για τη μελέτη των υδρολιθολογικών σχηματισμών της περιοχής γύρω από τη λίμνη ανοίχθηκαν γεωτρήσεις και πραγματοποιήθηκαν αντλητικές δοκιμές. Επιπλέον κατασκευάσθηκαν το υδρογράφημα και η καμπύλη στέρειυσης της πηγής της λίμνης, με τη βοήθεια μετρήσεων παροχών στο σημείο που η λίμνη εκβάλλει στη θάλασσα. Πρόκειται για καρστική πηγή με συντελεστή στέρειυσης πολύ μικρό. Ο μικρός συντελεστής στέρειυσης εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαίου νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο μέσα στη λίμνη και συνεπώς τη διατήρηση του δυναμικού του υδροσυστήματος της για φυσική απορρύπανση. Για την καταλληλότητα του νερού της λίμνης Κουμουνδούρου πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις, με βάση ένα εκτεταμένο δίκτυο παρακολούθησης. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σχεδόν όλα τα δείγματα νερού των γεωτρήσεων είναι επηρεασμένα από το νερό της λίμνης και ότι πρόκειται για νερά ακατάλληλα για χρήση.

### HYDROGEOLOGY OF THE AREA SURROUNDING LAKE KOUMOUNDOUROU ASPROPIRGOU OF ATTICA

Mimides T., Rhizos S.

*Agricultural University of Athens*

*Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering*

### Abstract

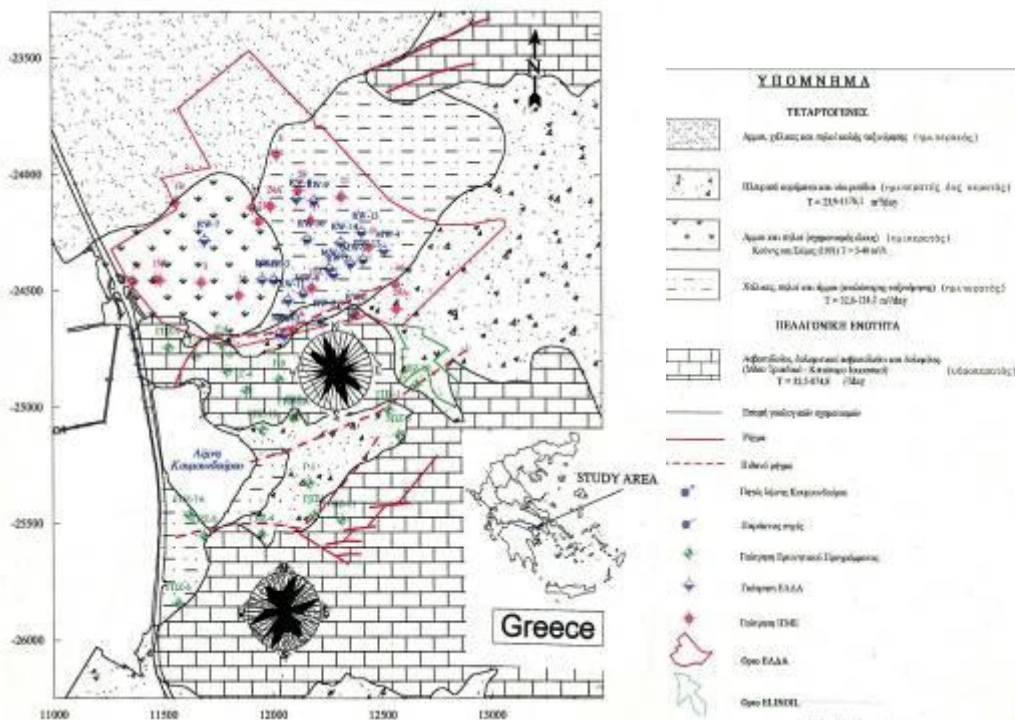
In this study, the hydrogeology of the area surrounding lake Koumoundourou as well as the hydrochemistry of its surface, spring and ground waters were investigated, in the framework of a programmed intervention for its decontamination from underground leaking of hydrocarbons from the Greek Petroleum Refineries towards the lake. For the investigation of stratigraphy and transmissivity of the hydrolithological formations of the watershed, boreholes were drilled and pumping test took place. In addition, the hydrograph and the recession curve of the karstic spring were constructed, taking into consideration the flow measurements at the exit of the lake to the sea. It is a karstic spring with a very small discharge coefficient, and thus it is guaranteed that the discharged of the spring water, enriched with dissolved oxygen, will be unhindered. Consequently, the potential of the hydrosystem of the lake will present a dynamic attitude towards natural decontamination. For the suitability of the water of the lake Koumoundourou, chemical analyses were performed based on an expanded monitoring network. The laboratory chemical analysis results proved that almost all boreholes samples are influenced by the water of the lake and almost are unsuitable for every water demand.

**Λέξεις κλειδιά:** Λίμνη Κουμουνδούρου, υπολίμνια πηγή, καμπύλη στείρευσης, υδρογεωλογία, ρυπογόνοι υδρογονάνθρακες.

**Key words:** Koumoundourou lake, bottom lake spring, recession spring curve, hydrogeology, polluting hydrocarbons.

**1. Εισαγωγή**

Η λίμνη Κουμουνδούρου εντοπίζεται στις νοτιοανατολικές εξόδους του Θριάσιου Πεδίου προς τη θάλασσα. Οριοθετείται βόρεια των νοτιοδυτικών απολήξεων του όρους Αιγάλεω μεταξύ των υψωμάτων Καφαλώνας (273 m υψόμετρο, ΝΑ του στρατοπέδου 871 ΑΒΕΚ) και Γκίκα (ή Διυλιστηρίων, με υψόμετρο 77 m). Μεταξύ του κόλπου της Ελευσίνας στα δυτικά και της λίμνης, παρεμβάλλεται χερσαία ζώνη πλάτους περίπου 50 m εκ των οποίων τα 20 m αποτελούν το οδόστρωμα της Εθνικής Οδού Αθηνών - Κορίνθου. Βρίσκεται σε απόσταση 15 km. από την Αθήνα, σε γεωγραφικό πλάτος 38° 02' Β και γεωγραφικό μήκος 23° 37' Α. Η επιφάνεια της λίμνης είναι περίπου 143.000 m<sup>2</sup>, το μήκος των ακτών της είναι περίπου 1300 m, ενώ το μέγιστο μήκος και πλάτος της είναι 600 m και 400 m αντίστοιχα. Διοικητικά υπάγεται στο Δήμο Ασπρόπυργου (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Υδρολιθολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κουμουνδούρου (κλ 1:50000).

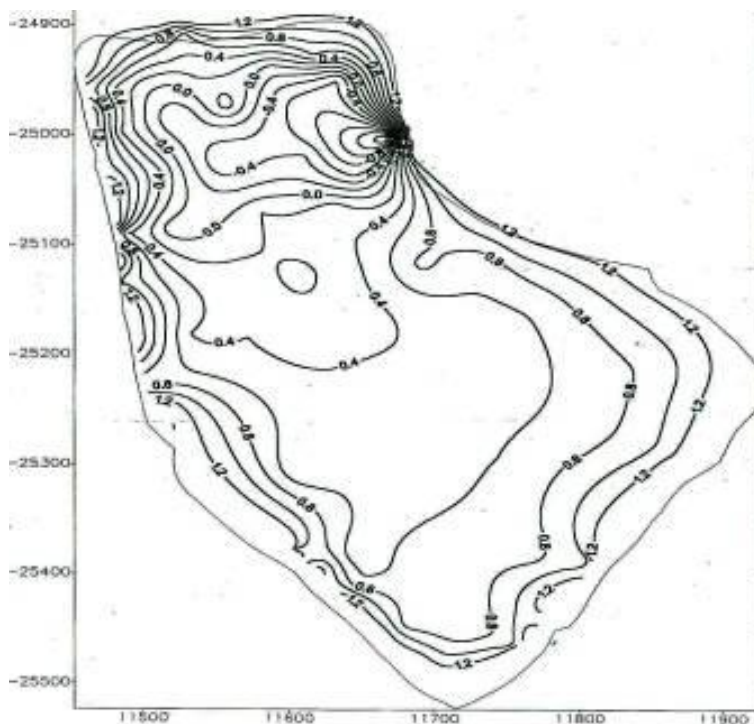
**2. Γεωμορφολογία**

Οι πλαγιές του λόφου Καφαλώνας, οι οποίες ορθώνονται ΝΑ του στρατοπέδου είναι τραχείες, απότομες και κατακερματισμένες λόγω ρηγμάτων. Στις ζώνες όπου ο κατακερματισμός είναι έντονος, σχηματίζονται βαθιές ρεματιές και μικρές μισγάγγειες. Μετά

από έντονες βροχοπτώσεις όλα τα επιφανειακά ύδατα δια μέσου του σχηματιζόμενου υδρογραφικού δικτύου καταλήγουν μέσα στο στρατόπεδο και από εκεί στη λίμνη αφού παρασύρουν επιφανειακούς ρύπους. Στις αρχές του περασμένου αιώνα οι πρόποδες αυτοί, που αποτελούν μέρος του όρους Αιγάλεω, ήταν κατάφυτοι από πεύκα, κυπαρίσσια και πικροδάφνες. Πυκνή βλάστηση με αντίστοιχη πανίδα χαρακτήριζε τις περισσότερες περιοχές του παραπάνω όρους. Οι καταστρεπτικές υλοτομίες των 1917, 1922-1924, 1941-1944 καθώς και πυρκαγιές οδήγησαν στην αποψίλωση της περιοχής με εξαίρεση αυτές του Δαφνίου και του Σκαραμαγκά Νέζης (1983).

Με βάση το ΦΕΚ 5/8-1-1994 ΥΑ 41/1/2-72 η λίμνη που στην αρχαιότητα ήταν αφιερωμένη στη θεά Δήμητρα, ανακηρύχθηκε αρχαιολογικής σημασίας χώρος και καθορίστηκε προστατευόμενη ζώνη 50 m από την περίμετρό της. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αποστραγγίστηκαν και τα τελευταία στρέμματα που της απέμειναν για την επέκταση των εκεί υπαρχόντων βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Το ίδιο όμως δε συνέβη και στην περιοχή γύρω από την είσοδο των σημερινών ΕΠ, όπου βρίσκονταν άλλη μια μικρή λίμνη προς τιμή της Περσεφόνης, η οποία όμως αποξηράνθηκε εδώ και αρκετά χρόνια όταν έγινε και η τελική διευθέτηση των τότε ΕΛΔΑ.

Η λίμνη στο μεγαλύτερο μέρος της είναι αβαθής με μέσο βάθος 1,5 m και μόνο εκεί που εντοπίζονται οι υπολίμνιες πηγές της το βάθος φτάνει τα 3 m. Το απόλυτο υψόμετρό της είναι 1,40 m περίπου από την επιφάνεια της θάλασσας. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μορφολογία του πυθμένα της λίμνης μετά από βυθομετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα 77 σημεία ενός καννάβου και αναχθηκαν στο απόλυτο υψόμετρο της επιφάνειάς της. Στο σημείο που πυκνώνουν οι ισούψεις



Σχήμα 2. Ισοΰψεις καμπύλες του πυθμένα της λίμνης Κουρουνδούρου (κλίμακα 1: 3000).

### 3. Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

#### 3.1 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί

##### 3.1.1. Κοκκώδεις σχηματισμοί

Από υδρογεωλογικής συμπεριφοράς τα πετρώματα γύρω από τη λίμνη διακρίνονται σε ημιπερατούς και περατούς σχηματισμούς (Σχήμα 1).

Ημιπερατοί σχηματισμοί μπορούν να θεωρηθούν οι άμμοι, χάλικες και πηλοί καλής ταξινόμησης, καθώς και αυτοί που έχουν χαρακτηριστεί σαν ατελέστερης ταξινόμησης. Επίσης στους ημιπερατούς κατατάσσονται και οι αποθέσεις των ελών (άμμοι και πηλοί), ενώ τα πλευρικά κορήματα – νέα ριπίδια είναι ημιπερατοί έως περατοί σχηματισμοί.

Ημιπερατές και κατά θέσεις περατές είναι οι αποθέσεις που έχουν κοκκώδη σύσταση με κυριαρχία του πρωτογενούς πορώδους.

Σύμφωνα με τους Κούνη και Σιέμο (1991) οι παροχές των γεωτρήσεων στους κοκκώδεις υδροφόρους σχηματισμούς εντός των ΕΛΔΑ θεωρούνται μικρές. Η παροχетеυτικότητα τους  $T$  κυμαίνεται μεταξύ 0.20 και 1.70 m<sup>2</sup>/day. Η ειδική απόδοση (ενεργό πορώδες του σχηματισμού) υπολογίστηκε με την προσεγγιστική μέθοδο Boulton και βρέθηκε 17% και 41% με επικρατούσες τιμές μεταξύ 17% και 28% (μέση δεκτή τιμή 20%).

Η παροχетеυτικότητα  $T$ , η οποία υπολογίστηκε μετά από τις αντλητικές δοκιμές που εκτελέστηκαν στις γεωτρήσεις του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΓΠΑ) στους σχηματισμούς, κυμαίνεται:

- πλευρικά κορήματα και νέα ριπίδια (ημιπερατά έως περατά με  $T = 23.9 - 1176$  m<sup>2</sup>./day)

- χάλικες πηλοί και άμμοι (ατελέστερης ταξινόμησης) – ημιπερατοί με  $T = 32.6 - 124.2$  m<sup>2</sup>./day).

##### 3.1.2. Καρστικοί σχηματισμοί

Πρόκειται για πολύ υδροπερατούς σχηματισμούς οι οποίοι εντοπίζονται στην ημιορεινή περίμετρο της λεκάνης της λίμνης και είναι αποτέλεσμα της καρστικής διεργασίας των ασβεστόλιθων. Η καρστικότητα των Τριαδικοϊουρασικών αυτών ασβεστόλιθων δεν παρουσιάζει ομοιογένεια λόγω του σποραδικά δολομιτικού χαρακτήρα τους καθώς και της ειδικής παλαιογεωγραφικής και τεκτονικής εξέλιξής τους. Επίσης καρστική διεργασία έχουν υποστεί και τα πλευρικά κορήματα, ιδιαίτερα περιμετρικά, όπου παρουσιάζονται πολύ καλά συγκολλημένα.

Οι καρστικοί ανθρακικοί υδροφόροι μπορούν να τροφοδοτούν γεωτρήσεις με παροχές πολλών δεκάδων m<sup>3</sup>/ώρα με μικρή πτώση της στάθμης με  $T = 32.5 - 124.2$  m<sup>2</sup> /day.

Όσον αφορά τα καρστικά επίπεδα εντοπίστηκαν δύο: ένα στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (σύγχρονο καρστ) και ένα ενδοκάρστ, πολύ παλαιότερο.

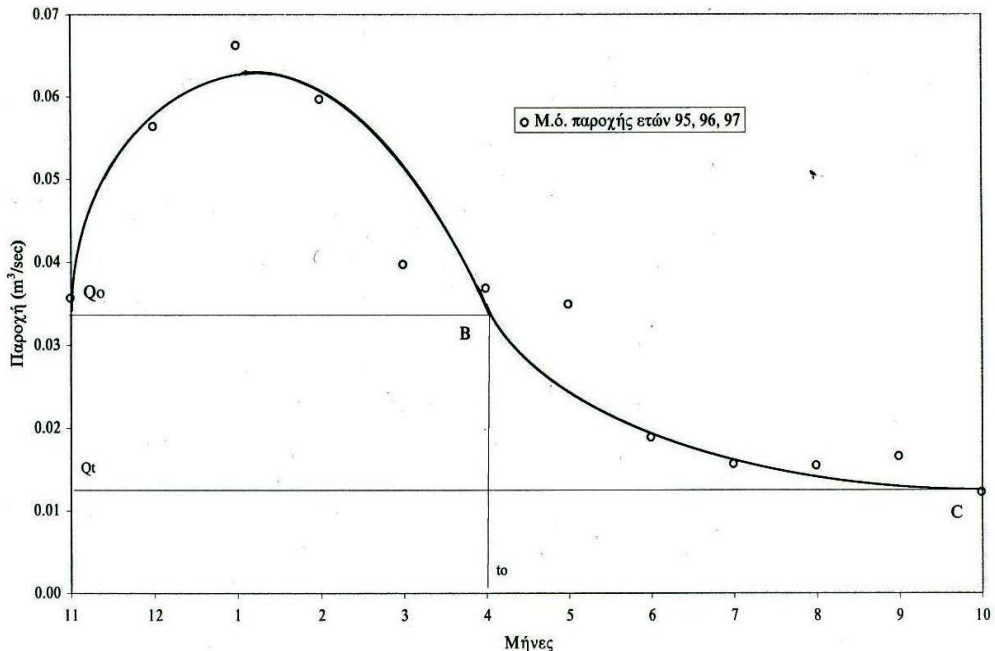
Σημαντικό ρόλο για την υδρολογία της περιοχής έπαιξαν οι δύο τελευταίες παροξυσμικές φάσεις της Αλπικής ορογένεσης στο Μ. – Α. Ηώκαινο και Μ. Μειόκαινο. Κατά τις φάσεις αυτές σχηματίστηκαν "επίπεδα βάσης" του καρστ άσχετα από τη στάθμη της θάλασσας (ενδοκάρστ) μέσα σε μεγάλες ανθρακικές μάζες που με επώθηση βρέθηκαν να κάθονται πάνω σε στεγανά πετρώματα. Συνέπεια αυτής της παροξυσμικότητας είναι η δημιουργία τεκτονικών κεράτων (λόφος Γκίκα) και βυθισμάτων τα οποία συνέβαλαν στην τελική διαμόρφωση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κουμουνδούρου.

Το παράκτιο ενδοκαρστικό σύστημα της λίμνης βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα

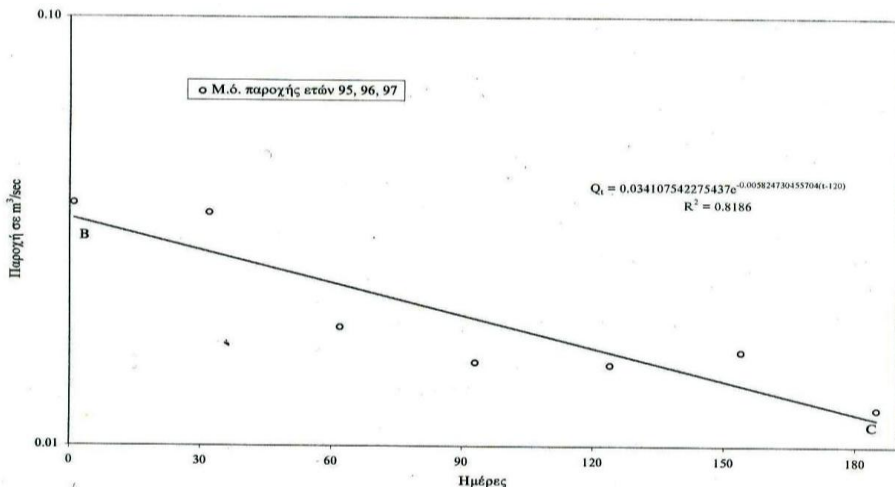
(- 60 έως - 20 m). Η παρουσία αργιλικών σχηματισμών σε αυτά τα αρνητικά βάθη, στη στενή περιοχή έμπροσθεν της λίμνης, υποδηλώνει φραγμένο καρστ προς τη θάλασσα Βορειοδυτικά όμως της λίμνης το καρστ παρουσιάζεται ατελώς φραγμένο, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις περιορισμένες παράκτιες αναβλύσεις νερού στην περιοχή αυτή. Επίσης, ανατολικά της λίμνης εντοπίστηκε και επικρεμάμενο καρστ το οποίο αναπτύσσεται εντός των συμπαγών κορημάτων, εκεί όπου τα πάχη τους φθάνουν τα 20 m.

### 3.1.3. Υδρολογική διαίτα πηγής

Το υδρογράφημα μιας πηγής παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη της διαίτας των υπογείων νερών που την τροφοδοτούν. Για τη δημιουργία του υδρογραφήματος της λίμνης Κουμουندούρου χρησιμοποιήθηκε η θεωρία του Schoeller (1967) βελτιωμένη από τον Mijatovic (1967, 1968). Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το υδρογράφημα της λίμνης το οποίο χαράχθηκε με τη βοήθεια παροχών που μετρήθηκαν στην έξοδο της για τρία συνεχή χρόνια. Η καμπύλη στέρειωσης (Σχήμα 4) της καρστικής πηγής με τη βοήθεια των εξισώσεων του Mailliet (1905) φανέρωσε συντελεστή στέρειωσης  $\alpha = 0.0058$ , δηλαδή μικρή τιμή, πράγμα που σημαίνει ότι η εκκένωση του καρστικού υδροφόρου της πηγής που εκβάλλει στο βυθό της λίμνης Κουμουندούρου γίνεται με βραδύ ρυθμό. Αυτό σημαίνει ότι οι παροχτευτικότητες του καρστικού συστήματος είναι μικρές, ενώ οι ειδικές αποδόσεις μεγάλες, όπως μεγάλος είναι και ο όγκος του υδροφόρου. Αυτό εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαίου νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο μέσα στη λίμνη και άρα την αιφόρο διατήρηση του οικοσυστήματος της.



Σχήμα 3. Υδρογράφημα λίμνης Κουμουندούρου και καμπύλη στέρειωσης.



Σχήμα 4. Λογαριθμική απεικόνιση καμπύλης στέρειυσης λίμνης Κουμουνδούρου.

### 3.2 Αντλητικές δοκιμές γεωτρήσεων

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν 17 αντλητικές δοκιμές στις γεωτρήσεις που ανοίχθηκαν από το ΓΠΑ στους τρεις διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς γύρω από τη λίμνη Κουμουνδούρου. Από τις αντλήσεις αυτές, 8 εκτελέστηκαν στην περιοχή των πλευρικών κορημάτων και νέων ριπιδίων, 2 στην περιοχή των χαλικών, πηλών και άμμων και 7 στην περιοχή των ασβεστόλιθων, δολομιτικών ασβεστόλιθων και δολομιτών. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αντλητικών δοκιμών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Harrill (1971).

Η εξίσωση του Harrill προϋποθέτει κατά στάδια αντλητική δοκιμασία, της οποίας έπεται επαναφορά στάθμης μέχρι αυτή εξισωθεί με την αρχική στάθμη ηρεμίας. Η εξίσωση του Harrill μπορεί να γραφεί:

$$s = \frac{2,3Q_n}{T} \log \left[ \frac{t_1^{\Delta Q1/Q_n} * t_2^{\Delta Q2/Q_n} * \dots * t_n}{t'} \right] \quad (1)$$

Όπου, s η προκύπτουσα πτώση στάθμης σε m, n ο αριθμός των σταδίων άντλησης, t<sub>n</sub> ο χρόνος από τη στιγμή που άρχισε το στάδιο Q<sub>n</sub> (day), Q<sub>n</sub> η παροχή του n-σταδίου σε 3(m<sup>3</sup>/day), ΔQ<sub>1</sub>, ΔQ<sub>2</sub> η ποσοστιαία αύξηση της παροχής στα διάφορα στάδια που ακολουθούν (m<sup>3</sup>/day), t' ο χρόνος από τη στιγμή που άρχισε η επαναφορά (day), T η παροχетеυτικότητα σε m<sup>3</sup>/day. Η εξίσωση εντός της μεγάλης αγκύλης καλείται log (function).

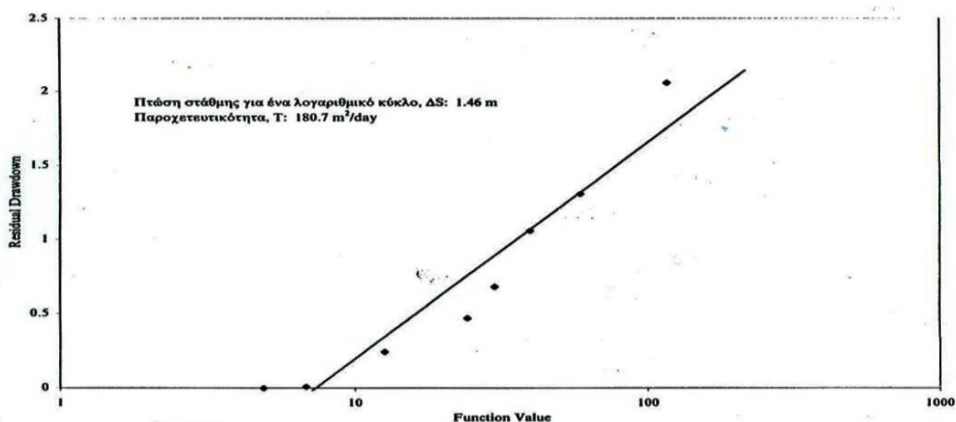
Για τον υπολογισμό της παροχетеυτικότητας T χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα Fortran (Summers 1972) το οποίο τροποποιήθηκε όσον αφορά τις μονάδες μέτρησης από Αγγλοσαξονικές σε Ευρωπαϊκές.

Με βάση τα εξαγόμενα του προγράμματος έγιναν γραφικές παραστάσεις σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων, του s (βλ. εξ. 1) σαν συνάρτηση της [log (function)]. Οι πιο

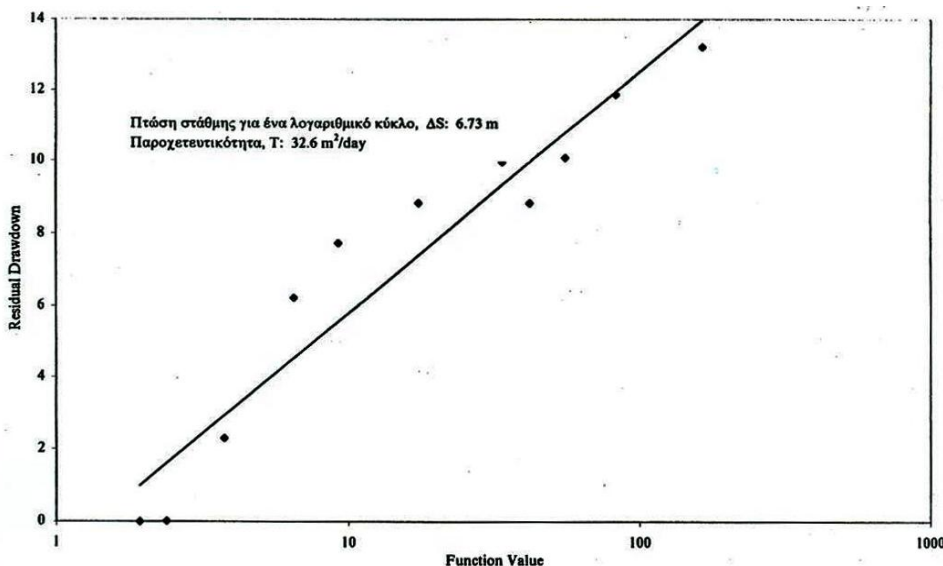
χαρακτηριστικές από αυτές για τους τρεις διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς απεικονίζονται στα Σχήματα 5, 6 και 7. Αυτή η διαδικασία είναι παρόμοια με την κλασική όπου το  $s$  παριστάνεται ενάντια στο  $t/t'$  σε ημιλογαριθμικό χαρτί για επαναφορά σταθμών μετά από άντληση σταθερής παροχής. Η παροχτευτικότητα υπολογίζεται από την:

$$T = \frac{2,3 Q_p}{\Delta s} \quad (2)$$

όπου το  $\Delta s$  είναι η μεταβολή της προκύπτουσας πτώσης στάθμης για ένα λογαριθμικό κύκλο της τιμής της συνάρτησης (function value).

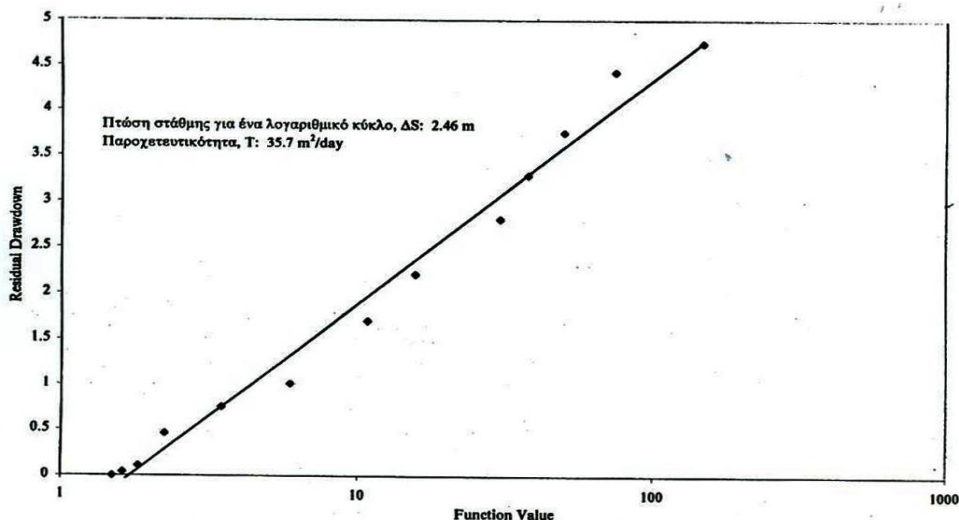


Σχήμα 5. Γεώτρηση ΓΠΖ1, Υπολογισμός παροχτευτικότητας ( $m^2 / day$ ) με τη μέθοδο Harrill (1972).



Σχήμα 6. Γεώτρηση ΓΠΖ8, Υπολογισμός παροχτευτικότητας ( $m^2 / day$ ) με τη μέθοδο Harrill (1972)





Σχήμα 7. Γεώτρηση Γ3, Υπολογισμός παροχτευτικότητας ( $m^2/day$ ) με τη μέθοδο Harrill (1972).

## 5. Υδροχημεία

Οι χημικές αναλύσεις των ανόργανων στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο δεν έδωσαν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των υδατικών δειγμάτων της λίμνης Κουμουندούρου όσο αφορά το σημείο δειγματοληψίας, το βάθος τους αλλά και τη χρονική στιγμή δειγματοληψίας τους. Επειδή δεν παρατηρήθηκε μεγάλη παραλλακτικότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου οι εβδομαδιαίες δειγματοληψίες μετατράπηκαν αργότερα σε μηνιαίες. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις 14 στοιχείων στην έξοδο της λίμνης καθώς και σε διάφορα σημεία αυτής. Στους παρακάτω δύο Πίνακες 1 και 2 δίνονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές των στοιχείων που μετρήθηκαν. Πρόκειται για μέτρια αλατούχο υφάλμυρο νερό όχι όμως πολύ επιβαρυσμένο σε θρεπτικές ουσίες.

Πίνακας 1. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαφόρων στοιχείων στην έξοδο της λίμνης Κουμουندούρου

E.C	19000 - 25100 $\mu S/cm$
pH	7.58 - 8.20
Cl	7100 - 10500 ppm
HCO <sub>3</sub>	300 - 595 ppm
SO <sub>4</sub>	1050 - 1350 ppm
NO <sub>2</sub>	0.009 - 0.08 ppm
NO <sub>3</sub>	1.739 - 9.133 ppm
PO <sub>4</sub>	0.0 - 1.720 ppm
Na	3400 - 5232 ppm
K	145 - 222 ppm
Ca	320 - 700 ppm
Mg	340 - 680 ppm
NH <sub>4</sub>	0.071 - 0.484 ppm
Turbidity	0 - 10 FTU

Πίνακας 2. Ελάχιστες και μέγιστες τιμές των διαφόρων στοιχείων στα διάφορα σημεία της λίμνης Κουμουνδούρου

E. C	20200 - 26800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
pH	7.50 - 8.0
Cl	7455 - 7810 ppm
HCO <sub>3</sub>	317 - 390 ppm
SO <sub>4</sub>	1075 - 1325 ppm
NO <sub>2</sub>	0.012 - 0.019 ppm
NO <sub>3</sub>	2.953 - 4.967 ppm
PO <sub>4</sub>	0.011 - 0.123 ppm
Na	3914 - 5041 ppm
K	148 - 175 ppm
Ca	400 - 640 ppm
Mg	364 - 560 ppm
NH <sub>4</sub>	0.065 - 0.365 ppm
Turbidity	0 - 10 FTU

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε δείγματα νερού γεωτρήσεων, έδειξαν ότι αυτά είναι επηρεασμένα από το νερό της λίμνης και ότι πρόκειται για νερά ακατάλληλα για χρήση εκτός από αυτά των γεωτρήσεων ΓΠΖ2 και ΓΠΖ2α (επικρεμάμενο καρστ). Ειδικά αυτό της ΓΠΖ2 θα χρησιμοποιηθεί για το πότισμα έργων πρασίνου μετά την περιβαλλοντική αναβάθμιση της λίμνης και τη δημιουργία του οικολογικού πάρκου της (βλ. για τις θέσεις των γεωτρήσεων Σχήμα 1).

Επιπλέον ταυτόχρονα με τις μετρήσεις παροχής στην έξοδο της λίμνης λάμβαναν χώρα και επί τόπου μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού όπως: ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), pH, διαλυμένο οξυγόνο (DO), Ταέρα, Τνερού και Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh). Οι διακυμάνσεις των παραμέτρων αυτών έχουν ως εξής: ανάλογα με τη ξηρή ή υγρή περίοδο, η EC κυμαίνεται από 19.300 - 27.350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , σε 25ο C, το pH από 7.60 - 8.23, το DO από 4.90 - 13.40 mg/l, η Τνερού 10.90 - 28.70 ° C, η Ταέρα 10.1 - 34.5 ° C και τέλος το Eh από 90 - 256 mV.

Τα επιφανειακά, τα ηλιαία καθώς και τα υπόγεια νερά της λίμνης Κουμουνδούρου κατατάσσονται σύμφωνα με το διάγραμμα Durov, (Lloyd and Heathcote, 1985) κατά πλειοψηφία στον τύπο Na - Cl.

Οι δείκτες αρδευσιμότητας SAR, SSP, RSP, RSC, PI, SI, Μιμίδης (2007) παρουσιάζουν τιμές που καταστούν το νερό τελείως ακατάλληλο για άρδευση, με εξαίρεση αυτό της ΓΠΖ2 και μερικώς αυτό της ΓΠΖ2α.

## 6. Συμπεράσματα

Οι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί οι οποίοι δομούν την περιοχή γύρω από τη λίμνη Κουμουνδούρου αποτελούνται από τεταρτογενείς αποθέσεις:

Άμμοι, χάλικες και ηλιοί καλής ταξινόμησης (ημιπερατοί)

Πλευρικά κορήματα και νέα ριπίδια (ημιπερατά έως περατά με  $T = 23.9 - 1176.1 \text{ m}^2/\text{day}$  μετά από αντλητικές δοκιμές)

Άμμοι και ηλιοί (σχηματισμός έλους) (ημιπερατοί)

Χάλικες, ηλιοί και άμμοι (ατελέστερης ταξινόμησης) - (ημιπερατοί με  $T = 32.6 - 124.5 \text{ m}^2/\text{day}$  μετά από αντλητικές δοκιμές) και από ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες

του Μέσου Τριαδικού και Κατώτερου Ιουρασικού (υδροπερατούς με  $T = 32.5 - 124.2 \text{ m}^2/\text{day}$  μετά από αντλητικές δοκιμές).

Το παράκτιο ενδοκαρστικό σύστημα της λίμνης Κουμουندούρου βρίσκεται σε αρνητικά απόλυτα υψόμετρα (- 60 έως - 20 m) με φραγμένο καρστ προς τη θάλασσα στη στενή περιοχή μπροστά από αυτή και ατελώς φραγμένο ΒΔ αυτής.

Ο μικρός συντελεστής στείρευσης της καρστικής πηγής ( $a = 0.0058$ ) της λίμνης Κουμουندούρου εγγυάται την απρόσκοπτη ροή πηγαιού νερού εμπλουτισμένου με διαλυμένο οξυγόνο, άρα την αειφόρο διατήρηση του όλου οικοσυστήματος της.

Σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 75/440/EC, 80/778/EC καθώς και η θυγατρική της 98/83/EC, 76/464/EC και 80/68/EC και λαμβάνοντας ως κριτήριο μόνο τις ηλεκτρικές αγωγιμότητες, τα χλωριόντα, τα νάτρια και τα ασβέστια, το νερό της λίμνης συμπεριλαμβανομένης και της καρστικής πηγής της όσο και τα υπόγεια νερά γύρω από αυτή, κρίνονται σχεδόν ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση. Η πλειοψηφία όμως των χημικών παραμέτρων και δεικτών παρουσιάζουν τιμές πολύ κάτω από τα όρια ποσιμότητας τόσο των Ελληνικών όσο και των Ευρωπαϊκών σταθεροτήτων. Οι δείκτες αρδευσιμότητας έχουν τιμές που καταστούν το νερό τελείως ακατάλληλο για άρδευση με εξαίρεση το επικρεμάμενο. Επιπλέον τα νερά αυτά είναι υπερκορεσμένα σε ασβεσίτη, δολομίτη και αραγωνίτη με αποτέλεσμα να γίνεται απόθεση των ορυκτών αυτών σε διάφορα σημεία της υπόγειας διαδρομής τους όταν υφίστανται διαταράξεις της θερμοκρασίας τους καθώς και των συντελεστών που καθορίζουν τη συμπεριφορά της χημικής τους ισορροπίας.

## Βιβλιογραφία

Κούνης Γ. Ο. και Σιέμος Ν. Ε., 1991: Σημειακή Υδρογεωλογική Έρευνα των Υδροφορέων του Θριάσιου Πεδίου για την υδροδότηση των ΕΛΔΑ, ΙΓΜΕ Γ2002 Υ1382.

Μιμιδης Μ. Θ., 2007: Υδρογεωχημεία και Μικροβιολογία των Υπόγειων Νερών, Σημειώσεις για τους φοιτητές της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων, ΓΠΑ, σελ. 87.

Νέζης Ν., 1983: Τα βουνά της Αττικής, Ορεογραφία - Οδηγός - Τοπωνύμια, Εκδόσεις Τάσος Πιτσιλός.

Harrill J. R., 1971: Determining transmissivity from water level recovery of a step drawdown test (in Geological Survey Research, 1970), U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 700-C, C212-C213.

Lloyd J. W. and Heathcote J. A., 1985: Natural inorganic hydrochemist in relation to groundwater, An introduction, Claredon press, Oxford pp.296.

Maillet E., 1905: *Mecanique physique du globe. Esjais d' hydraulique souterraine et fluviale*, -218 S, Paris (A. Hermann).

Mijatovic B., 1967: Hydraulic mechanism of karst aquifers located within low coastal collectors, Vesnik Geozavoda VII, Beograd, Yugoslavia.

Mijatovic B., 1968: Investigation methods of hydrodynamic regime of karst aquifers by the analysis of the recession curve and fluctuation of the aquifer water level under recession conditions, Vesnik Geozavoda VII, Beograd, Yugoslavia.

Milanovic, P. T., 1981: Karst Hydrogeology, Water Resources Publications, pp 330, Colorado.

Schoeller H., 1962: *Les aux souterraines*, Masson, Paris.

Summers W. K., 1972: Application of Harrill's aquation to limestone aquifers, Groundwater, 10, No 4, July - August, pp.21 - 23.

## Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΙΥΛΙΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μιμίδης Θ., Ρίζος Σ., Ψυχογιού Μ., Σγουμποπούλου Α.

*Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ταυτοποίηση των υδρογονανθράκων (προϊόν) του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης Κουμουνδούρου Ασπροπύργου Αττικής και της γύρω περιοχής των ΕΛ.ΠΕ (Ελληνικά Πετρέλαια) κάνοντας χρήση ισοπαχών καμπύλων τόσο για το προϊόν όσο και για τα υπόγεια νερά, στα πλαίσια της περιβαλλοντικής αναβάθμισής της. Η ταυτοποίηση των υδρογονανθράκων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας/φασματογράφου μάζας. Για τη χάραξη των ισοπαχών καμπύλων του προϊόντος καθώς και των ισοπαχών καμπύλων της συνολικής πιεζομετρίας, έγινε χρήση της χωρικής παρεμβολής (interpolation). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων τα οποία συναντώνται στις εγγύτερες γεωτρήσεις των δεξαμενών. Η σύστασή τους δε μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει συνεχής διαρροή από την περιοχή εντός των ΕΛ.ΠΕ όπου εντοπίζονται οι δεξαμενές όπου αποθηκεύεται η νέα αμόλυβδη βενζίνη. Η ελεύθερη εποφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα εξακολουθεί να ευνοεί τη ροή των πετρελαιοειδών προς τη λίμνη. Ωστόσο, ιδιαίτερο ρόλο στον περιορισμό της ρύπανσης παίζει τόσο η συντήρηση, όσο και η διατήρηση από τα ΕΛ.ΠΕ του ειδικού πλωτού φράγματος κατακράτησης των προϊόντων στο σημείο εκροής τους στη λίμνη.

### THE ROLE OF GEOSTATISTICS FOR THE IMPRESSION OF PIEZOMETRIC OF HYDROCARBONS AND UNDERGROUND WATERS IN AREAS OF PETROLEUM REFINEMENT. THE CASE OF LAKE KOUMOUNDOUROU

Mimidis T., Rizos S., Psyhoyou M., Sgoumpopoulou A.

*Agricultural University of Athens*

*Department of Natural Resources Development and Agricultural Engineering*

### Abstract

In this paper, the fingerprinting of hydrocarbon products of the unconfined aquifer of Lake Koumoundourou, Aspropirgos, in Attica around the area of Greek Petroleum is being attempted making use of iso-thickness curves for the product and the underground waters, in the framework of its environmental upgration. The identification of hydrocarbons was performed making use of aerial chromatography / mass spectrograph. For the drawing of the miscellaneous iso-thickness curves interpolation was employed. The results revealed that there is a great variety of products entering the monitoring boreholes that are closer to the storage tanks. The chemical composition of the products does not change with time, a fact that is due to the continuous leakage from the premises of Greek Petroleum and particularly from the tanks where new unleaded gasoline is stored. The water table of the aquifer is in favor of petroleum products flow towards the lake. However, specific role for the confinement of the pollution plays the maintenance of the tanks parallel with the floating barrage restricting oily products into the lake.

**Λέξεις κλειδιά:** Λίμνη Κουμουνδούρου, kriging, πετρελαιοειδή, υπόγεια νερά, ταυτοποίηση.

**Key words:** Lake Koumoundourou, kriging, petroleum products, groundwater, fingerprinting.

## 1. Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία γίνεται καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης στην ευρύτερη περιοχή των Ελληνικών Διυλιστηρίων Ασπροπύργου, ΕΛ.ΠΕ, όσον αφορά το πάχος των πετρελαιοειδών σε όλο τον υπεδάφιο υδροφόρο, κάνοντας χρήση κλασικών μεθόδων γεωστατιστικής ανάλυσης. Ο υπολογισμός του πάχους των πετρελαιοειδών έγινε με την εφαρμογή των μεθόδων χωρικής παρεμβολής (Simple Kriging). Με τον τρόπο αυτό κατεγράφη το πάχος των πετρελαιοειδών και η συνολική πιεζομετρία.

Τα ΕΛ.ΠΕ. εγκαταστάθηκαν στην περιοχή του Ασπροπύργου Αττικής στα τέλη του 1950 και καταλαμβάνουν έκταση 1,1 km<sup>2</sup> περίπου. Εντός των εγκαταστάσεων τους αναπτύσσονται 90 δεξαμενές των 10.000 – 50.000 m<sup>3</sup> καθώς και μονάδες διύλισης. Η μόλυνση του υπεδάφους από πετρελαιοειδή έγινε φανερή από το 1988 κατά τη διάρκεια εκσκαφής για εγκαταστάσεις νέων μονάδων επεξεργασίας. Ευρείες έρευνες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το 1992 έφεραν στο φως υψηλές συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών στο υπέδαφος, υπό μορφή έξι κηλίδων (Σχήμα 1) οι οποίες κάλυπταν το 43% της περιοχής των εγκαταστάσεων τους (Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ-17/2/95). Οι κηλίδες πετρελαιοειδών οφείλονται στις διαφορικές καθιζήσεις του υπεδάφους τους, οι οποίες εξακολουθούν να λαμβάνουν χώρα ακόμα και σήμερα (έδραση πάνω στη μπαζωμένη λίμνη της Περσεφόνης) σε συνδυασμό με διαβρώσεις μεταλλικών μερών των δεξαμενών αποθήκευσης όσο και των αγωγών μεταφοράς προϊόντων. Αυτή η διαρροή έχει σαν αποτέλεσμα τη ρύπανση όχι μόνο των υπόγειων νερών αλλά και της λίμνης Κουμουνδούρου, διαταράσσοντας κατά αυτόν τον τρόπο το οικοσύστημά της.

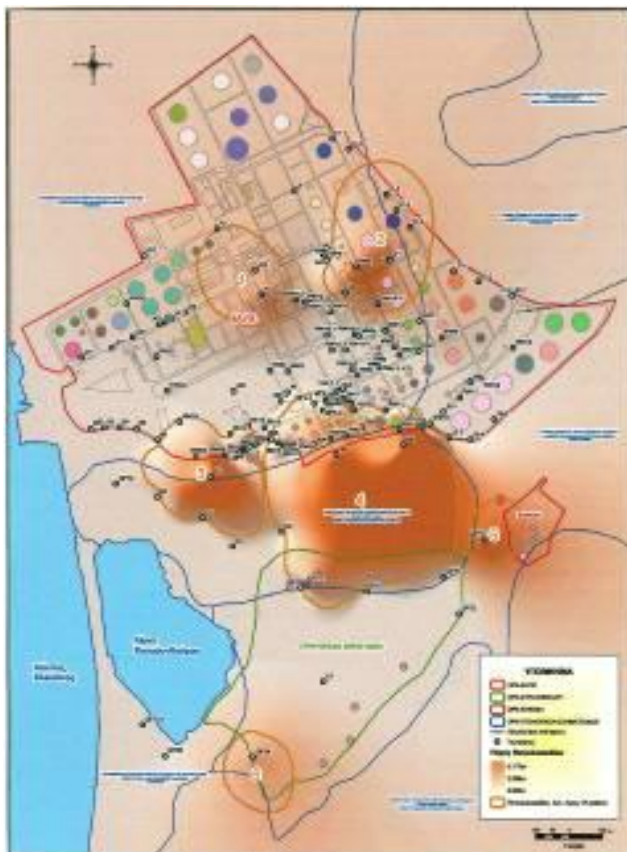
Με βάση το ΦΕΚ 5/8-1-1-1994 ΥΑ 41/1/2-72 η λίμνη Κουμουνδούρου ανακηρύχθηκε αρχαιολογικής σημασίας χώρος και καθορίστηκε προστατευόμενη ζώνη 50 m από την περίμετρό της. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αποστραγγίστηκαν και τα τελευταία στρώματα που της απέμειναν για την έκταση των εκεί υπαρχόντων βιομηχανικών μονάδων.

Μετά την καταγραφή της ρύπανσης από το ΙΓΜΕ, τα ΕΛ.ΠΕ. ξεκίνησαν ένα πρόγραμμα απορρύπανσης. Με κατάλληλη συντήρηση του δικτύου αποθήκευσης και μεταφοράς, η διαρροή μπορεί να σταματήσει (παρατηρούνται διαφυγές αμόλυβδης βενζίνης) ενώ τα ελαιώδη προϊόντα τα οποία έχουν συσσωρευθεί στο έδαφος αφορούν μεγάλα χρονικά διαστήματα παλαιότερων ετών.

Σε διάφορα σημεία της έκτασης των χιλίων και πλέον στρεμμάτων των ΕΛ.ΠΕ. έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από 90 γεωτρήσεις (στην παρούσα ανακοίνωση χρησιμοποιήθηκαν 87 από αυτές) για την απόληψη των ρύπων. Η πυκνότητα των διανοιγμένων γεωτρήσεων είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή και έγινε με γνώμονα την παρεμπόδιση των ρυπαντικών φορτίων προς τη λίμνη Κουμουνδούρου (Σχήμα 1).

Η χρήση λογισμικών πακέτων όπως το Surfer 7.0 και VARIOWIN 2.2, καθώς και η ενσωμάτωση σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών κλασικών μεθόδων γεωστατιστικής ανάλυσης, αποτελεί σημαντικό εργαλείο που εφοδιάζει συνεχώς, με τη δυνατότητα επεξεργασίας πολύ μεγάλων πληροφοριών, με δημιουργία Συστημάτων Λήψης Απόφασης (Decision Support Systems-DSS) κλπ., όλους τους εμπλεκόμενους στο σχεδιασμό προγραμμάτων εξυγίανσης του υπόγειου υδροφόρου.

Για τα γεωλογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής βλ. Μιμίδης και Ρίζος (2007).



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης όπου φαίνονται τα ΕΛ.Π.Ε., οι διάφορες εγκαταστάσεις γύρω από τη Λίμνη Κουμουνδούρου καθώς και η ανάπτυξη των έξι πετρελαιοκηλίδων.

## 2. Η τύχη των πετρελαιοιδών

Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες εντοπίστηκαν σε:

- ακόρεστα εδάφη, όπου αρχικά ελευθερώνονται,
- στον υδροφόρο ορίζοντα, όπου μεταναστεύουν δια μέσου της ακόρεστης ζώνης,
- στη ζώνη αερισμού (συνεισφέρουν στην αέρια φάση του εδάφους).

Με την απελευθέρωσή τους στο έδαφος, οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους υδρογονάνθρακες είναι η προσρόφηση, η αποσύνθεση, η βιοαποικοδόμηση, η διάχυση και η αεριοποίηση.

Τα περισσότερα από τα πετρελαϊκά προϊόντα (αλκάνια, αρωματικοί υδρογονάνθρακες) είναι μη πολικές ενώσεις κι έχουν περιορισμένη διαλυτότητα στο νερό. Αντίθετα, τα φυσικά ευρισκόμενα στο έδαφος χουμικά οξέα ή στα φυσικά νερά φουλβικά οξέα είναι δυσδιάλυτα στο νερό αλλά μπορούν να προκαλέσουν διάλυση υποστρωμάτων κατόπιν δημιουργίας χειλικών συμπλόκων με δέσμευση οργανικών ενώσεων ή μεταλλικών κέντρων. Επίσης, δέσμευση των οργανικών μορίων μπορεί να επιτευχθεί και από μη οργανικές ενώσεις των χουμικών με ομοιοπολικούς δεσμούς, ή από αργιλικές, πυριτικές, ανθρακικές, φωσφορικές

διαστρώσεις που απαντώνται συχνά εντός των εδαφικών σχηματισμών.

Ο συντελεστής προσρόφησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο εκτίμησης της κινητικότητας των ρυπαντών. Όσο υψηλότερη η τιμή του, τόσο μικρότερη η κινητικότητα της ένωσης και μεγαλύτερη η πιθανότητα προσρόφησης της.

Το πρόβλημα κατά την εξυγίανση μιας ρυπανθείσας περιοχής από πετρελαιοειδή είναι ότι δεν απαντώνται όλες οι συστατικές ενώσεις αυτών σε κάθε μια από τις τρεις φάσεις που προαναφέρθηκαν και αυτό εξαιτίας της διαφορετικής διαλυτότητας και πτητικότητά τους. Τα μικρά διαλυτότητας και πτητικότητας συστατικά επικρατούν στο έδαφος, τα μεγάλα διαλυτότητας στο νερό και τα πολύ πτητικά στην αέρια φάση του εδάφους.

Οι τρεις μεγαλύτερες κηλίδες από τις προαναφερθείσες στην ευρύτερη περιοχή των ΕΛ.ΠΕ. είναι οι 4, 2 και 3. Η μεγαλύτερη, 4, έχει έκταση 282.000 m<sup>2</sup> και μεταγγιζόμενη από τον κοκκώδη υδροφόρο υποδοχής πλευρικά στο ρωγματομένο ασβεστόλιθο, εκφορτίζεται ήπια και σχεδόν σημειακά στη λίμνη Κουμουνδούρου, ενώ οι μικρότερες 2 και 3 με έκταση 115.000 m<sup>2</sup> και 92.000 m<sup>2</sup> αντίστοιχα, μάλλον δεν ανανεώνονται και πρακτικά παρουσιάζονται παγιδευμένες στον κοκκώδη υδροφόρο. Οι κηλίδες αυτές χαρακτηρίζονται ως υγρά μη υδατικής φάσης (nonaqueous phase liquids-NAPLs). Ο συνολικός όγκος των πετρελαιοειδών των κηλίδων ανήλθε στα επίπεδα των 17.000 m<sup>3</sup>, 2500 m<sup>3</sup> και 2800 m<sup>3</sup> αντίστοιχα, στο χρονικό διάστημα της διάρκειας της μελέτης.

Τα NAPLs καθιστούν την εξυγίανση ρυπασμένων υδροφόρων οριζόντων πολύ δύσκολη, διότι η εξάλειψη όλων των υπολειμματικών γαγγλίων NAPL που είναι παγιδευμένοι σε μεμονωμένους πόρους είναι σχεδόν αδύνατη. Μολονότι πολλές τεχνικές αφαίρεσης των NAPLs βρίσκονται σήμερα υπό δοκιμασία, παρ' όλα αυτά δεν έχουν βρεθεί υπαίθριες μέθοδοι ικανές να απομακρύνουν κάθε μορφής NAPL από ένα υδροφόρο και να τον επαναφέρουν σε τέτοια επίπεδα ώστε το νερό να καταστεί πόσιμο (ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωση 0.01 mg/l EEC Directive 80/778). Η φάση των NAPL που παραμένει παγιδευμένη εντός της κύριας μάζας του εδάφους-υδροφόρου δρα σαν μια συνεχής πηγή τροφοδοσίας διαλυμένων ρυπαντικών ουσιών προς το υπόγειο νερό. Εξαιτίας αυτής της διαδικασίας συνεχούς απελευθέρωσης ρυπαντικών ουσιών, η εξυγίανση των υδροφόρων είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια.

### 3. Χωρική παρεμβολή

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής πρωτοεισδηθήσαν από τους Matheron (1963) και Krige (1951) και στηρίζονται στη διαπίστωση ότι η μεταβολή μιας ιδιότητας στο χώρο είναι αρκετά ακανόνιστη για να μπορεί να περιγραφεί από μια μαθηματική συνάρτηση όπως προσαθούν οι διάφορες προσδιοριστικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής (deterministic interpolation methods).

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι (geostatistical methods) χρησιμοποιούν μεθόδους χωρικής αυτοσυσχέτισης (spatial autocorrelation) και ανήκουν στην κατηγορία του 'ακριβή παρεμβολέα'. Αυτές οι μέθοδοι καλούνται γενικώς kriging και απαιτούν την κατανόηση των αρχών που διέπουν τη χωρική αυτοσυσχέτιση των τιμών της εξεταζόμενης ιδιότητας. Δηλαδή, τη συσχέτιση των τιμών με βάση την απόσταση και την κατεύθυνση (προσανατολισμό) που τις διαχωρίζει. Σε αντίθεση με την kriging, οι προηγούμενες μέθοδοι στηρίζονται στην κλασική στατιστική όπου οι τιμές της εξεταζόμενης ιδιότητας είναι ανεξάρτητες και δεν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσά τους.

Οι μέθοδοι kriging χρησιμοποιούνται όταν η μεταβολή στο χώρο των τιμών μιας ιδιότητας είναι αρκετά ανώμαλη και όταν ο αριθμός των δειγμάτων είναι περιορισμένος με συνέπεια να είναι πιθανόν οι υπόλοιπες μέθοδοι χωρικής παρεμβολής να οδηγήσουν σε αναξιόπιστες προβλέψεις.

Χωρική παρεμβολή (interpolation) ονομάζεται η μέθοδος πρόβλεψης των τιμών μιας

ιδιότητας ή μεταβλητής σε κάθε σημείο μιας περιοχής από τιμές της ιδιότητας ή της μεταβλητής σε περιορισμένο αριθμό σημείων της ίδιας περιοχής στα οποία έχουν γίνει μετρήσεις.

Στηρίζεται στη διαπίστωση ότι γενικά οι τιμές μιας ιδιότητας σε κοντινά σημεία αναμένεται να είναι παρόμοιες σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι αν τα σημεία βρίσκονται απομακρυσμένα μεταξύ τους. Οι διάφορες μέθοδοι χωρικής παρεμβολής στοχεύουν στην όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση της μικρής κλίμακας μεταβολής των τιμών μιας παραμέτρου ώστε να επιτευχθεί πληρέστερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο γίνεται η μεταβολή και ακολούθως η ακριβής πρόβλεψη των τιμών της σε οποιοδήποτε σημείο.

Η χωρική παρεμβολή είναι ευρείας χρήσεως καθώς μπορεί να βοηθήσει τους επιστήμονες να διαχειριστούν σχετικά δεδομένα, να βγάλουν συμπεράσματα και να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις εκμεταλλευόμενοι μικρό αριθμό δεδομένων. Το παραπάνω στοιχείο παρέχει το σημαντικό πλεονέκτημα εξοικονόμησης χρόνου και χρημάτων που απαιτούνται για τη λήψη μεγάλου όγκου δεδομένων και την ακόλουθη επεξεργασία και αξιολόγησή τους.

Η αναπαράσταση της χωρικής κατανομής των τιμών μιας ιδιότητας με γραμμές γίνεται κυρίως με ισογραμμές (καμπύλες όπου η ιδιότητα έχει την ίδια τιμή), κάθετες τομές (προφίλ) ή κρίσιμες γραμμές όπως κορυφογραμμές, διαδρομές χειμάρρων καθώς και με ψηφιδωτά ή ακανόνιστα πλέγματα.

Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής γίνεται με δύο τρόπους: Ο πρώτος αναφέρεται στη σύγκριση των εκτιμώνων με τις πραγματικές τιμές της ιδιότητας, σε κάθε σημείο όπου υπάρχουν δεδομένα. Ειδικότερα, αν μετά την εκτέλεση της χωρικής παρεμβολής στα σημεία δειγματοληψίας δίνονται οι πραγματικές τιμές τότε αυτή καλείται 'ακριβής παρεμβολέας' (exact interpolator). Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δίνονται οι εκτιμώμενες τιμές, τότε η μέθοδος αποτελεί 'μη ακριβή παρεμβολέα' (inexact interpolator). Δείκτης της ακρίβειας των μεθόδων αυτής της κατηγορίας αποτελεί η στατιστική επεξεργασία των διαφορών (residuals) μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών στα σημεία δειγματοληψίας.

Ο δεύτερος τρόπος διάκρισης βασίζεται στον αριθμό των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή της διαδικασίας. Οι κατηγορίες που διακρίνονται είναι: οι καθολικές (global methods) και οι τοπικές μέθοδοι (local deterministic methods) χωρικής παρεμβολής. Στις καθολικές χρησιμοποιούνται όλα τα δεδομένα, δηλαδή η πρόβλεψη της τιμής μιας μεταβλητής καθαρίζεται από τις τιμές της μεταβλητής του συνόλου των σημείων όπου έχει γίνει δειγματοληψία. Αντίθετα, στις τοπικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής χρησιμοποιείται ένα μέρος των δειγμάτων-των γειτονικότερων δειγμάτων-για τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής σε ένα σημείο.

Οι κυριότεροι τύποι kriging είναι οι εξής:

*Ordinary kriging:* Η κοινή ή σημειακή kriging ανήκει στους ακριβείς παρεμβολείς και εφαρμόζεται όταν στη χωρική μεταβολή μιας τυχαίας εξαρτημένης μεταβλητής δεν υφίσταται σημαντικό μη συσχετισμένο σφάλμα. Συγκεκριμένα για να εφαρμοσθεί γίνεται εκ των προτέρων παραδοχή ότι ισχύει σταθερότητα 2ης τάξεως, δηλαδή στη εξίσωση του βαριογράμματος υπεισέρχεται μόνο το άνωσμα διαχωρισμού (separation vector) και όχι η θέση Nalder and Wein (1998). Για να είναι σωστή αυτή η παραδοχή πρέπει να ισχύει μη ύπαρξη τάσης στα δεδομένα, το οποίο όμως μπορεί να γίνει αποδεκτό όταν η περιοχή από όπου θα αντληθούν τα δεδομένα είναι σχετικά μικρή.

*Block kriging:* Η συγκεκριμένη μέθοδος βρίσκει εφαρμογή όταν επιθυμούμε τον υπολογισμό της μέσης τιμής μιας μεταβλητής σε μια μικρή μη-σημειακή υποπεριοχή της εξεταζόμενης περιοχής. Ειδικότερα εφαρμογή της μπορεί να γίνει στις περιπτώσεις όπου πρέπει να αγνοηθεί η μεταβολή μιας ιδιότητας σε πολύ μικρές περιοχές επειδή κάτι τέτοιο θα οδηγούσε στο σχηματισμό χαρτών με απότομο ανάγλυφο. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν



αρκετές φυσικές ιδιότητες όπως πχ. οι εδαφικές. Έτσι καθορίζονται υποπεριοχές στη συνολική έκταση όπου είναι συγκεντρωμένα αρκετά σημεία δειγματοληψίας. Οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για τη χωρική παρεμβολή είναι οι μέσες τιμές από τα σημεία δειγματοληψίας σε κάθε υποπεριοχή.

*Simple kriging*: Η απλή kriging επιτυγχάνει την πρόβλεψη των τιμών μιας ιδιότητας μέσω μιας γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης (generalized linear regression) στην οποία γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει δευτέρου βαθμού σταθερότητα με γνωστή τη μέση τιμή (Goovaerts 1999).

*Non-linear kriging*: Η κυριότερη εκπρόσωπος της μη-γραμμικής kriging είναι η lognormal kriging, η οποία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεταβλητών που παρουσιάζουν κανονική λογαριθμική κατανομή. Η διαδικασία πρόβλεψης των τιμών της ιδιότητας η οποία ακολουθείται με την lognormal kriging είναι σε μεγάλο βαθμό ίδια με την κοινή kriging. Οι διαφοροποιήσεις της έγκειται κυρίως στην απαιτούμενη μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε φυσικούς λογάριθμους με βάση 10 και την αντίστροφη μετατροπή των εκτιμώμενων τιμών (λογάριθμοι του 10) σε πραγματικούς αριθμούς.

*Co-kriging*: Παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της χωρικής μεταβολής των τιμών μιας ιδιότητας για την οποία υπάρχει μικρός αριθμός δεδομένων, από τη χωρική μεταβολή μιας συ-μεταβλητής της για την οποία υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Αποτελεί επέκταση της κοινής kriging όπου εκτός των απλών βαριογραμμάτων απαιτείται η γνώση της από κοινού χωρικής συ-μεταβολής των δύο μεταβλητών.

*Universal kriging*: Η καθολική kriging είναι μια εναλλακτική μέθοδος έναντι της Co-kriging, η οποία αναπτύχθηκε για να βελτιώσει την ακρίβεια εκτίμησης φυσικών ιδιοτήτων που τις χαρακτηρίζει η παρουσία εξωτερικών τάσεων. Η Universal kriging λαμβάνει υπόψη της τις τοπικές τάσεις των δεδομένων, απομακρύνει τις εμφανείς τάσεις 1ης τάξεως και μειώνει, με αυτόν τον τρόπο, το σφάλμα εκτίμησης Ovallés και Collins (1988). Τα αποτελέσματα παραμένουν ευαίσθητα στην περιοχή από όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα αλλά είναι σε σημαντικό βαθμό λιγότερο ευαίσθητα συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα από την κοινή kriging Nalder και Wein (1998).

Σύμφωνα με τους Caruso και Quarta (1998) είναι δύσκολος ο καθορισμός κριτηρίων, βάση των οποίων μπορεί να διαπιστωθεί η ανωτερότητα κάποιας μεθόδου χωρικής παρεμβολής έναντι κάποιας άλλης. Η χρήση διαφορετικών κριτηρίων μπορεί να οδηγήσει σε τελείως διαφορετική κατάταξη των μεθόδων και κατά συνέπεια σε αντικρουόμενα συμπεράσματα.

#### 4. Μεθοδολογία

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 87 γεωτρήσεις από τις συνολικά 90, για τις οποίες υπήρχε πλήρης σειρά μετρήσεων. Οι μετρήσεις γίνονται με συχνότητα μία φορά το μήνα από το προσωπικό ιδιωτικής εταιρίας (Batel) που έχει αναλάβει για λογαριασμό των ΕΛ.ΠΕ. το δύσκολο έργο της απορρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου των διυλιστηρίων. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις της χρονικής περιόδου από 30 Σεπτεμβρίου 1999 έως 2 Ιανουαρίου 2001. Οι μετρήσεις αυτές οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια σταθμογράφου περιλαμβάνουν καταγραφή του ύψους της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα καθώς και καταγραφή του μετρούμενου πάχους των πετρελαιοειδών.

Το μετρούμενο πάχος των πετρελαιοειδών χαρακτηρίζεται ως φαινομενικό πάχος των πετρελαιοειδών και διαφέρει από το πραγματικό πάχος γιατί τα πετρελαιοειδή ως υγρά μη υδατικής φάσης παρουσιάζουν μια ιδιαίτερη συμπεριφορά μέσα στο πορώδες μέσο. Για τη χρησιμοποίηση της θεωρητικής εξίσωσης αναγωγής του φαινομενικού πάχους σε πραγματικό  $t_g = t(1-sg)-h_a$  (βλ. §4.1), είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους των προϊόντων για κάθε μία από τις γεωτρήσεις.

#### 4.1 Υπολογισμός των υδρολογικών παραμέτρων

Τα απόλυτα υψόμετρα των στομών των γεωτρήσεων προσδιορίστηκαν μέσω του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Elevation Model-DEM), το οποίο κατασκευάστηκε με την βοήθεια Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων από χάρτες κλίμακας 1:5.000. Οι θέσεις των γεωτρήσεων προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια οργάνου εντοπισμού θέσης (Geografic Position System-G.P.S.).

Το πιεζομετρικό ύψος του νερού (water pressure) υπολογίζεται με αφαίρεση της μέτρησης του σταθμημέτρου από το απόλυτο υψόμετρο του στομίου της γεώτρησης (Z). Με τον τρόπο αυτό εξάγεται το ύψος της απόλυτης στάθμης του υδροφόρου, το οποίο ισοδυναμεί με την υδροπιεζομετρία του σημείου.

$$\text{Water pressure} = Z - \text{Μέτρηση} \quad (1)$$

Το πάχος των πετρελαιοειδών μετρείται με ειδικό διαφορικό σταθμήμετρο κατασκευασμένο για το σκοπό αυτό. Εάν το σταθμήμετρο συναντήσει στάθμη ελαιώδους προϊόντος (πετρελαιοειδές), τότε δίνει την ένδειξη με διπλό ήχο ή διπλό φλας ενώ συνεχίζοντας την κάθοδο του αισθητήρα του οργάνου δίνει την ένδειξη του μονού ήχου ή μονό φλας, όταν συναντήσει νερό. Η λειτουργία του οργάνου στηρίζεται στη διαφορετική αντίσταση που έχουν τα δύο υγρά. Η διαφορά των δύο αυτών μετρήσεων αποτελεί το φαινομενικό και όχι το πραγματικό πάχος των πετρελαιοειδών που συναντώνται μέσα στη γεώτρηση.

Σύμφωνα με τη γεωμορφολογία των ΕΛ.ΠΕ., η συμπεριφορά του υπεδάφους, το οποίο χαρακτηρίζεται από προσχωσιγενή κοκκώδη υλικά, μπορεί να συγκριθεί με τη συμπεριφορά ενός υπεδάφους που θα αποτελούνταν από ομοιομορφη υγρή άμμο. Η παραδοχή αυτή δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της σχέσης ανάμεσα στο πραγματικό και φαινομενικό πάχος των πετρελαιοειδών.

Σύμφωνα με τον Ballestero et al.(1994), για την εξυγίανση της μόλυνσης από υδρογονάνθρακες πετρελαίου σε πορώδη μέσα είναι αναγκαία η παρακολούθηση και ο υπολογισμός του όγκου του αμιγούς ρευστού υδρογονάνθρακα. Το φαινομενικό ελεύθερο πάχος προϊόντος που προκύπτει ως ένδειξη από μια γεώτρηση είναι αρκετά μεγαλύτερο από το πραγματικό ελεύθερο πάχος προϊόντος στο έδαφος.

Η εξίσωση η οποία προβλέπει το πραγματικό πάχος εξελίχθηκε χρησιμοποιώντας ετερογενή υγρά σε συνθήκες μηχανικής και υδροστατικής ροής και είναι η:

$$tg = t(1 - sg) - ha \quad (2)$$

όπου  $tg$ =πραγματικό πάχος σχηματισμού ελευθέρου προϊόντος,  $t$ =φαινομενικό (προϊόν τρύπας γεώτρησης) πάχος,  $sg$ =ειδικό βάρος των υδρογονανθράκων πετρελαίου (βενζίνη),  $ha$ =απόσταση ανάμεσα στον υδροφόρο ορίζοντα και στο ελεύθερο προϊόν του σχηματισμού.

Η εξίσωση αυτή μελετήθηκε εργαστηριακά από τους Blake και Hall (1984), στην περίπτωση που το προϊόν διαρροής είναι βενζίνη. Σύμφωνα με αυτό το πείραμα και δεδομένου ότι το ειδικό βάρος της βενζίνης είναι 0,78, σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν με το υδρόμετρο, το  $ha$  υπολογίστηκε 30 cm. Το ειδικό βάρος ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας την αναλογία της απόστασης της διαχωριστικής επιφάνειας βενζίνης-νερού στη γεώτρηση που ήταν κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα με το συνολικό φαινομενικό πάχος. Το ειδικό βάρος το οποίο καθορίστηκε με αυτήν τη μέθοδο βρέθηκε  $0,78 \pm 0,02$ .

Στην περιοχή των ΕΛ.ΠΕ. το προϊόν διαρροής ως προς την ποιότητά του διακρίνεται κυρίως σε δύο κατηγορίες. Για ευκολία υπολογισμών και εφόσον η διαφοροποίηση των τιμών των ειδικών βαρών του προϊόντος της κάθε γεώτρησης, δε διαφέρει ουσιαστικά εντός της κάθε κατηγορίας, χρησιμοποιούνται δύο τιμές ειδικών βαρών, μία για κάθε κατηγορία. Οι τιμές αυτές των ειδικών βαρών είναι 0.7489 στη μία κατηγορία και 0.8073 στη δεύτερη.

Σύμφωνα με το πείραμα των Blake και Hall (1984), το πραγματικό πάχος του ελεύθερου προϊόντος των πετρελαιοειδών με ειδικό βάρος  $sg=0.7489$  και  $sg= 0.8073$  δίνεται αντίστοιχα από τις εξισώσεις:

$$tg = t(1 - 0.7489) - 0.03 \Rightarrow tg = 0.2502 t - 0.03 \quad (3)$$

και

$$tg = t(1 - 0.8073) - 0.03 \Rightarrow tg = 0.1927 t - 0.03 \quad (4)$$

Από τη θεωρητική καμπύλη του πειράματος των Blake και Hall (1984) προέκυψε ότι όταν το φαινομενικό πάχος είναι  $t=13$  cm, τότε το πραγματικό πάχος  $tg$  είναι μηδέν, δεδομένου ότι το ειδικό βάρος είναι  $sg=0.78$ .

Από τη μελέτη των εξισώσεων (5) και (6), θεωρούμε ότι όταν  $sg=0.7489$  το πραγματικό πάχος  $tg$  θεωρείται πρακτικώς μηδέν, όταν το φαινομενικό πάχος είναι μικρότερο των 11 cm. Ενώ όταν  $sg= 0.8073$  το πραγματικό πάχος  $tg$  θεωρείται πρακτικώς μηδέν, όταν το φαινομενικό πάχος είναι μικρότερο των 15 cm.

Η συνολική πιεζομετρία (Total Pressure) υπολογίζεται αν στο πιεζομετρικό ύψος νερού (Water pressure) προστεθεί το πραγματικό πάχος πετρελαιοειδών (Real Thickness Oil) πολλαπλασιασμένο με το αντίστοιχο ειδικό βάρος (Specific Gravity).

$$\text{Total Pressure} = \text{Water pressure} + \text{Real Thickness Oil} * \text{Specific Gravity} \quad (5)$$

#### 4.2 Εφαρμογή μεθόδου χωρικής παρεμβολής

Η μέθοδος χωρικής παρεμβολής η οποία εφαρμόστηκε ήταν η Simple Kriging, καθώς επιτυγχάνει την πρόβλεψη των τιμών μιας ιδιότητας μέσω μιας γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, στην οποία γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει δευτέρου βαθμού σταθερότητα με γνωστή τη μέση τιμή Goonaerts (1999). Η ιδιότητά της αυτή την καθιστά πιο φιλική προς το χρήστη, γεγονός που αποτέλεσε κριτήριο επιλογής της.

Μολονότι η ύπαρξη ανισοτροπίας στη χωρική μεταβολή των παραμέτρων είναι πιθανή, έγινε η υπόθεση ότι ισχύει ισοτροπία προς αποφυγή της εκτέλεσης ιδιαίτερα πολύπλοκων και δύσκολων διαδικασιών. Ακόμη η παραδοχή της ισοτροπίας είχε σαν αποτέλεσμα την ευκολότερη προσαρμογή θεωρητικού βαριογράμματος σύμφωνα με τους Martinez και Cod (1996).

Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση της χωρικής παρεμβολής Kriging ήταν το πρόγραμμα SURFER 7.0, ενώ η δημιουργία πειραματικών βαριογραμμάτων και η προσαρμογή των θεωρητικών έγινε με τη βοήθεια του VARIOWIN 2.2.

Εξαιτίας του αριθμού των γεωτρήσεων (87) και λόγω του ότι δεν υπήρχαν μετρήσεις σε όλες αυτές τις γεωτρήσεις κάθε μήνα, ο αριθμός των μετρήσεων που υπήρχαν στη διάθεση της παρούσας μελέτης ήταν μικρότερος των 100. Σε ποσότητες μετρήσεων <100, σύμφωνα με τη θεωρία της Kriging, θα έπρεπε να ακολουθηθεί η τεχνική της cross-validation. Δηλαδή σε κάθε σειρά θα πρέπει να αφαιρείται μια μέτρηση, να γίνεται όλη η διαδικασία και τελικά να υπολογίζεται το υπόλοιπο (residual) για αυτό το σημείο της μέτρησης που αφαιρέθηκε. Κάτι τέτοιο όμως θα σήμαινε τεράστιο όγκο υπολογισμών και εγκαταλείφθηκε αυτή η τεχνική. Επιλέχθηκε η μέθοδος που ακολουθείται όταν υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός σημείων >100, καθώς αφενός μεν δεν επιφέρει ουσιαστική μείωση στην αξιοπιστία της Kriging, λόγω του ότι οι τιμές που διατίθενται δεν είναι πού λιγότερες των 100 και αφετέρου ήταν η μόνη εφικτή από την πλευρά ότι απαιτούσε λιγότερο χρονοβόρο διαδικασία. Έτσι, απομακρύνθηκε περίπου το 20% των σημείων για κάθε μήνα τα οποία ήταν τα πιο ομοιόμορφα καταμεμημένα στο χώρο. Το ποσοστό του 20% δεν είναι σταθερό αλλά διαφέρει από μήνα σε μήνα γιατί υπήρχε διαφορετικός αριθμός γεωτρήσεων για τις οποίες δεν είχε πραγματοποιηθεί μέτρηση το συγκεκριμένο μήνα και οι οποίες δεν λαμβάνονται υπόψη κατά την απομάκρυνση των

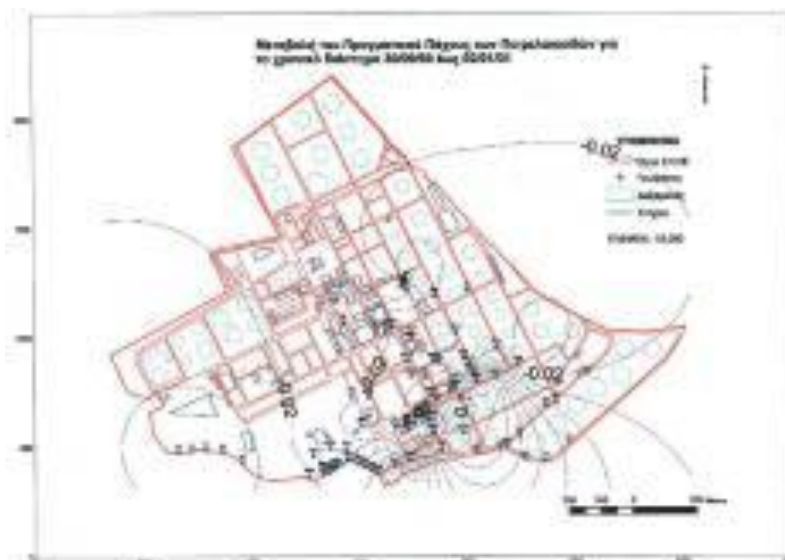
σημείων που

Για να εξασφαλιστεί η ομοιομορφία της κατανομής των σημείων, κατηγοριοποιήθηκε το σύνολο των σημείων για τα οποία υπήρχε μέτρηση το συγκεκριμένο μήνα σε πέντε κλάσεις ανάλογα με τη διακύμανση των τιμών της κάθε μιας από τις δύο παραμέτρους που μελετήθηκαν. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αφαίρεση του 20% των σημείων από κάθε μια από τις πέντε κλάσεις. Τα σημεία τα οποία αφαιρέθηκαν βρίσκονταν στην ίδια ή παραπλήσια κλάση. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίστηκε η δυνατότητα πιο ακριβής πρόβλεψης της τιμής της μεταβλητής που αφαιρέθηκε. Επειδή σύμφωνα με τη βασική αρχή της χωρικής παρεμβολής οι τιμές μιας ιδιότητας σε κοντινά σημεία αναμένεται να είναι παρόμοιες σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι αν τα σημεία βρίσκονται απομακρυσμένα μεταξύ τους.

Τα σημεία τα οποία απομακρύνθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση των διαφορών (residuals). Τα σημεία τα οποία απέμειναν χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής. Με αυτόν τον τρόπο, δόθηκε η δυνατότητα να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά για κάθε ένα από τα δύο μοντέλα όπως το sill, range, nugget, scale τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της χωρικής παρεμβολής στο λογισμικό πρόγραμμα SURFER 7.0. Τα grid αρχεία (αρχεία καννάβου) τα οποία παρήχθησαν με αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα αρχεία επαλήθευσης που είχαν αποθηκευτεί προηγουμένως για τον υπολογισμό των διαφορών, της πραγματικής τιμής της εξεταζόμενης παραμέτρου και της εκτιμώμενης σε κάθε σημείο.

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας της μεθόδου χωρικής παρεμβολής που εφαρμόστηκε καθώς και η σύγκριση των μοντέλων μεταξύ τους βασίστηκε στη στατιστική ανάλυση των διαφορών της πραγματικής τιμής της εξεταζόμενης παραμέτρου και της εκτιμώμενης σε κάθε σημείο.

Τέλος, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τη μεταβολή των παραμέτρων συνολική πιεζομετρία και πραγματικό πάχος περτελαιοειδών για τα χρονικά διαστήματα ενός μήνα, ενός εξαμήνου και από την αρχή μέχρι το τέλος της χρονικής περιόδου που εξετάζεται, δηλαδή 09/1999-01/2001. Ακολουθούν δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα θεματικών χαρτών (Σχήματα 2 και 3).



Σχήμα 2. Μεταβολή του πραγματικού πάχους περτελαιοειδών για το χρονικό διάστημα από 31/03/99 έως 26/09/00



Σχήμα 3. Μεταβολή του πραγματικού πάχους πετρελαιοειδών για το χρονικό διάστημα από 30/09/99 έως 02/01/01.

## 5. Συμπεράσματα

Τα πειραματικά βαριογράμματα τα οποία σχεδιάστηκαν για τη μέθοδο Kriging χαρακτηρίζονταν από μια ικανοποιητική προσαρμογή θεωρητικών μοντέλων. Τόσο τα σφαιρικά όσο και τα εκθετικά μοντέλα είχαν ικανοποιητική προσαρμογή και για τις δύο παραμέτρους. Το σφαιρικό μοντέλο παρουσίασε καλύτερη προσαρμοστικότητα στις πλείστες των περιπτώσεων [Níka, (2002)]. Η καταλληλότητα των σφαιρικών θεωρητικών βαριογραμμάτων υποδηλώνει ότι σε γενικές γραμμές η χωρική μεταβολή των εξεταζόμενων παραμέτρων από σημείο σε σημείο καθορίζεται από έναν κυρίαρχο παράγοντα Goovaerts (1999).

Η υπόθεση της ισοτροπίας στη μεταβολή των εξεταζόμενων παραμέτρων δε δημιούργησε κάποιο σοβαρό πρόβλημα στο σχηματισμό των πειραματικών βαριογραμμάτων και στη προσαρμογή των θεωρητικών μοντέλων. Η ανισοτροπία όπως έχει ήδη αναφερθεί αγνοήθηκε για απλούστευση των υπολογισμών αφού, εκτός της καλής γνώσης της κατεύθυνσης στην οποία γίνεται η μεταβολή της κάθε ιδιότητας, θα απαιτούνταν η εκτέλεση πολύπλοκων και δύσκολων διαδικασιών. Επίσης, η παραδοχή της ισοτροπίας σύμφωνα με τους Martinez και Cod (1996) έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη προσαρμογή των θεωρητικών μοντέλων.

Παρόλο που το σφαιρικό μοντέλο είχε καλύτερη προσαρμογή (best fit), δεν επιλέχθηκε για τη δημιουργία των χαρτών ισοπιεζομετρίας, του πραγματικού πάχους πετρελαιοειδών και της συνολικής πιεζομετρίας, εφόσον τα κριτήρια ελέγχου της αξιοπιστίας (Μέσο Σφάλμα-ME, Μέσο Απόλυτο Σφάλμα-MAE και Μέση Τετραγωνική Ρίζα του Αθροίσματος των Σφαλμάτων-RMSE) έδωσαν σε αρκετές περιπτώσεις διαφορετικά αποτελέσματα. Το best fit είναι μια παράμετρος η οποία επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από την προσωπική εκτίμηση του χρήστη κατά τη διαδικασία προσαρμογής των θεωρητικών βαριογραμμάτων στα πειραματικά.

Το πρόβλημα της ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου της ευρύτερης περιοχής της Λίμνης Κουμουνδούρου, λόγω διαρροής των δεξαμενών αποθήκευσης των εταιρειών πετρελαιοειδών που εδρεύουν στην περιοχή, είναι υπαρκτό. Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε μια ορθότερη εκτίμηση του πάχους και του όγκου των πετρελαιοειδών που συσσωρεύονται στο υπέδαφος πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο. Με τον τρόπο που αναπτύχθηκε εκτιμάται ότι ο

συνολικός όγκος των πετρελαιοειδών που είχαν συσσωρευτεί στο υπέδαφος κατά τη χρονική διάρκεια της διεξαγωγής της μελέτης, ανέρχεται περίπου στα 203-253 m<sup>3</sup>.

### Βιβλιογραφία

Μιμίδης Θ. και Ρίζος Σ., 2007: Υδρογεωλογία της Λίμνης Κουμουνδούρου Ασπροπύργου Αττικής, Παρουσιάστηκε προφορικά στο ίδιο Συνέδριο, Βλέπε Πρακτικά.

Νίκα Κ., 2002: Καταγραφή της Πιεζομετρίας των Υδρογονανθράκων και του Υπόγειου Νερού της Στενής Περιοχής της ΕΛ.Π.Ε. της Λίμνης Κουμουνδούρου. Πτυχιακή Μελέτη στα Πλαίσια του ΠΠΣ του Τμήματος ΑΦΠ & ΓΜ του ΓΠΑ

Μελέτη ΓΠΑ 1998-1999:Υδρογεωλογία της λίμνης Κουμουνδούρου, Πηγές Ρύπανσης της και Προστασίας της, Φάση 1 – Φάση 2, Αθήνα.

Μελέτη Ι.Γ.Μ.Ε., 1992: Έρευνα και Μελέτη Ρύπανσης Υπεδάφους ΕΛ.Δ.Α., Αθήνα.

Ballesterio P. T., Fiedler R. F. and Kinner E. N 1994.: An Investigation of the Relationship between Actual and Apparent Gasoline Thickness in a Uniform Sand Aquifer, 32, 708-718.

Blake, S.B. and R.A. Hall, 1984: Monitoring petroleum spills with wells: some problems and solutions, Proceedings, Fourth National Symposium on Aquifer Restoration and Groundwater Monitoring, National Water Well Association, Columbus, OH, 305-310.

Caruso C. and Quarta F., 1998: Interpolation methods comparison, Computers Math. Applic., 35, 109-126.

Goovaerts P., 1999: Geostatistics in Soil Science, State-of-the-art and perspectives, Geoderma, 89, 1-45.

Krige, D.G., 1951: A Statistical Approach to Some Basic Mine Evaluation Problems on the Witwatersrand, J. Chem. Metall. Min. Soc. South Africa, 52, 119-39.

Martinez-Cob A., 1996: Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountain terrain, Journal of Hydrology, 174, 19-35.

Matheron ., 1963: Principles of geostatistics. Economic Geology, 58, 1246-1266.

Nalder I.A. and Wein R. W., 1998: Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. Agricultural and Forest Meteorology, 92, 211-225.

Ovalles F.A. and Collins M.E., 1988: Evaluation of soil variability in northwest Florida using geostatistics. Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 1702-1708.

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΕΙΔΕΙΣ ΓΛΥΦΕΣ. 'ΜΙΚΡΟ' ΣΠΗΛΑΙΟ ΕΠΤΑΜΥΛΩΝ, ΣΕΡΡΩΝ

Πέννος Χ.<sup>1,2</sup>, Βαξεβανόπουλος Μ.<sup>1</sup>, Πεχλιβανίδου Σ.<sup>1</sup>, Βλάχος Ε.<sup>1</sup>, †Ε. Βαβλιάκης<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

<sup>2</sup> Ινστιτούτο Σπηλαιολογικών Ερευνών Ελλάδας

### Περίληψη

Το 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων βρίσκεται στους πρόποδες του Μενοικίου Όρους στο Νόμο Σερρών. Ανήκει σε ένα σύμπλεγμα σπηλαιομορφών που αναπτύσσονται στα Παλαιοζωικά Μάρμαρα της μάζας της Ροδόπης, της γεωτεκτονικής ενότητας του Παγγαίου. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των στροβιλοειδών γλυφών (scallops) που εμφανίζονται στο "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων. Οι στροβιλοειδείς γλυφές αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στον καθορισμό της κατεύθυνσης και της ταχύτητας των υπογείων καρστικών ρευμάτων. Δημιουργούνται στα τοιχώματα των καρστικών αγωγών, τόσο στη φρεάτια, όσο και στην επιφρεάτια φάση σπηλαιογένεσης, από την στροβιλοειδή ροή του υπογείου νερού. Στο "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων, οι στροβιλοειδείς γλυφές βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη, τόσο σε ποικιλία μεγεθών, όσο και σε αριθμό. Η ποσοτική ανάλυση των γεωμορφών αυτών, απέδειξε διαφορετικές ταχύτητες παλαιοροής σε επιμέρους τμήματα του σπηλαίου, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την υδραυλική κλίση, καθώς και με τη διάμετρο των αγωγών.

### Abstract

"Mikro" Eptamilon cave is situated at the foothills of the mount Menikio at the prefecture of Serres. It belongs to a cave complex that is developed in Paleozoic Marbles which, according to geotectonics, belong to the Rila - Rhodope Massif, at the Pangeon unit. The aim of the present study is to describe the scallops speleogens that occur in the "Mikron" Eptamilon Cave. The study of scallops is a usefull tool in order to deduce the direction and the velocity of the karstic, groundwater flows. They are created at the surface of the cave walls at the phreatic as well as at the epiphreatic stage, deriving from the turbulent flow of the groundwater. At the "Mikro" Eptamilon Cave, scallops are fully developed, varying in shape and number. The quantitative analysis of these speleogens has indicated differences at paleo-flow velocities, at different cave sections that are directly correlated with the hydraulic inclination as well as with the diameter of the karstic tubes.

**Λέξεις κλειδιά:** Στροβιλοειδής Γλυφές, Σπήλαιο Επταμύλων, Ταχύτητες παλαιοροής.

**Key words:** Scallop, Eptamilon Cave, Paleo-Flow Velocity.

### 1. Εισαγωγή

Οι στροβιλοειδείς γλυφές (scallops), από γεωλογική και υδρογεωλογική πλευρά, έχουν γίνει κατά καιρούς αντικείμενο μελέτης αρκετών επιστημόνων. Από την ανάλυση των γεωμορφών αυτών μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στις συνθήκες ροής που επικρατούσαν κατά τη δημιουργία τους. Στη παρούσα εργασία πραγματοποιείται ποσοτική ανάλυση των στροβιλοειδών γλυφών που εντοπίστηκαν στο 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων Σερρών, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την παλαιο-υδρολογική κατάσταση του σπηλαίου και πιο συγκεκριμένα, τον προσδιορισμό της ταχύτητας του υπογείου νερού κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του.

## 2. Γεωγραφική Θέση

Το 'Μικρό' Σπήλαιο των Επταμύλων βρίσκεται στους δυτικούς πετροπρόποδες του Μενοικίου Όρους, του Νομού Σερρών (Βόρεια Ελλάδα -Κεντρική Μακεδονία). Ανήκει σε ένα σύμπλεγμα σπηλαιομορφών, από τις οποίες οι κυριότερες είναι το 'Μεγάλο' και το 'Μικρό' Σπήλαιο. Η είσοδος του σπηλαίου είναι διανοιγμένη στο μέτωπο ενός λατομείου εξόρυξης μαρμάρων, το οποίο βρίσκεται περίπου 200m βόρεια του χωριού των Επταμύλων και 4km, βορειοανατολικά από την πόλη των Σερρών (εικ.1).



Εικόνα 1. Γεωγραφική θέση του 'Μικρού' Σπηλαίου των Επταμύλων Σερρών

## 3. Γεωλογικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης συναντώνται προαλπικοί και αλπικοί σχηματισμοί (μάρμαρα, γνεύσιοι), καθώς και μεταλπικά ιζήματα (Νεογενή κλαστικά ιζήματα έως σύγχρονες Ολοκαινικές αποθέσεις της κοιλάδας του Στρυμόνα ποταμού) (σχ. 2). Από γεωτεκτονική άποψη, η περιοχή ανήκει στη μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα, στην ενότητα του Παγγαίου (Kílias & Mountrakis, 1990).

Στο δυτικό Μενοίκιο, όπου εντοπίζεται το υπό μελέτη σπήλαιο, ο De Boer διακρίνει δύο σειρές πετρωμάτων, μία ανώτερη και μία κατώτερη. Στην κατώτερη σειρά παρατηρούνται άσπρα μέχρι ανοιχτού γκριζού χρώματος, πολύ κατακερματισμένα, μάρμαρα, μέσα στα οποία παρεμβάλλονται λεπτοπλακώδη μάρμαρα με φακοειδή μορφή. Μεταξύ της ανώτερης και της κατώτερης σειράς παρεμβάλλεται ένας οριζοντας μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου. Πάνω από τον οριζοντα αυτόν αρχίζει η ανώτερη σειρά, με μία ζώνη από εναλλαγές μαρμάρων-γνευσιών, πάχους 300 m (Βαβλιάκης, 1981).

Στην περιοχή μελέτης τα ρήγματα παρουσιάζουν μία χαρακτηριστική ανάπτυξη, κατά τη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ. Συγκεκριμένα, στην περιοχή εντοπίζονται υποπαράλληλα ρήγματα, διεύθυνσης Α-Δ, που κλίνουν με μεγάλη έως πολύ μεγάλη γωνία προς βορρά (Tranos & Mountrakis, 2004) (εικ. 2). Εξαιτίας της δράσης των τεταρτογενών (πλειστοκαινικών) ρηγμάτων, στην περιοχή έχει σχηματιστεί μία επιφάνεια επιπέδωσης (νέο-Glacias), πάνω στην οποία εντοπίζεται το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων (Παπαφιλήπου – Πέννου, 2004). Επιπλέον, σύμφωνα με τον Βαβλιάκη (1981), στο όρος Μενοίκιο, έχουν αναγνωριστεί τέσσερις (4) ανοδικές κινήσεις, που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ισάριθμων επιφανειών επιπέδωσης (pediments και glacis). Οι επιφάνειες αυτές σχηματίστηκαν μεταξύ του Μέσου Μειόκαινου και του Μέσου Πλειόκαινου (Psilonikos, 1986).





Εικόνα 2. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Σερρών (τροπ. από Tranos & Mountrakis, 2003)

#### 4. Σηλαιογένεση

Το “Μικρό” Σπήλαιο των Επταμύλων είναι ένα σύστημα καρστικών αγωγών ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, που επικοινωνούν με αγωγούς ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, οι οποίοι δημιουργήθηκαν όταν το σπήλαιο πέρασε στη ζώνη κατείσδυσης. Το συνολικό μήκος των διαδρόμων του σπηλαίου είναι 300 m. Το σπήλαιο δημιουργήθηκε στο φρεατικό στάδιο, ενώ σήμερα, εξαιτίας της (τεταρτογενούς) τεκτονικής δράσης, βρίσκεται στην ζώνη κατείσδυσης (vadose zone).

Κατά την φάση της σηλαιογένεσης, αναπτύχθηκαν δύο κύριες ομάδες διαδρόμων, κάθετες μεταξύ τους, ενώ το σχήμα τους ορίζεται από την διεύθυνση που ακολουθούν. Η διαμόρφωση των αγωγών ελέγχεται κυρίως από την λιθολογία και την τεκτονική (Βαξεβανόπουλος, 2006). Αυτοί που αναπτύσσονται κατά την ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση είναι χαμηλοί και ευρείς, σε αντίθεση με αυτούς που ακολουθούν ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, οι οποίοι είναι ψηλοί και στενοί. Οι πρώτοι ακολουθούν τη διασταύρωση ανάμεσα στις ασυνέχειες που δημιουργούνται από την στρώση του πετρώματος και στις τεκτονικές ασυνέχειες, ενώ οι δεύτεροι ακολουθούν την διεύθυνση των διακλάσεων (εικ. 3). Η κίνηση του νερού προς το τοπικό βασικό επίπεδο της περιοχής, γινόταν μέσω των πρώτων αγωγών, όταν το σπήλαιο βρισκόταν στην φρεατία φάση. Στη συνέχεια, εξαιτίας τεκτονικών γεγονότων, επήλθαν αλλαγές στο τοπικό βασικό επίπεδο και το σπήλαιο “πέρασε” στην ζώνη κατείσδυσης (Pennis et al., 2005).

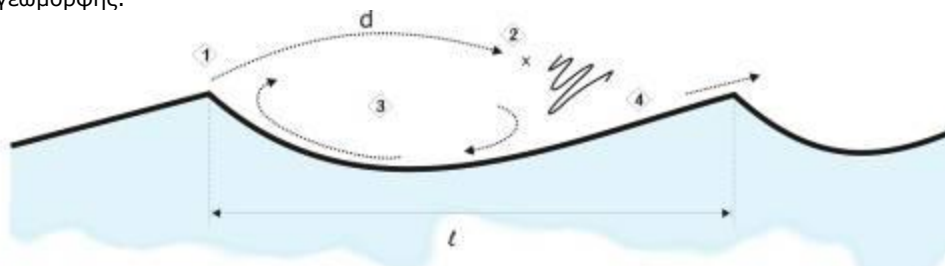
#### 5. Μηχανισμός γέννησης των στροβιλοειδών γλυφών

Το κύριο αίτιο της δημιουργίας των στροβιλοειδών γλυφών (scallops) είναι η στροβιλοειδής ροή ενός μέσου πάνω σε μια ευδιάλυτη επιφάνεια. Στην φύση το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικής σύστασης επιφάνειες από την δράση του νερού ή ακόμη και στον πάγο από την δράση του αέρα (εικ.4).



Εικόνα 4. Σχηματισμός στροβιλοειδών γλυφών στο χιόνι, από την δράση του αέρα.  
Μενοίκιο όρος

Ανεξάρτητα από το διαβρωτικό μέσο και τη σύσταση της επιφάνειας, η παρουσία μιας ανωμαλίας πάνω σε αυτήν έχει ως αποτέλεσμα την κατάσταση ροής που απεικονίζεται στην εικόνα 5 και στην οποία κατά τον Blumberg (από Curl, 1974) έχουν αναγνωριστεί τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: στο σημείο (1) το διαβρωτικό μέσο συναντά την ανωμαλία και η γραμμική ροή διαχωρίζεται σε δύο συνιστώσες, σε μια κυκλική (3) και σε μια γραμμική που κινείται κατά μήκος του τοιχώματος, η οποία είναι πολύ ασταθής και πολύ σύντομα μεταπίπτει σε στροβιλοειδή ροή (2). Στη συνέχεια ένα μέρος της στροβιλοειδούς ροής αναμιγνύεται με την κυκλική στο κοίλο μέρος της γεωμορφής και επανενώνεται με την στροβιλοειδή πριν το σημείο (4). Στο σημείο αυτό το μέσο παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να διευρύνεται το μέγεθος της γεωμορφής.



Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση μιας στροβιλοειδούς γλυφής, σε τομή κάθετη στο τοίχωμα του σπηλαίου (βασισμένο σε Curl, 1974)

Κατά την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω, παρατηρείται η μετακίνηση των γλυφών προς την ροή του μέσου καθώς διαβρώνονται. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε πειραματικές αναπαραστάσεις της εξέλιξης των στροβιλοειδών γλυφών (Villien et al., 2001). Η χαρακτηριστική ασυμμετρία που παρατηρείται στην δομή των γεωμορφών αυτών, από την οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την διεύθυνση ροής του μέσου, φαίνεται επίσης στην εικόνα 5.

### 5.1 Υπολογισμός της μέσης ταχύτητας ροής

Στα τοιχώματα του αγωγού, θα αναπτυχθούν στροβιλοειδείς γλυφές κατά μήκος μιας

χαρακτηριστικής διεύθυνσης **L**. Η διεύθυνση αυτή εξαρτάται από την ταχύτητα του υγρού, το ιξώδες **μ**, την πυκνότητα **ρ** και τον αριθμό **Reynolds**. Σύμφωνα με τον Curl (1974), η σχέση που συνδέει τον αριθμό Reynolds για ένα συγκεκριμένο μέσο μήκος των στροβιλοειδών γλυφών με την μέση ταχύτητα του υγρού σε έναν αγωγό καθορίζεται από τον τύπο:

$$\overline{Re}_L = \frac{\rho \bar{u} L}{\mu} \quad (1)$$

(για νερό σε  $\theta=10^{\circ}\text{C}$  είναι  $\mu/\rho = 0,013 \text{ cm}^2/\text{sec}$ , ενώ για τον αέρα σε  $\theta=0^{\circ}\text{C}$  είναι  $\mu/\rho = 0,132 \text{ cm}^2/\text{sec}$ )

Ο αριθμός Reynolds υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους ανάλογα με την μορφή του αγωγού:

για αγωγούς κυκλικής διατομής

$$\overline{Re}_L = Re^{\circ} \left[ 2.5 \left( \ln \frac{D}{2L} - 3/2 \right) + B_L \right] \quad (2)$$

για αγωγούς με παράλληλα τοιχώματα

$$\overline{Re}_L = Re^{\circ} \left[ 2.5 \left( \ln \frac{D}{2L} - 1 \right) + B_L \right] \quad (3)$$

όπου,  $Re^{\circ} = 2200$  και  $B_L = 9,4$  όπως βρέθηκαν από πειράματα των Bloomberg και Curl (1974) και  $D$  η διάμετρος του κυκλικού αγωγού ή το πλάτος μεταξύ των δύο παράλληλων τοιχωμάτων.

Εφόσον το  $Re^{\circ}$  και το  $B_L$  είναι γνωστά, και τα  $D$  και  $L$  μετρήσιμα σε κάθε περίπτωση, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το  $\overline{Re}_L$  από τις σχέσεις (2) και (3). Στην συνέχεια υπολογίζουμε την μέση ταχύτητα ροής από την σχέση (1), απ' όπου παρατηρείται ότι η μέση ταχύτητα παλαιοροής ( $\bar{u}$ ), είναι αντιστρόφως ανάλογη του μέσου μήκους των στροβιλοειδών γλυφών.

## 5.2 Εφαρμογή στο "Μικρό" Σπήλαιο Επταμύλων

### Μεθοδολογία

Για τη σωστή κατανομή των μετρήσεων, το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων διαχωρίστηκε σε πέντε επιμέρους τμήματα. Η επιλογή των θέσεων μετρήσεων έγινε με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά: μετρήσεις μόνο στους αγωγούς κυκλικής διατομής, καθώς οι αγωγοί αυτοί έχουν δημιουργηθεί στην φρεάτια φάση, όταν η ροή γινόταν κυρίως κατά την οριζόντια συνιστώσα, σε αντίθεση με τους στενούς και ψηλούς αγωγούς που έχουν δημιουργηθεί στην ζώνη κατείδυσης, ελεγχόμενοι κυρίως από την κατακόρυφη κίνηση του νερού.

Ταυτόχρονα, επιλέχθηκαν οι κυκλικοί αγωγοί των οποίων η μέγιστη διάμετρος ήταν φανερή και μετρήσιμη.

Τέλος, ως μήκος  $L$  ορίστηκε το μέγιστο μήκος της γεωμορφής, παράλληλο προς την διεύθυνση ροής του νερού (εικ. 6).



Εικόνα 6. Μέτρηση χαρακτηριστικών στροβιλοειδών γλυφών στο "Μικρό"Σπήλαιο Επαμύλων

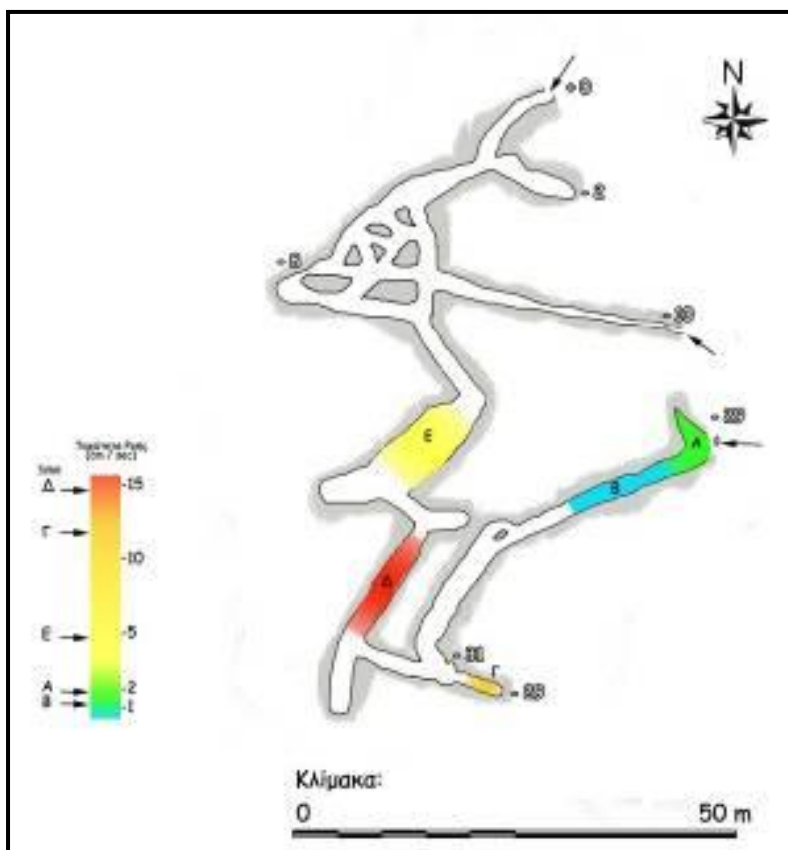
Πίνακας 1. Πίνακας Μετρήσεων

Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο	Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο	Τμήμα	Μήκος L (cm)	Μέσο Μήκος L (cm)	Πλάτος Αγωγού D (cm)	Αζιμούθιο
<b>A</b>	50	94.8	205	118°		34			121°		8			221°
	135			118°		6			121°		4			221°
	60			118°		11			121°		9			221°
	98			118°		10			121°		13			221°
	131			118°		8.5			121°		47			221°
<b>B</b>	96	103	140	80°		17			121°		13			221°
	106			80°		18			121°	<b>E</b>	40	49.2	300	220°
	107			80°		19			121°		75			220°
<b>Γ</b>	11	19.2	100	121°		23			121°		40			220°
	6			121°	<b>Δ</b>	50	18.3	168	221°		62			220°
	10			121°		36			221°		55			220°
	14			121°		43			221°		35			220°
	9			121°		14			221°		33			220°
	8			121°		64			221°		64			220°
	9			121°		2			221°		39			220°
	69			121°		2			221°	<b>ΣΤ</b>	167		310	122°
	70			121°		2			221°					
	34			121°		2			221°					
	9			121°		2			221°					
	7			121°		2			221°					
	8			121°		130			221°					
	8			121°		6			221°					
	12			121°		3			221°					
	10			121°		2			221°					
	12			121°		2			221°					
	16			121°		3,5			221°					
	24			121°		4			221°					
	29			121°		4			221°					
	54			121°		7			221°					
						5			221°					

## 6. Εφαρμογή στον τύπο - Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε αγωγούς κυκλικής διατομής. Εφαρμόζοντας στους τύπους (1) και (2) τις τιμές των μετρήσεων που φαίνονται στον Πίνακα 1, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Κατά την φάση της δημιουργίας των στροβιλοειδών γλυφών, για το τμήμα Α υπολογίστηκε ότι η μέση ταχύτητα ροής είναι  $\bar{u} \approx 1.8 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Β είναι  $\bar{u} \approx 1.3 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Γ είναι  $\bar{u} \approx 12 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Δ είναι  $\bar{u} \approx 14.8 \text{ cm/sec}$ , ενώ για το τμήμα Ε είναι  $\bar{u} \approx 4.9 \text{ cm/sec}$ . Δεν κρίθηκε απαραίτητος ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας ροής για το τμήμα ΣΤ, διότι παρατηρήθηκε μόνο μια γλυφή. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι, το συγκεκριμένο τμήμα του σπηλαιού, βρίσκεται σε μεγαλύτερο απόλυτο υψόμετρο από τα υπόλοιπα τμήματα, με άμεση συνέπεια την μεγαλύτερη έκθεση του στις διαβρωτικές διεργασίες της ζώνης κατείδυσης.



Εικόνα 7. Σκαρίφημα του σπηλαιού στο οποίο φαίνονται οι διάφορες ταχύτητες ροής

Από τις υπολογιζόμενες ταχύτητες, προκύπτει ότι στα τμήματα Α και Β, όπου και παρατηρούνται τα μεγαλύτερα μήκη των στροβιλοειδών γλυφών, οι ταχύτητες παλαιοροής είναι μικρές. Στο τμήμα Ε, όπου το μέσο μήκος των στροβιλοειδών γλυφών είναι επίσης

μεγάλο, η χαμηλή ταχύτητα που παρατηρείται οφείλεται στο μεγάλο πλάτος του αγωγού, παρά τη μεγάλη υδραυλική κλίση. Αντίθετα, στα τμήματα Γ και Δ έχουμε τις μεγαλύτερες ταχύτητες, καθώς και τα μικρότερα μήκη στις στροβιλοειδείς γλυφές.

## 7. Συμπεράσματα

Το "Μικρό" Σπήλαιο των Επταμύλων δημιουργήθηκε στο φρεατικό στάδιο, ενώ σήμερα, εξαιτίας της Τεταρτογενούς τεκτονικής δράσης, βρίσκεται στην ζώνη κατεισόδουσης (vadose zone). Κατά την διάρκεια της σπηλαιογένεσης, αναπτύχθηκαν δύο κύριες ομάδες διαδρόμων, κάθετες μεταξύ τους. Το σχήμα των διαδρόμων ορίζεται από την διεύθυνση που ακολουθούν. Αυτοί που αναπτύσσονται κατά την ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση είναι χαμηλοί και ευρείς, σε αντίθεση με αυτούς που ακολουθούν ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, οι οποίοι είναι ψηλοί και στενοί. Οι πρώτοι ακολουθούν τη διασταύρωση ανάμεσα στις ασυνέχειες που δημιουργούνται από την στρώση του πετρώματος και στις τεκτονικές ασυνέχειες, ενώ οι δεύτεροι ακολουθούν την διεύθυνση των διακλάσεων.

Η ποσοτική ανάλυση των στροβιλοειδών γλυφών που παρατηρήθηκαν μέσα στο σπήλαιο, οδήγησε σε συμπεράσματα σε σχέση με τις συνθήκες παλαιοροής. Έτσι, προσδιορίστηκαν πέντε διαφορετικές ταχύτητες ροής, στα επιμέρους τμήματα του σπηλαίου. Στο τμήμα Α υπολογίστηκε ότι η μέση ταχύτητα ροής είναι  $\bar{u} \approx 1.8 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Β είναι  $\bar{u} \approx 1.3 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Γ είναι  $\bar{u} \approx 12 \text{ cm/sec}$ , για το τμήμα Δ είναι  $\bar{u} \approx 14.8 \text{ cm/sec}$ , ενώ για το τμήμα Ε είναι  $\bar{u} \approx 4.9 \text{ cm/sec}$ .

Οι ταχύτητες παλαιοροής συνδέονται άμεσα με την υδραυλική κλίση, καθώς και με τη διάμετρο των αγωγών.

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά για την πολύτιμη βοήθεια στις εργασίες υπαίθρου, τον σπηλαιολόγο Πάρτσιο Ηλία, τον αρχαιολόγο-σπηλαιολόγο Ζαχαριάδη Σταύρο, τους γεωλόγους-σπηλαιολόγους Γκαρλαούνη Χαρίκλεια και Πολυδωρόπουλο Κωνσταντίνο. Τον Bill Torode, Γενικό Γραμματέα της National Speleological Society, για την παραχώρηση σχετικής ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας. Τους τοπογράφους Αϊτατόγλου Ουρανία και Παυλιόδη Μιλτιάδη για την παροχή των τοπογραφικών διαγραμμάτων των Σερρών. Την Γεωλόγο Χατζησάββα Ελένη. Τον κ. Ματζούνη Κώστα, γραφίστα του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την σχεδίαση εικόνων. Την Δρ. γεωλόγο Παπαφιλήπου-Πέννου Ευαγγελία, καθώς και τον καθηγητή Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Αστάρτα Θεόδωρο για τις πολύτιμες συμβουλές τους καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

## Βιβλιογραφία

Βαβλιάκης Ε., 1981: Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών, παγετωδών μορφών του όρους Μενοικίου (στην Α. Μακεδονία) από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς [Διδακτορική Διατριβή, σ.1-192]

Βαξεβανόπουλος Μ., 2006: Τεκτονικές συνθήκες σπηλαιογένεσης στο σπήλαιο «Μελισσότρυπα» Κεφαλόβρυσο Ελασσόνας. [Διατριβή Ειδικευσης, σ.1-106]

Παπαφιλήπου-Πέννου Ε., 2004: Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης των Σερρών [Διδακτορική Διατριβή, σ.1-229]

Πέννος Χ., 2004. Μελέτη των καρστικών σπηλαιομορφών των Επταμύλων Σερρών [Διπλωματική Εργασία σ. 1-39 που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ.. Υπεύθυνος Καθηγητής Ε. Βαβλιάκης].

Curl R.L., 1974: Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. The NSS Bulletin,

1974, 36(2): 1-5

Kilias, A. & Mountrakis, D. 1990: Kinematics of the crystalline sequences in the western Rhodope massif.- *Geologica Rhodopica*, 2: 100-116.

Pennos Ch., Vavliakis E., Lazarides G., 2005: Megalon Eptamilon cave (Serres, Macedonia, Greece) Speleogenesis and development. [14th International Congress of Speleology, proceedings (in press)]

Psilovikos, A., 1986: Contribution to the Geomorphology of the South-West part of the Rhodope Massif. *Geolog. Balk*, 44: 55-87.

Tranos, M.D. & Mountrakis, D.M., 2004: The Serres fault zone (SZF): an active fault zone in Eastern Macedonia (Northern Greece). *Proceedings of 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, 2: 892-895, Thessaloniki.

Villien B., Zheng Y., Lister D. H., 2001: The scalloping phenomenon and its significance in flow-assisted-corrosion. *Proceedings of Twenty Sixth Annual CNS-CNA Student Conference*, Toronto.

## ΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ (ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ LABIATAE) ΤΗΣ ΧΙΟΥ: ΜΙΑ ΒΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Στεφανάκη Α., Καρούσου Ρ., Κοκκίνη Σ.

Εργαστήριο Συστηματικής Βοτανικής και Φυτογεωγραφίας, Τμήμα Βιολογίας,  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

### Περίληψη

Μελετάται η γεωγραφική εξάπλωση τεσσάρων αυτοφυών αρωματικών ειδών - *Mentha longifolia* (μέντα), *Coridothymus capitatus* (θυμάρι, αγριορίγανη), *Salvia fruticosa* (φασκόμηλο) και *Sideritis sipylea* (τσάι του βουνού) - στη Νήσο Χίο. Τα τέσσερα είδη παρουσιάζουν διαφορετικά πρότυπα εξάπλωσης, που φαίνεται να σχετίζονται με την κατανομή των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών στο νησί, το υδρογραφικό δίκτυο και το υψόμετρο. Η *Mentha longifolia* απαντάται μόνο στο ΒΔ τμήμα του νησιού κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου που σχηματίζουν οι χαμηλής υδατοπερατότητας γρασούβακες. Το *Coridothymus capitatus* είναι κοινό στο νησί, με εξαίρεση τους γρασούβακες του ΒΔ τμήματος και τις βόρειες ορεινές περιοχές του νησιού. Η *Salvia fruticosa* και το *Sideritis sipylea* φύονται σε ασβεστολιθικές περιοχές, η πρώτη σε χαμηλά υψόμετρα, με αποτέλεσμα να βρίσκεται κυρίως στη νότια (λοφώδη) Χίο και το δεύτερο σε μεγάλα υψόμετρα, με αποτέλεσμα να απαντάται αποκλειστικά στη βόρεια και κεντρική (ορεινή) Χίο.

### AROMATIC PLANTS (LABIATAE FAMILY) OF CHIOS ISLAND (GREECE): A BIOGEOGRAPHIC APPROACH

Stefanaki A., Karousou R., Kokkini S.

Aristotle University of Thessaloniki, School of Biology,  
Laboratory of Systematic Botany and Phytogeography

### Abstract

The geographic distribution of four wild aromatic species - *Salvia fruticosa* (sage), *Mentha longifolia* (mint), *Coridothymus capitatus* (thyme, wild oregano) και *Sideritis sipylea* (mountain tea) - on Chios Island is studied. The four species exhibit different distribution patterns that seem to be related to the geological formations, hydrographic pattern and altitude of the island. *Mentha longifolia* occurs only on the NW part of the island along the hydrographic pattern developed due to the low permeability of graywackes in this area. *Coridothymus capitatus* is common throughout Chios, except from the NW graywackes and northern mountainous areas. *Salvia fruticosa* and *Sideritis sipylea* grow on calcareous areas, the first in low altitudes and therefore occurs mainly on the southern (hilly) Chios and the latter in high altitudes and therefore grows only on the northern (mountainous) Chios.

**Λέξεις κλειδιά:** Labiatae, πρότυπα εξάπλωσης, Χίος.

**Key words:** Labiatae, distribution patterns, Chios Island.

### 1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος διδακτορικής διατριβής σε εξέλιξη της πρώτης συγγραφέως σχετικά με τη βιογεωγραφία της οικογένειας Labiatae στη Χίο σε σχέση με τα υπόλοιπα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου.



Η οικογένεια Labiatae είναι η τρίτη πλουσιότερη οικογένεια της ελληνικής χλωρίδας σε αριθμό taxa και περιλαμβάνει πολλά από τα κοινότερα αρωματικά φυτά της Ελλάδας (Kokkini et al., 1988). Στη Χίο εκηρσωπείται από 54 είδη και υποείδη (Rechinger, 1943; Meikle, 1954; Davis, 1982; Boratynski et al., 1987; Snogerup et al., 2001). Τα περισσότερα (32 taxa) από αυτά είναι Μεσογειακής εξάπλωσης, ενώ 22 είναι ειδικότερα ενδημικά της Ανατολικής Μεσογείου (Davis, 1982).

Η *Mentha longifolia* (μέντα) φύεται σε όλο σχεδόν τον ελλαδικό χώρο και είναι ένα ευρείας εξάπλωσης είδος που απαντάται στα περισσότερα μέρη της Ευρώπης (Kokkini, 1983). Η συνολική του περιοχή εξάπλωσης εκτείνεται στα ανατολικά έως τα Ιμαλάια και προς τα νότια έως το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας (Tutin et al., 1972).

Το *Coridothymus capitatus* (θυμάρι, αγριορίγανη) είναι κοινό είδος στις παραθαλάσσιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας και τα νησιά του Ιονίου και Αιγαίου (Boratynski et al., 1992). Η συνολική περιοχή εξάπλωσης του περιλαμβάνει όλες σχεδόν τις χώρες της Μεσογείου (Greuter et al., 1986).

Η *Salvia fruticosa* (φασκόμηλο) είναι το πλέον εξαπλωμένο είδος του γένους στην Ελλάδα και φύεται στις παράλιες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας και τα νησιά του Ιονίου και Αιγαίου (Boratynski et al., 1992; Karousou et al., 2000). Είναι ενδημικό είδος της Ανατολικής Μεσογείου που εξαπλώνεται από τη Σικελία και τη Νότια Ιταλία μέχρι τη Συρία (Greuter et al., 1986).

Το *Sideritis siphylea* (τσάι του βουνού) φύεται στη Λέσβο, τη Χίο, τη Σάμο και την Ικαρία (Rechinger, 1943; Davis, 1982; Χριστοδουλάκης, 1986; Christodoulakis, 1996; Snogerup et al., 2001; Chilton, 2006). Εκτός από τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου η συνολική του περιοχή εξάπλωσης περιορίζεται στα παράλια της Μικράς Ασίας (Davis, 1982; Greuter et al., 1986).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι (i) η καταγραφή της γεωγραφικής εξάπλωσης στη Χίο των τεσσάρων προαναφερομένων ειδών της οικογένειας Labiatae και (ii) η συσχέτισή της με την κατανομή των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών στο νησί, το υδρογραφικό δίκτυο και το υψόμετρο.

## 2. Περιοχή μελέτης

Η Χίος, το πέμπτο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας, γειτνιάζει με τις ακτές της Μικράς Ασίας, στο ύψος της Χερσονήσου της Ερυθραίας. Σύμφωνα με τη Flora Hellenica ανήκει στο φυτογεωγραφικό διαμέρισμα Νησιά του Ανατολικού Αιγαίου (Strid and Tan, 1997). Το βόρειο και κεντρικό τμήμα του νησιού είναι ορεινά, με κύρια όρη την Αμανή (809 m) στα ΒΔ, το Πελλινναίο (1297 m) και το Όρος (1186 m) στα ΒΑ και το οροπέδιο Αίπος (929 m) στην Κ Χίο. Το νότιο τμήμα είναι λοφώδες με υψόμετρα χαμηλότερα των 500 m (Σχήμα 1). Η πλειοψηφία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων του νησιού βρίσκεται στο βόρειο τμήμα, ενώ στο νότιο απαντούν κυρίως ρέματα παροδικής ροής και ο μεγαλύτερος όγκος υδάτων να καταναλώνεται σε καλλιέργειες και οικισμούς.

Το νησί χαρακτηρίζεται από ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών, διαφόρων ηλικιών, οι οποίοι μπορούν να διακριθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

(i) Παλαιοζωικοί γρασούβακες, με παρεμβολές κροκαλοπαγών, πυριτολίθων, ασβεστολίθων και ηφαιστειογενών πετρωμάτων (Besenecker et al., 1971; Zanchi et al., 2003a; Groves et al., 2003; Rosselet and Stampfli, 2003; Meinhold et al., 2006). Αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως «Volissos turbidites» (Zanchi et al., 2003a; Zanchi et al., 2003b; Angiolini et al., 2005) ή «Chios Mélange» (Groves et al., 2003; Zanchi et al., 2003a). Εμφανίζονται κυρίως στο ΒΔ τμήμα του νησιού. Η χαμηλή υδατοπερατότητά τους έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη σχετικά πυκνού υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή.

(ii) Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες. Επικάθονται ασύμφωνα στους Παλαιοζωικούς γραούβακες (Angiolini et al., 2005) και σχηματίζουν μία ραχοκοκκαλιά που διατρέχει το νησί με κατεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

(iii) Νεογενή πετρώματα, κυρίως ασβεστόλιθοι γλυκών υδάτων, άργιλλος, άμμος και φαμμίτες Άνω Μειοκαινού και ιζηματογενή πετρώματα (αλλουβιακές και παράκτιες αποθέσεις, πρόσφατα πλευρικά κορήματα, λατυποπαγή) Τεταρτογενούς (Besenecker et al., 1971; Zanchi et al., 2003a). Εμφανίζονται κυρίως στο ΝΑ τμήμα της Χίου, ανάμεσα στους Παλαιοζωικούς γραούβακες και τους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες στο Β τμήμα και σε μικρότερη έκταση σε διάσπαρτες στο νησί, παράκτιες κυρίως, περιοχές.

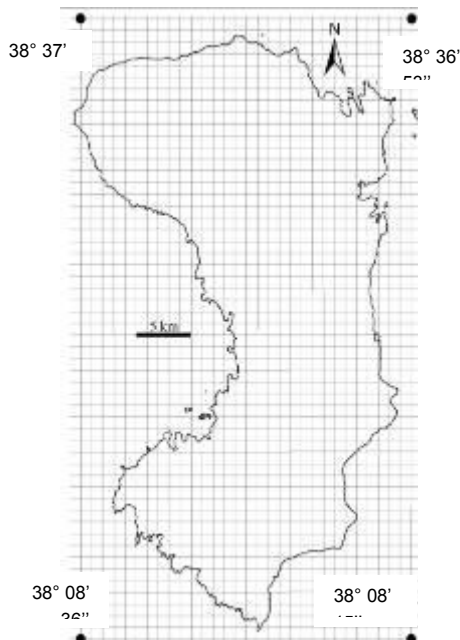
### 3. Δεδομένα και μεθοδολογία

Για την καταγραφή της εξάπλωσης στη Χίο των τεσσάρων ειδών της οικογένειας Labiatae πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 2002-2006 εννέα συνολικά επισκέψεις στο νησί, κατά τη διάρκεια των οποίων: (i) συλλέχθηκαν δείγματα των ειδών της οικογένειας Labiatae και (ii) καταγράφηκαν με GPS οι γεωγραφικές συντεταγμένες όλων των τοποθεσιών, στις οποίες βρέθηκαν τα είδη αυτά στο νησί.

Τα συλλεχθέντα φυτικά δείγματα προσδιορίστηκαν ταξινομικά με χρήση των χλωριδικών συγγραμμάτων Flora Europaea (Tutin et al., 1972), Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, 1982) και της ταξινομικής μονογραφίας του γένους *Mentha* της Κοκκίνη (1983) και κατατέθηκαν στο Herbarium του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (TAU).



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης Χίου (απο Ανάβαση, 2004).



Σχήμα 2. Κάνναβος που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της εξάπλωσης των ειδών. Σημειώνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες (WGS84) των τεσσάρων σημείων που ορίζουν τον κάνναβο.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες εισάχθηκαν στο ArcView του ArcGis 9.1 (ESRI). Στο ίδιο πρόγραμμα εισάχθηκαν και γεωαναφέρθηκαν ο γεωλογικός χάρτης της Χίου του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Besenecker et al., 1971) και τοπογραφικός χάρτης του νησιού ιδιωτικής εταιρίας χαρτογράφησης (Ανάβαση, 2004). Ο γεωλογικός χάρτης ψηφιοποιήθηκε σε απλούστερη μορφή, έτσι ώστε να διακρίνονται μόνο οι τρεις κύριες κατηγορίες πετρωμάτων: Παλαιοζωικοί γραούβακες, Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες και τα Νεογενή πετρώματα. Ο τοπογραφικός και ο γεωλογικός χάρτης χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο για την απεικόνιση της εξάπλωσης των ειδών στο νησί. Για την καλύτερη απεικόνιση της εξάπλωσης, χρησιμοποιήθηκε κάρναβος πλευράς βρόγχου 1 km, έτσι ώστε όλες οι τοποθεσίες καταγραφής ενός είδους, που εμπίπτουν στον ίδιο βρόγχο καννάβου, να απεικονίζονται ως μία (Σχήμα 2). Όλα τα δεδομένα προβλήθηκαν στο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων WGS84.

#### 4. Αποτελέσματα - συζήτηση

Η *Mentha longifolia* φύεται αποκλειστικά στη ΒΔ Χίο, το *Coridothymus capitatus* είναι γενικά κοινό σε όλο το νησί, η *Salvia fruticosa* απαντά κυρίως στο νότιο, ενώ το *Sideritis sipylea* στο βόρειο τμήμα του νησιού. Επιχειρώντας συσχέτιση των προτύπων εξάπλωσης των τεσσάρων ειδών με την κατανομή των γεωλογικών σχηματισμών στο νησί, το υδρογραφικό δίκτυο και το υψόμετρο, παρατηρούμε τα εξής:

Η *Mentha longifolia* απαντάται σχεδόν αποκλειστικά στους γραούβακες του ΒΔ τμήματος. Από τις 19 συνολικά τοποθεσίες που καταγράφηκε η παρουσία της, οι 16 είναι σε γραούβακες και τρεις σε γειτονικά με τους γραούβακες Νεογενή πετρώματα. Επιπλέον οι περισσότερες τοποθεσίες, στις οποίες βρέθηκε, είναι μέσα ή κοντά σε ρέματα.

Το *Coridothymus capitatus* απαντά και στις τρεις κατηγορίες πετρωμάτων που υπάρχουν στο νησί. Στους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες και στα Νεογενή πετρώματα είναι κοινό, ενώ στους ΒΔ γραούβακες καταγράφηκε σε λίγες μόνο τοποθεσίες κοντά στα όρια με τα Νεογενή. Παρόλο που το είδος αυτό είναι γενικά κοινό σε όλη τη Χίο, απουσιάζει από τους τέσσερις κύριους ορεινούς όγκους του βόρειου και κεντρικού τμήματος του νησιού (Σχήμα 3).

Η *Salvia fruticosa* φύεται κατά μήκος της ραχοκοκκαλιάς που σχηματίζουν οι Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες στο νησί (στα νότια είναι άφθονη), ενώ «εισχωρεί» και στα Νεογενή πετρώματα του ΝΑ τμήματος, κυρίως στους ασβεστόλιθους Άνω Μειοκαίνου. Στη λοφώδη νότια Χίο είναι άφθονη, ενώ στην ορεινή βόρεια και κεντρική Χίο η παρουσία της είναι σποραδική.

Το *Sideritis sipylea* απαντάται κυρίως στους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες και σε μία τοποθεσία σε Νεογενή πετρώματα στα όρια με το γειτονικό ασβεστόλιθο. Φύεται αποκλειστικά στις ορεινές περιοχές της βόρειας και κεντρικής Χίου.

Συνδέοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με τη δημοσιευμένη πληροφορία για την εξάπλωση των τεσσάρων ειδών στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου προκύπτουν τα εξής: Η *Mentha longifolia* καταγράφηκε στη Χίο κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου που σχηματίζουν οι χαμηλής υδατοπερατότητας γραούβακες. Το είδος αυτό, παρά την ευρεία γενική του εξάπλωση, στη Χίο είναι εξαιρετικά περιορισμένο, καθώς, τόσο στο Ανατολικό Αιγαίο, αλλά και στο σύνολο της εξάπλωσής του στην Ελλάδα, είναι γνωστό ότι φύεται μόνο σε υγρές περιοχές (Κοκκίνη, 1983). Το *Coridothymus capitatus* καταγράφηκε σε όλη τη Χίο, με εξαίρεση τους Παλαιοζωικούς γραούβακες και τις ορεινές περιοχές του νησιού. Η *Salvia fruticosa* βρέθηκε σχεδόν αποκλειστικά στις ασβεστολιθικές περιοχές των χαμηλών υψομέτρων της Χίου. Τόσο το *Coridothymus capitatus* όσο και η *Salvia fruticosa* είναι είδη κοινά στα περισσότερα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, όπου επίσης φύονται σε χαμηλά υψόμετρα και συχνά σε ασβεστολιθικό υπόστρωμα (Hansen, 1980; Davis, 1982; Boratyńska et al., 1985; Χριστοδουλάκης, 1986; Carlström, 1987; Boratynski et al., 1992; Browicz,

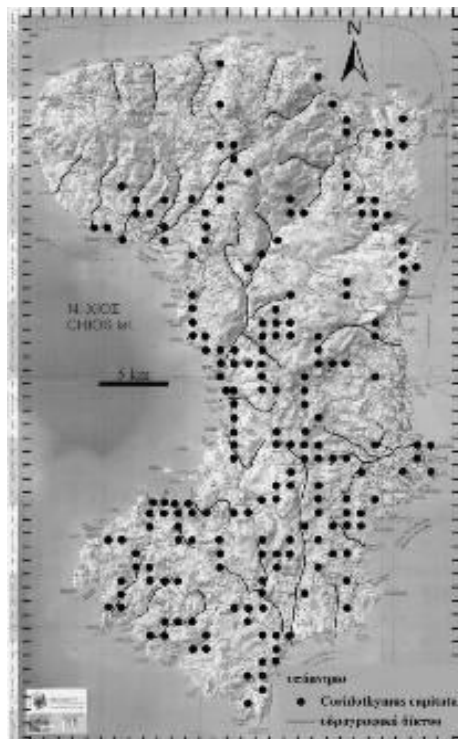
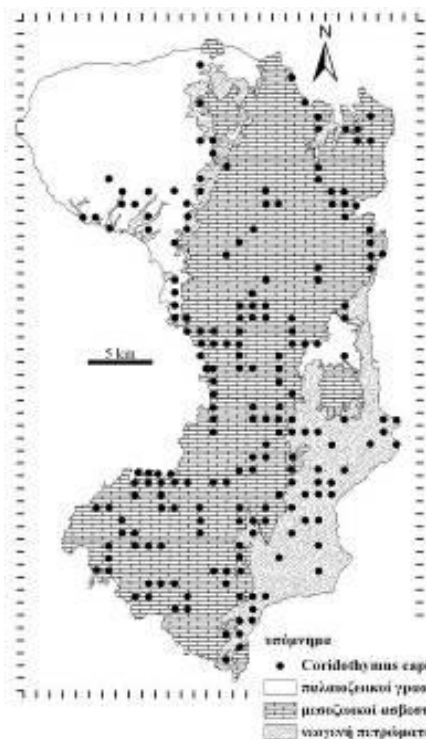
1994; Browicz and Zielinski, 1996). Ειδικότερα για το *Coridothymus capitatus* στη Ρόδο η Carlström (1987) αναφέρει ότι συνήθως απουσιάζει από υπερβασικά πετρώματα. Το *Sideritis*

*sipylea* βρέθηκε στις ορεινές ασβεστολιθικές περιοχές της βόρειας και κεντρικής Χίου. Εκτός από τη Χίο το είδος αυτό απαντάται σε τρία ακόμη νησιά του Ανατολικού Αιγαίου (Λέσβος, Σάμος, Ικάρια), στα οποία ομοίως φύεται σε ορεινές (500-1200 m) ασβεστολιθικές περιοχές (Rechinger, 1943; Davis, 1982; Χριστοδουλάκης, 1986; Μπαζός και Γιαννίτσαρος, 2005).

## 5. Συμπεράσματα

Τα τέσσερα είδη της οικογένειας Labiatae, *Mentha longifolia*, *Coridothymus capitatus*, *Salvia fruticosa* και *Sideritis sipylea*, που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, εμφανίζουν διαφορετικά πρότυπα εξάπλωσης στη Χίο. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα της εργασίας υποδεικνύουν ότι η εξάπλωση:

- και των τεσσάρων ειδών σχετίζεται με την κατανομή στο νησί των γεωλογικών σχηματισμών,
- της *Mentha longifolia* σχετίζεται με την παρουσία πυκνού υδρογραφικού δικτύου και
- των *Coridothymus capitatus*, *Salvia fruticosa* και *Sideritis sipylea* σχετίζεται με την ύπαρξη χαμηλών (για τα δύο πρώτα είδη) ή μεγάλων (για το τρίτο) υψομέτρων.



## Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από το ΕΠΕΑΕΚ και την Ευρωπαϊκή Ένωση έργο του Πυθαγόρα ΙΙ «Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα Πανεπιστήμια».

## Βιβλιογραφία

Κοκκίνη Σ., 1983: Ταξινομικές μελέτες του γένους *Mentha* L. στην Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Μπαζός Ι. και Α. Γιαννίτσaros, 2005: Ανατολικομεσογειακά χλωριδικά στοιχεία στη Νήσο Λέσβο. "Θεόφραστος 2000" Βιοποικιλότητα και φυσική κληρονομιά στο Αιγαίο, Ερεσός Λέσβου 6-8 Ιουλίου 2000.

Χριστοδουλάκης Δ., 1986: Η χλωρίδα και η βλάστηση της Σάμου. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Angiolini L., L. Carabelli and M. Gaetani, 2005: Middle Permian Brachiopods from Greece and their palaeobiogeographical significance: new evidence for a gondwanan affinity of the Chios island upper unit. *Journal of Systematic Paleontology*, 3, 169-185.

Besenecker H., S. Durr, G. Herget, G. Kauffman, G. Lüdtker, W. Roth, and K. Tietze, 1971: Geological Map of Greece. Chios Sheet, 1:50 000. Inst. Geol. Subsurface R. es., Athens.

Boratynska K., A. Boratynski K. Browicz and J. Dolatowski, 1985: Trees and shrubs of Rodhos - a monographic study. *Arbor. Kórnickie*, 30, 127-199.

*Σχήμα 3. Εξάπλωση του Coridothymus capitatus στη Χίο (αριστερά με υπόβαθρο γεωλογικό χάρτη, από Besenecker et al., 1971 και δεξιά με υπόβαθρο τοπογραφικό χάρτη, από Ανάβαση, 2004)*

Boratynski A., K. Browicz and J. Zielinski, 1987: Woody flora of Chios. *Arbor. Kórnickie*, 32, 37-92.

Boratynski A., K. Browicz and J. Zielinski, 1992: Chorology of Trees and Shrubs in Greece. Polish Academy of Sciences - Institute of Dendrology ed., 286 pp., Sorus, Kórnik.

Browicz K., 1994: Trees and shrubs of Kos Island (Dodecanese, Greece). *Arbor. Kórnickie*, 39, 31-55.

Browicz K. and J. Zielinski, 1996: Trees and shrubs of Icaria Island (Greece). *Arbor. Kórnickie*, 41, 15-45.

Carlström A., 1987: A survey of the flora and phytogeography of Rodhos, Simi, Tilos and the Marmaris peninsula (SE Greece, SW Turkey). PhD thesis, University of Lund.

Chilton L. (ed.), 2000: Plant List for the Greek Island of Lesbos. Marengo Publications, England.

Christodoulakis D., 1995: The flora of Icaria (Greece, E. Aegean Islands). *Phyton Austria*, 36, 63-91.

Davis P. H., 1982: Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edinburgh University Press, Edinburgh.

Greuter W., H. M. Burdet, and G. Long (eds.), 1986: Med-Checklist, vol. 3. Genève: Conservatoire et Jardin Botaniques.

Groves J. R., C. Larghi, A. Nicora and R. Rettori, 2003: Mississippian (Lower Carboniferous) microfossils from the Chios Melange (Chios Island, Greece). *Geobios*, 36, 379-389.

Hansen A., 1980: Eine Liste der Flora der Inseln Kos, Kalymnos, Pserimos, Telendos und Nachbar-Inselchen (Ostagais, Griechenland), *Biologia Gallo-Hellenica*, 9, 3-105.

Karousou R., E. Hanlidou and S. Kokkini, 2000: The sage plants of Greece: Distribution and intraspecific variation. In: *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles: Salvia*, edited by S. E. Kintzios, pp. 27-46, Harwood Academic Publishers, Chur.

Kokkini S., V. Karagiannakidou, E. Hanlidou, and D. Vokou, 1988: Geographical and altitudinal distribution of the Lamiaceae in Greece, *Phyton (Austria)*, 28, 215-228.

Meikle R. D., 1954: A survey of the flora of Chios. *Kew Bull.*, 1, 85-199.

Meinhold G., D. Kostopoulos, T. Reischmann, D. Matukov and S. Sergeev, 2006: Provenance of Permo-Triassic clastic sediments from Chios Island, Greece, using detrital zircon ages. *Geophysical Research Abstracts*, 8, 04496.

Rechinger K. H., 1943: *Flora Aegea*. Springer Verlag, Wien.

Rosselet F. and G. Stampfli, 2003: The Paleozoic siliclastic sequences in Karaburun, a remnant of the Paleotethys fore-arc basin in Western Turkey. *Geophysical Research Abstracts*, 5, 09770.

Snogerup S., B. Snogerup, D. Phitos, and G. Kamari, 2001: The Flora of Chios island (Greece). *Bot. Chron.*, 14, 5-199.

Strid A. and K. Tan (eds.), 1997: *Flora Hellenica*, vol. 1. Koeltz Scientific Books, Koenigstein.

Tutin T. G., V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore, D. H. Valentine S. M., Walters and D. A. Webb (eds.), 1972: *Flora Europaea*, vol. 3. University Press, Cambridge.

Zanchi A., E. Garzanti, C. Larghi, L. Angiolini and M. Gaetani, 2003a: The Variscan orogeny in Chios (Greece): Carboniferous accretion along a Palaeotethyan active margin. *Terra Nova*, 15, 213-223.

Zanchi A., E. Garzanti, C. Larghi, L. Angiolini and M. Gaetani, 2003b: The Volissos Turbiditic complex of Chios (Greece): Carboniferous accretion along a Paleotethyan active margin? *Geophysical Research Abstracts*, 5, 08945.

## ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ & ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΚΩΠΑΪΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΒΟΙΩΤΙΑΣ

Τζιρίτης Ε., Κελεπερτζής Α.

*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικ.Γεωλογίας-Γεωχημείας*

### Περίληψη

Το Κωπαιδικό πεδίο αποτελεί μια περιοχή στην οποία αναπτύσσονται έντονες αγροτικές δραστηριότητες. Η ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών αποδεκτών που το διατρέχουν, είναι σημαντική τόσο για την αρδευτική ικανότητα που αυτοί παρουσιάζουν, όσο και για το γεγονός της κατάληξης τους στην λίμνη της Υλίκης που αποτελεί έναν ιδιαίτερο ταμειυτήρα. Κατά τη διερεύνηση των σημαντικότερων χημικών παραμέτρων διαπιστώθηκε ότι η υδατική ποιότητα βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, με την πλειοψηφία των συγκεντρώσεων των χημικών παραμέτρων να βρίσκονται κάτω από τα όρια της 98/83/ΕΚ. Ειδικά για την παράμετρο του Cd που αποτελεί έναν ιδιαίτερα τοξικό ρύπο, διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένα σημεία οι τιμές του (3-4ppb) προσεγγίζουν τα ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα. Οι υπόλοιπες παράμετροι, όπως το BOD5 (Βιοχημική Απαιτήση σε Οξυγόνο) και COD (Χημική Απαιτήση σε Οξυγόνο), ιδιαίτερα σε σημεία που υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις συγκεντρώσεις τους (στα σημεία K3,M5,EPK1 & EPK3 υπάρχουν αποκλίσεις που κυμαίνονται από 23-61 mg/l) υποδηλώνουν την επιβάρυνση των αποδεκτών, κυρίως από μη βιοδιασπάσιμες σύνθετες οργανικές ενώσεις. Τέλος, από την ισοτοπική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε εμπλουτισμός σε <sup>2</sup>H και <sup>18</sup>O υπό καθεστώς έντονης εξάτμισης στο σύνολο του υδρογραφικού δικτύου και συμπληρωτικά η δράση δευτερογενών διεργασιών (ισοτοπική ανταλλαγή λόγω εξαλλοίωσης πυριτικών ορυκτών) που δρουν επικουρικά στο φαινόμενο.

### **HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPICAL STUDY OF NATURAL AND ARTIFICIAL HYDROGRAPHIC NETWORK OF KOPAIDA PLAIN, VIOTIA**

Tziritis E., Kelepertzis A.

*University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Economic Geology and Geochemistry*

### Abstract

Kopais plain is a region of extended agricultural use. The quality status of the drainage pattern is quite important for the assessment of irrigational conditions and because of the fact that the end point of surficial waters is the reservoir of Lake Yliki. As it was observed from the chemical analysis, the general water quality status is good, as the range values for the most of the main chemical parameters are within the proposed standards. Some exceptions occurred, such as the high concentrations (3-4ppb) of Cd in some samples, which were close to the maximum contamination level. The rest parameters of BOD5 & COD, revealed the preferential pollution of some water samples from non-biodegradable organic contaminants, as their concentrations had an abnormal deviation. Finally, isotopic analysis showed an enrichment in heavier isotopes (<sup>2</sup>H και <sup>18</sup>O), which corresponds mainly to extensive conditions of evaporation and secondary to supplementary processes (isotopic exchange due to alteration of silicate minerals).

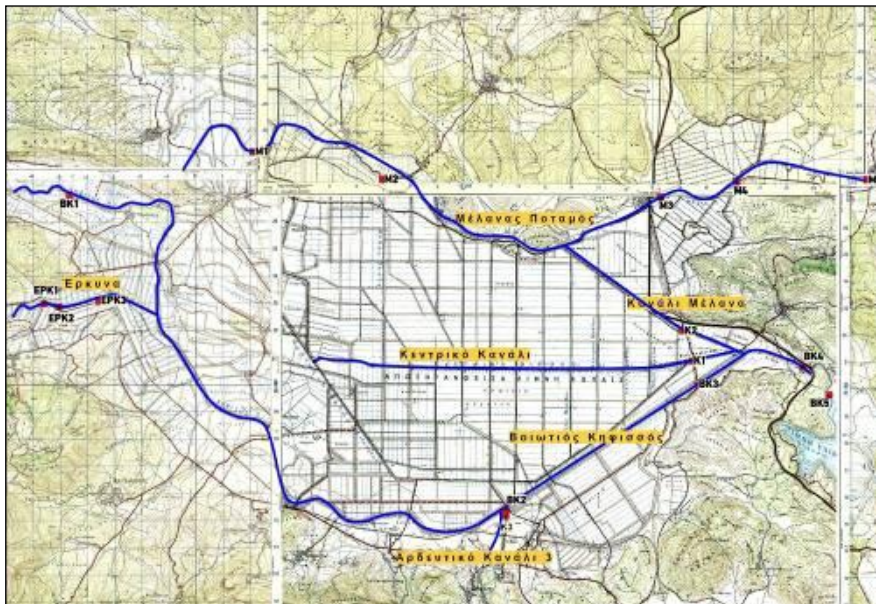
**Λέξεις κλειδιά:** Κωπαΐδα, υδρογραφικό δίκτυο, υδρογεωχημεία, περιβάλλον, σταθερά ισότοπα.

**Key words:** Kopaida, drainage pattern, hydrogeochemistry, environment, stable isotopes.

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία-Γεωλογία

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Νομό Βοιωτίας, και απέχει 110 km ΒΔ της Αθήνας (σχήμα 1). Πρόκειται για την περιοχή που προήλθε από την αποξήρανση της ομώνυμης λίμνης, συνολικής έκτασης 215km<sup>2</sup>. Σήμερα στη θέση της υπάρχει το λεγόμενο Κωπαιδικό πεδίο, μια εύφορη και έντονα καλλιεργήσιμη περιοχή, που αποτελεί την απόληξη του ρου του ποταμού Βοιωτικού Κηφισσού και αναπτύσσεται σε μια επιμήκη διάταξη με γενική διεύθυνση Α-Δ και μέσο υψόμετρο +95m. Η πλήρωση του Κωπαιδικού βυθίσματος, που αποτελεί το αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης τεκτονισμού και καρστικοποίησης, έχει γίνει από ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς μεγάλου πάχους. Τα κατώτερα στρώματα είναι Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας και αποτελούνται από αργίλους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες κτλ. θαλάσσιας-λιμναιάς φάσης και εξελίσσονται προς τις ανώτερες σειρές σε ηπειρωτικούς σχηματισμούς, ενώ τέλος η σειρά κλείνει με πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις (Allen, 1984; Παγούνης κ.α., 1994). Το υπόβαθρο της περιοχής, που δομεί και τους περιβάλλοντες ορεινούς όγκους, αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι, δολομίτες), από ένα ηφαιστειοιζηματογενές σύμπλεγμα (σχιστόλιθοι και ψαμμίτες με βασικά και υπερβασικά τεμάχη) με ανθρακικές παρεμβολές και τον τυπικό φλύσχη στο τέλος της σειράς (Κουμαντάκης, 1968; Παπαγιανόπουλος & Λέτσιος, 1971; Παγούνης κ.α, 1994; Δάνδολος, 2002).



Σχήμα 1. Απεικόνιση στο τοπογραφικό υπόβαθρο (κλίμακα 1:50000) του κύριου φυσικού και τεχνητού υδρογραφικού πεδίου στην Κωπαΐδα, καθώς και των 16 σημείων δειγματοληψίας

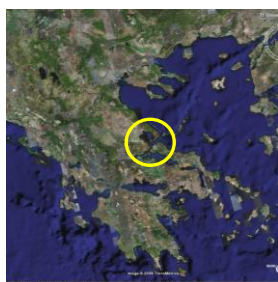
### 1.2 Υδρογραφικό δίκτυο

Το Κωπαιδικό πεδίο διατρέχεται τόσο από φυσικό υδρογραφικό δίκτυο, όσο και από τεχνητό, με τη μορφή αρδευτικών καναλιών και τάφρων, που αποτελούν την κύρια πηγή



άρδευσης των καλλιεργειών της περιοχής. Το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο διακρίνεται σε δυο κύριους ποταμούς (Βοιωτικός Κηφισός, Μέλανας) και σε δευτερεύοντα ρέματα (Έρκυνα, Πλατανιάς, Πόντζας). Ο Βοιωτικός Κηφισός που πηγάζει από το όρος Γκίωνα, εισέρχεται από τα δυτικά στο Κωπαιδικό πεδίο στην περιοχή του όρους Ακόντιου και καταλήγει στην λίμνη Υλίκη μέσω της σήραγγας της Καρδίτσας. Αποτελεί τον αποδέκτη των δευτερευόντων ρεμάτων που αναφέρθηκαν και των βασικών αρδευτικών καναλιών. Ο ποταμός Μέλανας πηγάζει από τις ομώνυμες πηγές (ή πηγές Χαρίτων) που βρίσκονται στις ΝΑ απολήξεις του όρους Ακόντιου στα ΒΔ του Κωπαιδικού πεδίου και αφού διατρέξει τα βόρεια περιθώρια του διακλαδίζεται, με τον ένα κλάδο να καταλήγει στον Βοιωτικό Κηφισό μέσω του καναλιού του Μέλανα και τον άλλο στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη (ΒΑ περιθώρια). Το τεχνητό υδρογραφικό δίκτυο είναι κατασκευασμένο με τη μορφή πυκνού καννάβου και διατρέχει σχεδόν όλη την έκταση του πεδίου. Αποτελείται από πολλά μικρά κανάλια και τρία κύρια (Συγκεντρωτικό, Εσωτερικό και κανάλι Μέλανα) τα οποία μεταφέρουν και τον μεγαλύτερο όγκο νερού.

### 1.3 Βιβλιογραφική επισκόπηση-Σκοπός



Η περιοχή της Κωπαΐδας έχει απασχολήσει κατά παρελθόν διάφορους ερευνητές, με αποτέλεσμα την εκπόνηση γεωμορφολογικών (Παπαδοπούλου, 1987,1990; Παπαδοπούλου & Γκουρνέλλος, 1994), υδρογεωλογικών (Παπαγιανόπουλος & Λέτσιος, 1971; Παγούνης κ.α., 1994), υδρολογικών (Griffiths et al., 2002), ιζηματολογικών (Allen, 1986) και κοιτασματολογικών μελετών (Αλμπαντάκης & Κούνδουρος, 1984). Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την διερεύνηση της ποιοτικής κατάστασης του φυσικού και τεχνητού υδρογραφικού δικτύου του Κωπαΐδικού πεδίου, μέσω των υδρογεωχημικών και ισοτοπικών συνθηκών που επικρατούν. Η εκτίμηση των υδρογεωχημικών συνθηκών πραγματοποιείται τόσο μέσω των μεταβολών των χημικών παραμέτρων κατά τη ροή του δικτύου, όσο και μέσω της σύγκρισης με τα υπάρχοντα ποιοτικά πρότυπα, ενώ η ισοτοπική ανάλυση προσπαθεί να διερευνήσει τις διεργασίες που επιδρούν και επηρεάζουν την ισοτοπική αναλογία.

## 2. Μεθοδολογία

### 2.1 Δειγματοληψία και αναλύσεις

Συλλέχθηκαν συνολικά 24 δείγματα νερού από 16 υδροσημεία (σχήμα 1) σε δυο διαφορετικές περιόδους (Απρίλιος-Μάιος και Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2005). Κατά τη διάρκεια την δειγματοληψίας ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή μολύνσεων των δειγμάτων. Επί τόπου προσδιορίστηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι pH, TDS και CND (με τη βοήθεια αγωγιμέτρου της Hach) ενώ η συλλογή και αποθήκευση των δειγμάτων έγινε σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου των 1000ml, τα οποία διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία Ένα μέρος των δειγμάτων διηθήθηκε με τη βοήθεια αντλίας κενού και ηθμού διαμέτρου 0,45μm για τον προσδιορισμό των κύριων ανιόντων και κατιόντων και των σταθερών ισοτόπων <sup>2</sup>H και <sup>18</sup>O, ενώ ποσότητα περίπου 100ml οξυνίστηκε με την προσθήκη 0,5ml πυκνού HNO<sub>3</sub> προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάλυση για ιχνοστοιχεία. Η υπόλοιπη αδιάθικτη ποσότητα δείγματος νερού, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση των BOD<sub>5</sub> και COD εντός του ενδεδειγμένου χρονικού πλαισίου.

Συνολικά προσδιορίστηκαν 23 χημικές και φυσικές παράμετροι. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας-Γεωχημείας του ΕΚΠΑ (φυσικοχημικές παράμετροι) και στα εργαστήρια του Research Institute of Materials & Resources, Akita University-Japan (σταθερά ισότοπα). Σε όλα τα δείγματα έγιναν οι εξής προσδιορισμοί:

κατιόντα (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης (AAS) με σύστημα ατομοποίησης καυστήρα (Perkin Elmer 1110/B) και φλογοφωτόμετρο PFP/7 Jenway.

ανιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου DR/4000 της Hach και τιτλοδότη ιχνοστοιχεία (Zn, Cr, Cu, Ni, Cd, Pb, Fe, Mn), με τη βοήθεια φασματοφωτομέτρου ατομικής απορρόφησης (AAS) με σύστημα ατομοποίησης εξαχνωτή θερμαινόμενου γραφίτη (Perkin Elmer 1100/B)

BOD5 και COD, με τη βοήθεια του BODTrak και του φασματοφωτόμετρου DR/850 της Hach.

Πίνακας 1. Μέσος όρος αποτελεσμάτων αναλύσεων των δυο περιόδων.

	Ca	Mg	K	Na	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	CND	TDS	pH
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	μS/cm	ppm	
<b>K1</b>	73	28	2	17	9	0,05	31	0,5	8	210	450	220	8,2
<b>K2</b>	51	23	1	12	9	0,04	23	0,3	9	185	415	205	8,2
<b>K3</b>	64	7,7	41	51	7	0	13	6,2	62	230	690	340	8,2
<b>M1</b>	53	17	1	20	15	0,02	9	0,1	3	223	540	270	8,2
<b>M2</b>	79	21	1	10	14	0,17	9	0,8	2	210	430	220	8,2
<b>M3</b>	67	23	1	12	6	0,05	32	0,6	12	228	460	230	8,1
<b>M4</b>	52	32	2	28	9	0,03	21	0,1	10	270	480	240	8,3
<b>M5</b>	28	23	3	53	7	0	33	0,4	16	162	370	180	8,3
<b>BK1</b>	55	21	1	49	12	0,01	23	0	4	161	420	205	8,4
<b>BK2</b>	43	15	2	36	7	0,15	37	0,1	9	110	370	185	8,2
<b>BK3</b>	32	27	1	15	5	0	47	0,6	19	135	340	160	8,3
<b>BK4</b>	47	25	2	47	8	0	40	1,5	11	202	370	180	8,4
<b>BK5</b>	42	26	2	31	9	0,01	39	0,1	7	205	430	210	8,4
<b>EPK1</b>	86	12	3	12	6	0	24	2,6	11	253	510	250	8,1
<b>EPK2</b>	62	9	2	56	10	0	36	0,7	8	200	150	220	8,4
<b>EPK3</b>	59	13	3	31	12	0,52	37	1,5	6	220	530	260	8,1
	Zn	Cr	Ni	Fe	Mn	Pb	Cu	Cd	BOD <sub>5</sub>	COD	δD	δ <sup>18</sup> O	
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	mg/l	mg/l	V-SMOW	V-SMOW	
<b>K1</b>	19	4	1	70	4	0	2	3	3,9	8,7	-47,08	-7,18	
<b>K2</b>	26	2	2	75	2	1	3	4	3,3	6,5	-44,33	-6,54	
<b>K3</b>	30	1	7	79	150	0	0	1	49,8	23,2	-38,34	-5,31	
<b>M1</b>	19,5	4	1	5	2	0	0	1	4,5	3,8	-54,36	-8,41	
<b>M2</b>	2	2	0	5	1	0	1	0	n/a	n/a	n/a	n/a	
<b>M3</b>	8	3	2	74	3	0	1	3	3,4	4,6	-42,01	-5,88	
<b>M4</b>	11	7	3	15	46	0	1	1	3,9	1,7	n/a	n/a	
<b>M5</b>	30	0	5	7	1	0	0	1	11,4	72,5	-31,76	-3,56	
<b>BK1</b>	17	3	1	21	3	1	2	0	2,5	0,7	-49,96	-7,56	
<b>BK2</b>	16,5	2	3	13	2	1	1	0	10,4	2	-48,15	-7,38	
<b>BK3</b>	37	1	1	80	1	0	3	0	8,3	17,8	-33,66	-4,08	
<b>BK4</b>	30	1	1	5	1	1	2	4	3,1	1,4	n/a	n/a	
<b>BK5</b>	16	2	2	9	1	0	1	1	6	20	-42,58	-6,08	
<b>EPK1</b>	19	1	1	219	38	0	1	2	12	34,9	-53,56	-8,51	
<b>EPK2</b>	30	2	1	24	5	0	0	2	4,2	9	n/a	n/a	
<b>EPK3</b>	7	7	2	15	29	1	1	0	10,5	58	n/a	n/a	

Σε επιλεγμένα δείγματα (11) υπολογίστηκαν επιπροσθέτως και οι τιμές των σταθερών ισότοπων 2H (D) και 18O με τη βοήθεια φασματογράφου μάζας MAT 250. Η αποτίμηση της ισοτοπικής σύνθεσης έγινε με τη βοήθεια του λόγου “δ” όπου:

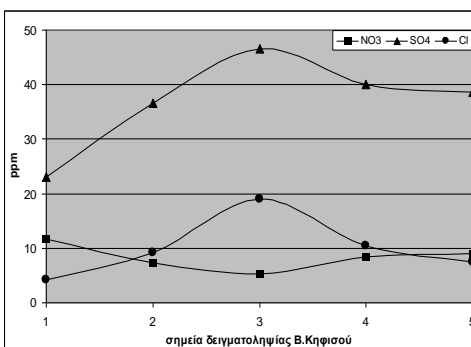
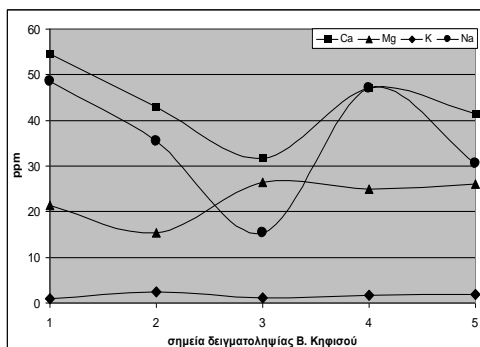
$$\delta^{18}O = \left[ \frac{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{δείγματος}} - \left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{V-SMOW}}{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{V-SMOW}} \right] \times 10^3 \text{ ‰}$$

$$\delta D = \left[ \frac{\left( \frac{D}{H} \right)_{\text{δείγματος}} - \left( \frac{D}{H} \right)_{V-SMOW}}{\left( \frac{D}{H} \right)_{V-SMOW}} \right] \times 10^3 \text{ ‰}$$

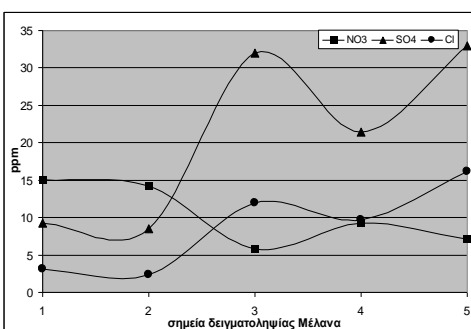
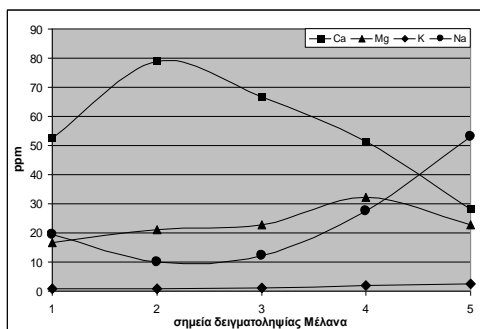
και V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) το σύνηθες πρότυπο τυπικής θαλάσσιας σύστασης (Chapman & Hall, 1997). Τα αναλυτικά αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 1.

### 3. Υδρογεωχημικά αποτελέσματα-Συζήτηση

Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων έγινε με βάση τον μέσο όρο των δυο περιόδων δειγματοληψίας, δεδομένου ότι δεν υπάρχει εποχιακή διακύμανση των τιμών, ώστε να δικαιολογεί τη μεμονωμένη θεώρησή τους. Με βάση λοιπόν τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, των οποίων οι μέσες συγκεντρώσεις απεικονίζονται στον πίνακα 1, σχολιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε έναν αποδέκτη ξεχωριστά.



Σχήματα 1&2. Μεταβολή συγκεντρώσεων κατιόντων και ανιόντων του Β.Κηφισού κατά τη πορεία ροής του (τα σημεία 1-5 αντιστοιχούν στα δείγματα M1-M5)



Σχήματα 3&4. Μεταβολή συγκεντρώσεων κατιόντων και ανιόντων του Μέλana κατά τη πορεία ροής του (τα σημεία 1-5 αντιστοιχούν στα δείγματα BK1-BK5)

### 3.1 Βοιωτικός Κηφισός

Η γενική ποιοτική κατάσταση των υδάτων του Β.Κηφισού είναι ικανοποιητική. Αναλυτικότερα, όσον αφορά τα κατιόντα, το  $\text{Ca}^{2+}$  εμφανίζει μια σταδιακή ελάττωση της συγκέντρωσης του μέχρι το σημείο ΒΚ3 και στη συνέχεια αυξάνεται, ενώ το  $\text{Mg}^{2+}$  διατηρείται σχεδόν σταθερό, με μικρές αυξομειώσεις στην πορεία ροής του ποταμού. Η ίδια σταθερότητα καταγράφεται και για το  $\text{K}^{+}$ , ενώ στο  $\text{Na}^{+}$  σημειώνεται σημαντική ελάττωση (η συγκέντρωση περιορίζεται στο 30% της αρχικής) κατά από την είσοδο του Β. Κηφισού στην Κωπαΐδα μέχρι το μέσο περίπου της ροής του (ΒΚ3) και μετά μια απότομη αύξηση. Η αύξηση αυτή πιθανότατα οφείλεται στην περαιτέρω διάλυση  $\text{Na}$ -ούχων ορυκτών, καθώς ύμφωνα με τους Stumm & Morgan (1996), μια ενδεχόμενη αύξηση του  $\text{CO}_2$ , λόγω π.χ εκτεταμένης αποσύνθεσης τοπικά των φυτικών οργανισμών, μπορεί να οδηγήσει στην εξαλλοίωση  $\text{Na}$ -ούχων ορυκτών σε αργιλικά, με ταυτόχρονη απελευθέρωση  $\text{HCO}_3^-$ .

Όσον αφορά τα ανιόντα, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της μικρής περιεκτικότητας σε  $\text{NO}_3^-$  (5,3-11,7ppm), παρόλο που η περιοχή καλλιεργείται έντονα. Η πιθανή ερμηνεία που μπορεί να δοθεί είναι ότι ο Κηφισός έχει μεγάλο όγκο υδάτων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και συνεχή ροή, συνεπώς επιδρά σημαντικά ο παράγοντας της αραιώσης.. Τα νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) είναι πρακτικά μηδενικά, όπως και τα  $\text{PO}_4^{3-}$  με μοναδική εξαίρεση το σημείο ΒΚ4, λίγο πριν τη σήραγγα της Καρδίτσας, όπου υπάρχει τοπικός εμπλουτισμός (1,5ppm). Τα  $\text{SO}_4^{2-}$  διατηρούνται σταθερά σχεδόν καθ' όλη τη ροή του, όπως και τα όξινα ανθρακικά ιόντα ( $\text{HCO}_3^-$ ), που παρουσιάζουν μόνο μια αύξηση παράλληλα με ορισμένες τιμές του  $\text{Na}^+$ , ενώ το  $\text{Cl}^-$  εμφανίζει μια αύξηση της συγκέντρωσης του στο μέσο της ροής (ΒΚ3) σε σχέση με τις αρχικές τιμές, η οποία όμως επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα στα επόμενα σημεία δειγματοληψίας. Τα ιχνοστοιχεία εμφανίζουν τιμές εντός των επιτρεπόμενων ορίων και διατηρούνται σταθερά, εκτός δύο περιπτώσεων στις οποίες παρουσιάζεται κάποια μεταβολή. Το πρώτο είναι το ΒΚ3 όπου ο  $\text{Fe}$  είναι 80ppb και το δεύτερο το ΒΚ4 όπου το  $\text{Cd}$ , που είναι επικίνδυνος και τοξικός ρύπος, έχει τιμή 4ppb, πλησίον της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής. Οι παράμετροι  $\text{CND}$  και  $\text{TDS}$  λόγω της συνάφειας τους παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση, ελαττώνονται σταδιακά προς το μέσο της ροής και αυξάνονται με τον ίδιο τρόπο προς το τέλος και την είσοδο στη Υλίκη, φθάνοντας τι μέγιστες τιμές τους (430 $\mu\text{S}/\text{cm}$  για  $\text{CND}$  και 210  $\text{mg}/\text{l}$  για  $\text{TDS}$ ). Το  $\text{pH}$  διατηρείται σχεδόν σταθερό, πάντα σε αλκαλικά επίπεδα (8,2-8,4), αντανακλώντας έτσι την επίδραση της γεωλογίας (ανθρακικοί σχηματισμοί και οφιολιθικά τεμάχια της διάπλασης).

Τέλος, όσον αφορά την βιοχημική και χημική απαίτηση σε οξυγόνο ( $\text{BOD}_5$  και  $\text{COD}$ ), παρατηρείται αύξηση των τιμών στο μέσο του ρου του από την Κωπαΐδα (ΒΚ2 και ΒΚ3), κοντά δηλαδή στην πόλη του Αλιάρτου και τις περιβάλλοντες αυτής μονάδες παραγωγής ντοματοπολτού. Ο Β. Κηφισός αποτελεί τον τελικό αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων τους μέσω του καναλιού Κ3 και όχι μόνο, όπως διαπιστώθηκε από τις εργασίες υπαίθρου. Έτσι λοιπόν η τιμή του  $\text{BOD}_5$  από την χαμηλή τιμή των 2,5 $\text{mg}/\text{l}$  που είναι στην είσοδο του Κηφισού στη Κωπαΐδα, ανέρχεται στο μέγιστο της (10,4  $\text{mg}/\text{l}$  στο ΒΚ2) και στη συνέχεια ελαττώνεται ελαφρώς, ενώ το  $\text{COD}$  έχει δυο σχετικά υψηλές τιμές, μια στο μέσο περίπου της ροής του μετά τον Αλιάρτο (ΒΚ3) και άλλη μια υψηλότερη (20 $\text{mg}/\text{l}$ ) στην είσοδο της λίμνης Υλίκης. Στο ίδιο σημείο το  $\text{BOD}_5$  είναι αρκετά πιο χαμηλό, υποδηλώνοντας έτσι την παρουσία οργανικών ενώσεων οι οποίες οξειδώνονται χημικά αλλά δεν βιοαποικοδομούνται, όπως π.χ. συνθετικά πλαστικά (Ανδρεαδάκης, 2003).

### 3.2 Μέλανας

Η ποιοτική κατάσταση των υδάτων του Μέλανας είναι ικανοποιητική, με ελάχιστες εξαιρέσεις. Το  $\text{Ca}^{2+}$  μετά το αρχικό σημείο (ΒΚ1) καταγράφει άνοδο (35% περίπου της αρχικής τιμής) και στην συνέχεια ελαττώνεται σταδιακά μέχρι το τέλος της ροής, ενώ το  $\text{Mg}^{2+}$  σημειώνει σχετική σταδιακή αύξηση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι προς το τέλος της ροής του ποταμού η αναλογία των συγκεντρώσεων  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Ca}^{2+}$  προσεγγίζει το 1:1 (ο λόγος  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  πλησιάζει τη μονάδα). Το παραπάνω γεγονός είναι απόρροια της

επίδρασης στο χημισμό του Μέλانا των σχηματισμών με έντονο το μαγνησιούχο στοιχείο (κυρίως υπερβασικών σχηματισμών και δευτερευόντως δολομιτικών) που βρίσκονται στα βόρεια περιθώρια του Κωπαιδικού πεδίου, συμφωνώντας και παλαιότερες απόψεις ερευνητών (Griffiths et al., 2002). Το K<sup>+</sup> παρουσιάζει μικρή αύξηση της συγκέντρωσης του, ενώ το Na<sup>+</sup> ύστερα από μια μικρή ελάττωση που παρουσιάζεται από την αρχή προς το μέσο ροής του ποταμού, παρουσιάζει σημαντική αύξηση στα δυο τελευταία υδροσημεία ( Στο M5 καταγράφεται άνοδος 265% σε σχέση με το M1).

Όσον αφορά τα ανιόντα, η υψηλότερη τιμή για το NO<sub>3</sub><sup>-</sup> καταγράφεται στην αρχή του Μέλانا στο σημείο M1(19,5ppm) και στη συνέχεια φθίνει κατά τη ροή του, διατηρούμενη σε χαμηλά επίπεδα, δείγμα της περιορισμένης επίδρασης που ασκούν οι αγροτικές δραστηριότητες της περιοχής. Η αρχική τιμή των 19,5ppm θεωρείται αυξημένη σε σχέση με το αναμενόμενο, δεδομένου ότι είναι πολύ κοντά στις πηγές Χαρίτων που τροφοδοτούν το ποτάμι και δεν μεσολαβεί κάποιοι ενδιάμεσοι παράγοντες ποιοτικής αλλοίωσης. Σύμφωνα με τους Παγούνη κ.α. (1994) πραγματοποιείται μερική τροφοδοσία των πηγών Χαρίτων από τις διηθήσεις του μέσου ρου του Βοιωτικού Κηφισού, οι οποίες διατρέχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις και ενδεχομένως είναι επιβαρημένες από νιτρικά ιόντα. Από τα υπόλοιπα ανιόντα, τα νιτρώδη παραμένουν πρακτικά μηδενικά, ενώ οι τιμές των SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>·PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> και Cl<sup>-</sup> διατηρούνται χαμηλές, με μια ελαφρά αύξηση των θεικών στα τέλος της ροής., ενώ το HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> αυξάνεται συνεχώς κατά τη ροή και ελαττώνεται απότομα στο τέλος του Μέλانا στο σημείο M5 (162ppm). Τα ιχνοστοιχεία δεν παρουσιάζουν κάποια αξιοσημείωτη διακύμανση, με εξαίρεση ίσως τα δείγματα M3 και M4. Το M3 εμφανίζει την υψηλότερη τιμή Fe (74ppb) και Cd (3ppb), ενώ στο M4 καταγράφεται τοπική αύξηση στο Mn (46ppb). Οι τιμές της αγωγιμότητας και των ολικών διαλυμένων στερεών ελαττώνονται διαρκώς και φθάνουν στο τέλος του ποταμού στα 2/3 της αρχικής του τιμής, ενώ το pH παραμένει σταθερό (8,1-8,3). Τέλος, το BOD<sub>5</sub> και το COD παρουσιάζουν μια σταθερότητα (για το M2 δεν υπάρχουν στοιχεία) η οποία όμως διακόπτεται απότομα στο τέλος (σημείο M5), όπου το νερό πλέον δεν έχει ροή (είναι λιμνάζον) και φθάνει τις υψηλότερες τιμές (BOD<sub>5</sub>=11,4 & COD=72,5). Η εικόνα αυτή, ιδιαίτερα η αυξημένη τιμή του COD κάνει σαφή την έντονη ποιοτική υποβάθμιση στο συγκεκριμένο σημείο του αποδέκτη, ιδιαίτερα από μη βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις, που έχουν ανθρωπογενή προέλευση.

### 3.3 Έρκυνα

Η επιλογή της διερεύνησης του παραπόταμου Έρκυνα έγινε επειδή αποτελεί τον τελικό αποδέκτη των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της Λιβαδειάς.. Εκτός αυτού, η ροή του ευρίσκεται παράπλευρα διαφόρων μονάδων επεξεργασίας (κλωστοϋφαντουργίες κτλ), ενώ παράλληλα διαπιστώθηκε από τις εργασίες πεδίου η κατάληξη στον αποδέκτη τουλάχιστον 3-4 αγωγών, αγνώστου προέλευσης και φορτίου. Για όλους αυτούς τους λόγους, είναι σαφές ότι έπρεπε να διερευνηθεί η επιβάρυνση του, δεδομένου ότι καταλήγει στον Β. Κηφισό. Τα κατιόντα (Ca<sup>2+</sup>,Mg<sup>2+</sup>,K<sup>+</sup>) διατηρούνται σχεδόν σταθερές τις αρχικές τους τιμές (86,12 και 3ppm αντίστοιχα) εκτός από το Na<sup>2+</sup> που παρουσιάζει μια αύξηση στο μέσο (54ppm στο EPK2) και μετά ελαττώνεται ξανά. Όσον αφορά τα ανιόντα, τα νιτρικά (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) έχουν χαμηλές τιμές (0-12ppm), όπως και τα SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Η επίδραση των αστικών λυμάτων φαίνεται στις αυξημένες τιμές PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, που φθάνουν μέχρι και τα 2,6ppm. Στις αναλύσεις των δειγμάτων για ιχνοστοιχεία ανιχνευτήκαν περιεκτικότητες Cr (1-7ppb) και σε κάποια δείγματα Cd (2ppb) και Pb(1ppb), ενώ υψηλή τιμή Fe παρουσιάζει το πρώτο σημείο δειγματοληψίας (219ppb) που όμως δεν διατηρείται στη συνέχεια και συνεπώς μας οδηγεί σε κάποια σημειακή πηγή ρύπανσης. Αποκλίσεις από τις υπόλοιπες τιμές προέκυψαν επίσης και για το Mn, 38 και 29 ppb αντίστοιχα για το EPK1 και EPK2. Το CND και το TDS διατηρούνται σε υψηλές τιμές για ποτάμιο αποδέκτη, ενώ το pH σημειώνει άνοδο στο EPK2 (8,4 από 8,1), δεδομένης της πολύ μικρής απόστασης των δυο σημείων. Τέλος, η επίδραση των λυμάτων φαίνεται και στις αυξημένες τιμές BOD<sub>5</sub> και COD, οι οποίες εμφανίζουν μια ελαφρά κάμψη στο μεσαίο σημείο δειγματοληψίας, αλλά παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους στο EPK3, με σημαντική πάλι διαφορά μεταξύ βιοαποικοδομήσιμων και μη οργανικών ενώσεων.

Να σημειωθεί, ότι εκτός των γνωστών επιβαρύνσεων του παραπόταμου που αναπτύχθηκαν παραπάνω, καταλήγουν σε αυτόν αγωγοί όπως ελέχθη που είναι δύσκολο να εντοπιστούν και να γίνει γνωστό το φορτίο τους. Συνεπώς η εκτίμηση των οχλήσεων είναι αρκετά δύσκολη στον συγκεκριμένο αποδέκτη και μπορεί να γίνει μόνο σε μια γενικότερη βάση, καθώς είναι δύσκολη η ακριβής χωρική τοποθέτηση των ρυπογόνων πηγών.

### 3.4 Αρδευτικά κανάλια

Τα K1 και K2 είναι τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα (μαζί με την εσωτερική τάφρο) αρδευτικά κανάλια-τάφροι του Κωπαιδικού πεδίου, συνεπώς έχουν μεγάλη σπουδαιότητα, όπως και το K3, που αποτελεί τον αποδέκτη ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων από την πόλη του Αλιάρτου και λυμάτων από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τοματοπολτού που εδράζονται στην περιοχή. Η ποιοτική κατάσταση των υδάτων των K1 & K2 είναι ικανοποιητική, χωρίς να υπάρχουν τιμές παραμέτρων κοντά στα ανώτατα όρια, πλην του Cd (3 & 4ppb) που προσεγγίζει το ανώτατη επιτρεπτή (5ppb) τιμή της 98/83/ΕΚ. Τα BOD5 και COD, διατηρούνται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα και το pH αλκαλικό (8,2). Όσον αφορά το K3, οι συγκεντρώσεις των χημικών παραμέτρων του εμφανίζουν αποκλίσεις από τα υπόλοιπα αρδευτικά κανάλια. Συγκεκριμένα καταγράφονται υψηλότερες τιμές για το Na<sup>+</sup> (51ppm), Cl<sup>-</sup> (62ppm), Fe (79ppb), K<sup>+</sup> (41ppm) και ιδιαίτερα αυξημένες για τα PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (6,2ppm), που βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια (98/83/ΕΚ). Οι παραπάνω υψηλές συγκεντρώσεις, δικαιολογούνται και από το αυξημένο TDS και CND, καθώς και από τις υψηλές τιμές BOD5 και COD, με τη διαφορά όμως ότι είναι ο μόνος αποδέκτης με υψηλότερο το BOD5, προφανώς λόγω της φύσης του οργανικού φορτίου, που προέρχεται κυρίως από την επεξεργασία φυτικών προϊόντων.

## 4. Σταθερά ισότοπα

Τα σταθερά ισότοπα υδρογόνου και οξυγόνου (2H ή D και 18O) έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές (Leontiadis I.L. & Nikolaou E., 1999; Kelepertsis et al., 2001; Griffiths et al., 2002; Marfia et al., 2004; Zhu et al., 2007), για την διερεύνηση της προέλευσης του υπόγειου και επιφανειακού νερού καθώς και για τις διεργασίες που το επηρεάζουν.

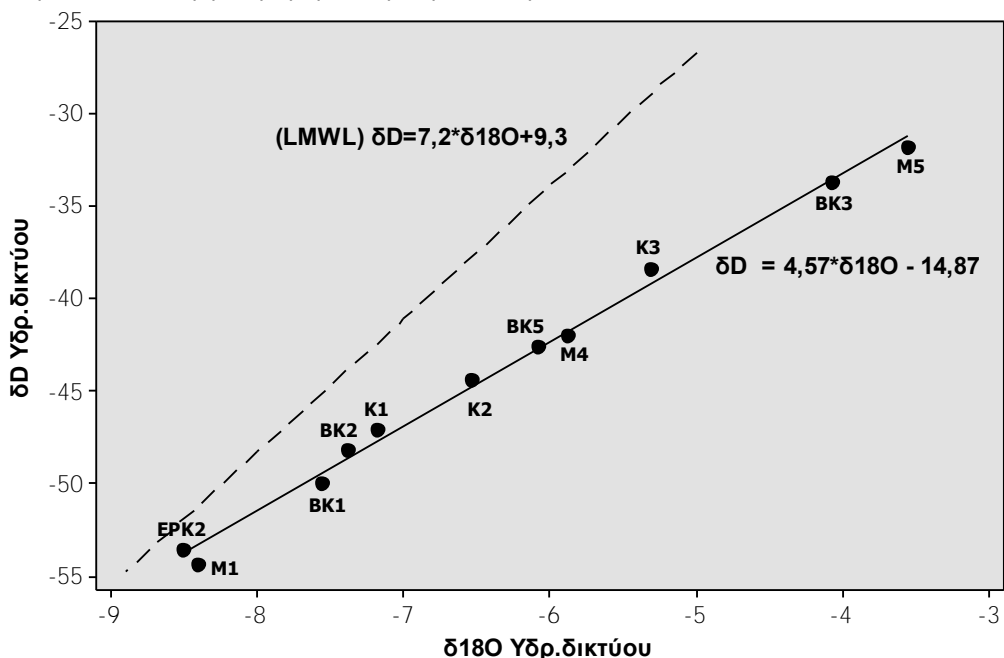
Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ισοτοπική ανάλυση σε 11 δείγματα και με βάση τη διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων τους (σχήμα 5), σχεδιάστηκε η γραμμή παλινδρόμησης  $\delta D = 4,57 \cdot \delta 18O - 14,87$  (1). Ως μέτρο σύγκρισης για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η γενική μετεωρική γραμμή για την Ελλάδα  $\delta D = 7,2 \cdot \delta 18O + 9,3$  (2) (I.A.E.A., 1981; Leontiadis & Nikolaou, 1999) που λαμβάνεται, λόγω έλλειψης τοπικών δεδομένων, ως τοπική μετεωρική γραμμή (LMWL).

Η κλίση (α) της ευθείας παλινδρόμησης (μορφή  $y = ax + b$ ) που σχηματίζεται από τα ζεύγη τιμών  $\delta D - \delta 18O$ , παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τις συνθήκες που επικρατούν στους υδατικούς αποδέκτες. Σύμφωνα με τους Craig, (1961), Craig et al. (1963) και Ehhalt et al. (1963), μια κλίση μεταξύ 4-6 είναι χαρακτηριστική για νερά τα οποία προέρχονται από συνθήκες έντονης εξάτμισης σε σχέση με την ανανέωση τους, γεγονός που υφίσταται και στο υδρογραφικό δίκτυο της Κωπαϊδας με βάση την τιμή της α ( $a = 4,57$ ). Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από την τιμή της παραμέτρου β (d-excess), καθώς τιμές μικρότερες του 10 ( $\beta = -14,87$ ) υποδηλώνουν έντονη εξάτμιση, ειδικά σε επιφανειακούς αποδέκτες (Zimmerman et al., 1967).

Αναλυτικότερα, η ισοτοπική αναλογία των σημείων δειγματοληψίας του Β. Κηφισού, δείχνει έναν προδευτικό εμπλουτισμό σε βαρύτερα ισότοπα, κυρίως λόγω του φαινομένου της εξάτμισης που περιγράφηκε, με εξαίρεση το σημείο BK3 που παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την LMWL και ανακολουθία σε σχέση με τις τιμές των υπόλοιπων σημείων του αποδέκτη. Η διαφορά αυτή οφείλεται σίγουρα σε πρόσθετες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Δεδομένου ότι αποκλείεται η τροφοδοσία του αποδέκτη από διαφορετικές πηγές και ότι η υδραυλική επικοινωνία με τον υπόγειο καρστικό υδροφόρο δεν υφίσταται (Παγούνης κ.α.

1994), η αιτία της απόκλισης ενδεχομένως οφείλεται σε άλλες διεργασίες, όπως αυτή της ισοτοπικής ανταλλαγής λόγω εξαλλοίωσης πυριτικών ορυκτών (Κ-ούχος άστριος, βιοτίτης κτλ) σε χαμηλές θερμοκρασίες (Drever, 1997).

Παρόμοια απόκλιση παρατηρείται και για το σημείο M5 του Μέλανα, στον οποίο καταγράφεται σταδιακός ισοτοπικός εμπλουτισμός κατά τη φορά ροής του, με μέγιστη τιμή αυτή του M5. Προφανώς όμως τα κυρίαρχα αίτια αυτής της μεταβολής είναι διαφορετικά από του BK3, καθώς στο σημείο M5 τα νερά του αποδέκτη είναι λιμνάζοντα, με μηδενική ταχύτητα και συνεπώς εντονότερες συνθήκες εξάτμισης. Το ζεύγος τιμών του μοναδικού σημείου που ελήφθη από την Έρκυνα δείχνει καθαρά την μετεωρική προέλευση του νερού, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στη LMWL. Τέλος, τα αρδευτικά κανάλια, παρουσιάζουν και αυτά έντονες συνθήκες εξάτμισης, ιδίως το K3, το οποίο προφανώς λόγω μικρότερης διατομής και όγκου υδάτων εμφανίζει μεγαλύτερο εμπλουτισμό.



Σχήμα 5. Διάγραμμα απεικόνισης σταθερών ισοτόπων με την προσθήκη της τοπικής μετεωρικής γραμμής (LMWL) και της γραμμής παλινδρόμησης για τα 11 σημεία υδροληψίας

## 5. Συμπεράσματα

Τα υδατικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου της Κωπαΐδας βρίσκονται σε ικανοποιητικό επίπεδο, δεδομένου ότι σχεδόν στο σύνολο των συγκεντρώσεων των φυσικοχημικών παραμέτρων που εξετάστηκαν, δεν παρουσιάστηκαν τιμές πέραν των ανώτατων ορίων που έχουν θεσπιστεί από την οδηγία 98/83/ΕΚ. Δεν παρατηρήθηκαν αξιόλογες εποχιακές μεταβολές, ενώ ιδιαίτερα σημαντική είναι η έλλειψη επιβάρυνσης του δικτύου από παραμέτρους (κυρίως από NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) που σχετίζονται με τις έντονες γεωργικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή. Τοπικά διαπιστώθηκαν κάποιες οχλήσεις που είναι συνδεδεμένες με ανθρωπογενείς δραστηριότητες (επεξεργασμένα αστικά και βιομηχανικά λύματα), αλλά σε καμία περίπτωση δεν επηρεάζουν τους κύριους αποδέκτες που είναι ο Βοιωτικός Κηφισός και η κατάληξη του (λίμνη Υλίκη). Οι ισοτοπικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι τα νερά του φυσικού και τεχνητού υδρογραφικού δικτύου

βρίσκονται υπό καθεστώς έντονης εξάτμισης, αφού παρουσιάζουν σταδιακό εμπλουτισμό σε βαρέα ισότοπα (D και <sup>18</sup>O), ο οποίος όμως συμπληρωματικά ενδεχομένως να οφείλεται και σε άλλες δευτερογενείς διεργασίες, (ισοτοπική ανταλλαγή λόγω εξαλλοίωσης πυριτικών ορυκτών)

## Βιβλιογραφία

Αλμπαντάκης Ν., Κούνδουρος Δ., 1984: Ανίχνευση και εντοπισμός Fe-Ni-ούχων κοιτασμάτων στην Κωπαΐδα με γεωμαγνητική μέθοδο και γεωτρήσεις. Ορυκτός πλούτος, 32/1984.

Ανδρεαδάκης Α., 2003: Περιβαλλοντική τεχνολογία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Δάνδολος Η., 2002: Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνώρισης και καταγραφής των υδρευτικών υποδομών δήμου Ακραιφνίου, Ν. Βοιωτίας. Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα

Κουμαντάκης Ι., 1968: Συμβολή εις την γνώσιν της γεωλογίας της επαρχίας Θηβων. Αθήνα, 1968. Διατριβή επί διδασκαλία.

Παγούνης Μ., Γκερτσος Θ., Γκατζογιάννης Α., 1994: Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Βοιωτικού Κηφισού. Έκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Παπαγιανόπουλος Α., Λέτσιος Α., 1971: Υδρογεωλογική μελέτη Κωπαιδικού πεδίου και Βοιωτικού Κηφισού. Υπουργείο Γεωργίας., ΥΕΒ.

Παπαδοπούλου Κ.Α., 1990: Γεωμορφολογική μελέτη της περιοχής Κωπαΐδας (Βοιωτία). Αθήνα, 1990. Διδακτορική διατριβή.

Παπαδοπούλου Κ.Α., 1987: Η τυφλή κοιλάδα του Μέλανα ποταμού. Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου.

Παπαδοπούλου Κ.Α., Γκουρνέλλος Θ., 1993: Ποσοτική ανάλυση των σπηλαιοκαταβοθρών της πρώην λίμνης Κωπαΐδας (Βοιωτία). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου.

Allen H.D., 1986: Late Quaternary of the Kopais basin, Greece. Sedimentary and environmental history. PhD Thesis. University of Cambridge, Cambridge, 282pp.

Craig H., 1961: Isotopic variations in meteoric waters. Science. 133, 1702-1703.

Craig H., Gordon L.I., Horibe Y., 1963: Isotopic exchange effects in the evaporation of water: Low temperature experimental results. Journal of Geophysics. Elsevier. 58, 5079-5087

Drever J., 1997: The geochemistry of natural waters. 3rd edition Prentice Hall, USA.

EC (1998): Council Directive (98/83/EC) on the quality of intended for human consumption. Offic J Eur Commun, L 330.

Ehhalt D., Knott K., Nagel J.F., Vogel J.C., (1963): Deuterium and Oxygen 18 in rainwater. Journal of Geophysics. Elsevier. 68, 3775-3780.

Griffiths S.J., Street-Payrote A.F., Holmes J.A., Leng M.J., Tzedakis C., 2002: Chemical and isotopic composition of modern water bodies in the lake Kopais Basin, central Greece. Analogues for the interpretation of the lacustrine sedimentary sequence. Sedimentary Geology. Elsevier. 148, 79-103.

International Atomic Energy Agency (IAEA), 1981: Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation. IAEA technical report 206, IAEA, Vienna.



Kelepertsis A., Alexakis D., Kita I., 2001: Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos. *Environmental Geochemistry and Health*. Kluwer Academic Publishers. 23, 117-135.

Leontiadis I.L., Nikolaou E., 1999: Environmental isotopes in determining groundwater flow systems, northern part of Epirus, Greece. *Hydrogeology Journal*. Springer-Verlag. 7, 219-226.

Marfia A.M., Krishnamurthy R.V., Atekwana E.A., Panton W.F., 2003: Isotopic and geochemical evolution and surface waters in a karst dominated geological setting: a case study from Belize, Central America. *Applied Geochemistry*. Elsevier. 19, 937-946.

Stumm W., Morgan J.J., 1996: *Aquatic chemistry: Chemical equilibria and rates in natural waters*. 3d edition. Wiley Interscience, New York.

Zhu G.F., Li Z.Z., Su Y.H., Ma J.Z., Zhang Y.Y., 2007: Hydrogeochemical and isotope evidence of groundwater evolution and recharge in Minqin Basin, northwest China. *Journal of Hydrology*. Elsevier. 333, 239-251.

Zimmerman U., Munnich K.O., Rotter W., 1967: Downward movement of soil moisture traced by means of hydrogen isotopes. *American Geophysical Union* 11, Monography.

## ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΧΩΡΑΣ-ΜΕΣΟΚΑΜΠΟΥ (ΝΑ ΣΑΜΟΣ) ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ, ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Τζιρίτης Ε., Κελεπερτζής Α., Σταματάκης Μ.

*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Οικ.Γεωλογίας-Γεωχημείας*

### Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι η συνδυαστική χρήση δεικτών υδατικής ποιότητας (συντελεστής Revelle και δείκτης ρύπανσης), γεωστατιστικών μεθόδων (παραγοντική ανάλυση R-τύπου, ανάλυση συμπλέγματος και ανάλυση συσχέτισης) και γεωλογικών παραμέτρων, για την εκτίμηση της ρύπανσης στην περιοχή της ΝΑ Σάμου και τον προσδιορισμό των κύριων παραγόντων διαμόρφωσης χημισμού του υπόγειου υδατικού δυναμικού. Ως βάση χρησιμοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις 21 υδροσημείων, που περιλάμβαναν ποσοτικές μετρήσεις σε 79 παραμέτρους (κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία, ιόντα και φυσικοχημικές παράμετροι). Τα συνδυαστικά αποτελέσματα αναδεικνύουν την σχετικά μέτρια ποιοτική κατάσταση του υπόγειου νερού, κυρίως λόγω του φαινομένου της υπαλμύρινσης που διαπιστώθηκε και των κατά τόπους υψηλών τιμών As που κυμαίνονται από 1-40ppb, ενώ σχεδόν το 1/3 (29%) των τιμών βρίσκεται πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο της οδηγίας 98/83/ΕΚ. Στις βασικές αυτές παραμέτρους ρύπανσης θα πρέπει να προστεθούν και οι αυξημένες σε ορισμένα δείγματα (5) συγκεντρώσεις NO<sub>3</sub> (25-40ppm), οι οποίες παρόλο που δεν ξεπερνούν το ανώτατο επιτρεπτό όριο, σηματοδοτούν την ανθρωπογενή επίδραση στην περιοχή μέσω της χρήσης νιτρικών λιπασμάτων και φανερώνουν τις τάσεις διεύρυνσης του φαινομένου.

### HYDROGEOCHEMICAL AND ENVIRONMENTAL STUDY OF THE NEOGENE GROUNDWATER BASINS OF CHORA-MESOKAMPOS (SE SAMOS ISLAND) WITH THE COMBINATIONAL USE OF QUALITY INDICES, GEOSTATISTICAL METHODS AND GEOLOGICAL PARAMETERS

Tziritis E., Kelepertzis A., Stamatakis M.

*University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment,  
Department of Economic Geology and Geochemistry*

### Abstract

The aim of the present study is the combinational usage of water quality indexes (Revelle coefficient and contamination factor), geostatistical methods (R-mode factor analysis, cluster analysis and correlation analysis) and geological parameters for the assessment of contamination in the SE part of Samos Island. As a base for this purpose, a sum of 21 water samples was used, which embraced the quantitative determination of 79 parameters (major and trace elements, ions and physicochemical parameters). The combinational results show the mediocre quality status of groundwater, mainly due to the fact of salinization and the high values of As which vary between 1-40ppb, with almost the 1/3 of the samples above the proposed upper limit of 98/83/EU directive. In these major contaminant factors must be also added the relatively high values of NO<sub>3</sub> (25-40ppm) of some samples, despite the fact that none of their values is beyond the upper limit, but in any case their concentrations express the extensive usage of fertilizers in the area and the

possible expansion of this process.

**Λέξεις κλειδιά:** υδρογεωχημεία, περιβάλλον, γεωστατιστικές μέθοδοι, δείκτης ρύπανσης, Σάμος.

**Key words:** hydrogeochemistry, environment, geostatistical methods, contamination factor, Samos.

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσης εργασίας είναι αφενός η εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασης του υπογείου υδατικού δυναμικού της περιοχής και αφετέρου ο καθορισμός των παραγόντων που διαμορφώνουν τις υδρογεωχημικές συνθήκες σε αυτό, μέσω του συνδυασμού των τοπικών γεωλογικών παραγόντων, δεικτών υδατικής ποιότητας και γεωστατιστικών μεθόδων. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Πυθαγόρας II, που συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και Εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ II) και περιλαμβάνει τη διερεύνηση της ποιητικής κατάστασης των υπογείων υδάτων της νήσου Σάμου και την ενδεχόμενη συσχέτιση αυξημένων τιμών ευδιάλυτων αλάτων με πιθανές αποθέσεις βιομηχανικών ορυκτών.

### 1.2 Γεωμορφολογία-Γεωλογία

Η περιοχή μελέτης (σχήμα 2) βρίσκεται στο ΝΑ τμήμα της νήσου Σάμου και περιλαμβάνει δυο επί μέρους υπολεκάνες (Χώρας και Μεσοκάμπου) με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, που αποτελούν τμήμα της ευρύτερης Νεογενούς λεκάνης των Μυτιληνίων. Το υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένους σχηματισμούς (μάρμαρα, χαλαζίτες, φυλλίτες, μεταμορφωμένα βασικά και υπερβασικά πετρώματα) οι οποίοι ανήκουν σ' ένα τεκτονισμένο σύστημα τεσσάρων διαφορετικών ενοτήτων, όπου πάνω σε αυτό βρίσκεται επωθημένο το αλλόχθονο αμεταμόρφωτο κάλυμμα (Papanikolaou, 1979). Η ακολουθία συνεχίζει με τις Νεογενείς αποθέσεις που περιλαμβάνουν διαδοχικά κροκαλοπαγή, λιμναία ανθρακικά, τόφφους και τοφφίτες, χειμαρρώδεις και χερσαίες αποθέσεις και τέλος το ανώτερο μέλος της σειράς που αποτελείται από τραβερτινοειδείς ασβεστολίθους, μάργες, αργίλους και τόφφους του Πλειοκαινού (Meissner, 1976; Θεοδωρόπουλος, 1979; Σταματάκης & Ζαγκούρογλου, 1984; Σταματάκης, 1986; Καμμάς, 1998).

Η τεκτονική δομή της νήσου κυριαρχείται από εφαπτομενικές κινήσεις στην λογική της τοποθέτησης καλυμμάτων (Angelier, 1976). Πέραν αυτού χαρακτηρίζεται από νεοτεκτονικά επεισόδια, τόσο πλαστικής παραμόρφωσης, με δημιουργία ισοκλινών πτυχών διαφόρων διευθύνσεων (Καμμάς, 1998) όσο και θραυσίγονους με κύρια διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, που έλαβε χώρα κυρίως στο Πλειο-Τεταρτογενές και συνέβαλε στον εγκάρσιο τεμαχισμό των Νεογενών λεκανών (Angelier, 1976).

Όσον αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, αξιόλογη υδροφορία αναπτύσσεται εντός των προ-Νεογενών ανθρακικών σχηματισμών του υποβάθρου, ενώ στα Νεογενή, η ανώτερη σειρά των τραβερτινοειδών ασβεστολίθων λιμναίας φάσης εμφανίζει σημαντική υδροφορία (Καμμάς, 1998). Οι υπόλοιποι σχηματισμοί, παρουσιάζουν μεταβλητές συνθήκες, συνήθως μη ευνοϊκές, λόγω κυρίως της αυξημένης συμμετοχής των αργιλικών ορυκτών.

## 2. Μεθοδολογία

### 2.1 Δειγματοληψία και χημικές αναλύσεις

Συλλέχθηκαν 21 δείγματα νερού από υδρογεωτρήσεις, πηγές και φρέατα, από την περιοχή που απεικονίζεται στο σχήμα 2. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Ιουλίου-Αυγούστου του 2004, προσομοιάζοντας το δυνατόν συνθήκες χαμηλής στάθμης. Κατά τη διάρκεια την δειγματοληψίας ελήφθησαν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την

αποφυγή μολύνσεων των δειγμάτων. Επί τόπου προσδιορίστηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι pH, TDS, EC και θερμοκρασία (με τη βοήθεια αγωγιμέτρου της Hach) ενώ η συλλογή και αποθήκευση των δειγμάτων έγινε σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου των 1000ml, τα οποία διατηρήθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία. Έπειτα τα δείγματα διηθήθηκαν με τη βοήθεια αντλίας κενού και ηθμού διαμέτρου 0,45μm, ενώ μέρος αυτών οξυνίστηκε με την προσθήκη 0,5ml πυκνού HNO<sub>3</sub> προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάλυση για ιχνοστοιχεία.

Συνολικά αναλύθηκαν 79 κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία, ιόντα και φυσικοχημικές παράμετροι. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια του τομέα Οικονομικής Γεωλογίας-Γεωχημείας του ΕΚΠΑ και στα εργαστήρια ACME Analytical Laboratories – Canada. Αναλυτικότερα προσδιορίστηκαν:

με τη χρήση (ICP/MS) τα στοιχεία: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, In, Ir, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, Os, P, Pb, Pd, Pt, Rb, Re, Rh, S, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Zr, Zn, Zr

με φασματοφωτόμετρο DR/4000 της Hach τα ανιόντα: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

με τιτλοδότηση μέσω συσκευής της Hach τα όξινα ανθρακικά ιόντα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των σημαντικότερων χημικών παραμέτρων απεικονίζονται στον πίνακα 1.

## 2.2 Επεξεργασία υδρογεωχημικών δεδομένων

Η ποιοτική κατάσταση του υδατικού δυναμικού μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση/υπολογισμό δεικτών, που εξετάζουν ένα ευρύ φάσμα παραμέτρων. Η χρήση των ποιοτικών δεικτών σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα δεδομένα της εκάστοτε περιοχής μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό οδηγό στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Ο δείκτης ρύπανσης (Contamination Factor) αποτελεί μια ποσοτική εκτίμηση της επιβάρυνσης (υψηλών τιμών) στοιχείων-ενώσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις μετρούμενες τιμές τους και τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για αυτές (Bacham et al., 1997).

$$\text{Ορίζεται ως ο λόγος } C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (1) \text{ και } C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \quad (2)$$

(Rapant et al., 1995),

όπου: C<sub>fi</sub> =παράγοντας ρύπανσης του i συστατικού, C<sub>Ai</sub> = αναλυτική τιμή i συστατικού και C<sub>Ni</sub> = ανώτατο επιτρεπτό όριο του i συστατικού. Η διαδικασία υπολογισμού περιλαμβάνει το ξεχωριστό, για κάθε δείγμα, άθροισμα των παραγόντων ρύπανσης (C<sub>fi</sub>) που ξεπερνούν τα ανώτατα όρια. Συνεπώς, ο C<sub>d</sub> συνυπολογίζει αθροιστικά τις αρνητικές επιπτώσεις διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων, που είναι σε επικίνδυνες συγκεντρώσεις, και παίρνει τιμές σε μια κλίμακα τριών τάξεων, C<sub>d</sub> <1 (χαμηλή ρύπανση), C<sub>d</sub> =1-3 (μέτρια ρύπανση) και C<sub>d</sub> > 3 (υψηλή ρύπανση) (Rapant et al., 1995). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του δείκτη ρύπανσης (C<sub>d</sub>) για την περιοχή μελέτης, καθώς και οι κύριοι παράγοντες ρύπανσης (C<sub>fi</sub>) φαίνονται στον πίνακα 3.

Ο συντελεστής Revelle (R) αποτελεί επίσης κριτήριο εκτίμησης της ρύπανσης του υπόγειου νερού. Ο υπολογισμός του γίνεται με βάση τον ιοντικό λόγο Cl/(CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) (3) σε meq/l (Revelle, 1941). Αρχικά ο συντελεστής επινοήθηκε για την εκτίμηση της θαλάσσιας διείσδυσης, όμως δεδομένου ότι η συγκέντρωση του Cl μπορεί να αυξηθεί και λόγω ανθρωπογενούς ρύπανσης, πρέπει να θεωρείται σαν γενικότερο κριτήριο, λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Οι γεωστατιστικές μέθοδοι είναι χρήσιμα εργαλεία διερεύνησης συνθηκών και διεργασιών, με τη βοήθεια μαθηματικών υπολογισμών και μοντελοποιήσεων. Σε κάθε περίπτωση η μονομερής χρήση τους χωρίς τον συνυπολογισμό των ιδιαίτερων συνθηκών της περιοχής (γεωλογία, υδρογεωλογία κτλ) είναι επισφαλής, καθώς πολλές φορές τα εξαγόμενα αποτελέσματα μπορεί να είναι προϊόν μαθηματικού λογισμού και όχι κάποιας γεωχημικής διεργασίας. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης συσχέτισης (Correlation Analysis) και οι πολυπαραμετρικές μέθοδοι της παραγοντικής ανάλυσης τύπου R (R-mode Factor Analysis) καθώς και η ανάλυση συμπλέγματος (Cluster Analysis). Η επεξεργασία έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου MINITAB® Statistical Software v.14.1, Minitab Inc.

Στην ανάλυση συσχέτισης διερευνάται ο βαθμός διασύνδεσης δυο μεταβλητών με τη βοήθεια του συντελεστή συσχέτισης (Pearson correlation coefficient - r). Τιμές του r πλησίον της μονάδας υποδηλώνουν μέγιστη συσχέτιση και το πρόσημο χαρακτηρίζει αν αυτή είναι θετική ή αρνητική (Drever, 1997). Η ανάλυση που προκύπτει από τη χρήση πολυπαραμετρικών μεθόδων είναι μια τεχνική διαχείρισης, απλοποίησης και εκτίμησης βάσεων δεδομένων, με απώτερο σκοπό την εξαγωγή-βαθμονόμηση σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών τις απαρτίζουν και την τελική αξιολόγηση της συνεισφοράς τους σε ένα ενιαίο πολυπαραγοντικό γεγονός (π.χ. το χημισμό ενός δείγματος νερού). Οι δυο βασικές μέθοδοι πολυπαραμετρικής ανάλυσης είναι η ανάλυση συμπλέγματος (Cluster Analysis) και η ανάλυση παραγόντων (Factor Analysis), που ανάλογα με το αν εξετάζουν τη συσχέτιση των δειγμάτων ή των μεταβλητών τους, ονομάζονται Q-mode και R-mode αντίστοιχα (Davis, 1984; Reghunath et al., 2002).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση συμπλέγματος για την εξαγωγή διακριτών συσχετίσεων μεταξύ των 21 σημείων δειγματοληψίας. Η πραγματοποίηση της έγινε με την τεχνική του δυαδικού ιεραρχικού δέντρου, βασισμένη στην Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των δειγμάτων. Τα δεδομένα προηγούμενης κανονικοποιήθηκαν μέσω της σχέσης  $K_{ij} = (X_{ij} - X) / S_{ic}$  (4), όπου  $K_{ij}$  η κανονικοποιημένη τιμή του δείγματος  $X_i$ , της  $i$ -παραμέτρου για

το  $j$ -δείγμα,  $X$  είναι ο αριθμητικός μέσος της  $i$ -παραμέτρου και  $S_{ic}$  η τυπική της απόκλιση (Hussein, 2003). Η εν λόγω διαδικασία δίνει ίδιο βάρος σε κάθε μια παράμετρο. Το μέτρο της συσχέτισης δυο δειγμάτων  $d_{ij}$  καθορίζεται με βάση την Ευκλείδεια απόσταση (Eriksson, 1985)

$$\text{μέσω του τύπου: } d_{ij} = \left[ \sum_{i=1}^N (K_{ij} - K_{ik})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Όπου  $K_{ik}$  η  $K$ -μεταβλητή που μετρήθηκε για το  $i$ -δείγμα και  $K_{ij}$  η  $K$ -μεταβλητή που μετρήθηκε για το  $j$ -δείγμα.

Ο βασικός στόχος της παραγοντικής ανάλυσης R-τύπου είναι ο καθορισμός παραγόντων, μικρών σε αριθμό, που θα εξηγούν τη διακύμανση ενός μεγάλου αριθμού δεδομένων και μεταβλητών. Ο κάθε παράγοντας λοιπόν ενώνει διάφορες μεταβλητές και κατ' ουσία τις συνδέει έμμεσα ή άμεσα με κάποια κοινή διαδικασία προέλευσης. Ως τεχνική εξαγωγής παραγόντων εφαρμόστηκε η τεχνική Principal Components Analysis (Davis, 1984), καθώς προσεγγίζει και ερμηνεύει ορθότερα τα εξαγόμενα αποτελέσματα, ακόμα και σε περιπτώσεις μη κανονικής κατανομής των δεδομένων (Brown, 1998), ενώ οι τιμές των φορτίων βελτιστοποιήθηκαν με τη μέθοδο Varimax Rotation. Η επιλογή του τελικού αριθμού των παραγόντων έγινε αφού πρώτα συνεκτιμήθηκαν όλα τα πιθανά σενάρια με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Έτσι λοιπόν η διαδικασία ακολουθήθηκε για 3, 4 και 5 παράγοντες και διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη προσέγγιση επιτυγχάνεται μέσω 4 κύριων παραγόντων.

### 3. Υδρογεωχημικά αποτελέσματα-Συζήτηση

Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (πίνακας 1) παρατηρείται ότι η περιοχή

παρουσιάζει αυξημένες τιμές As που κυμαίνονται από 1-39ppb, ενώ 6 δείγματα (SAM 1,4,6,9,15,19) βρίσκονται πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 10ppb (Οδηγία 98/83/ΕΚ). Αυξημένες επίσης συγκεντρώσεις, στο σύνολο σχεδόν των δειγμάτων παρουσιάζει το Br, το οποίο κυμαίνεται από 51 έως 25319ppb, όπως επίσης και τα νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub>-) τα οποία σε 5 δείγματα (SAM12,13,14,15,21) εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις, που δε ξεπερνούν όμως το όριο των 50ppm (98/83/ΕΚ).

Οι τιμές των υπολοίπων χημικών παραμέτρων βρίσκονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Από τα κύρια κατιόντα οι τιμές του Ca<sup>2+</sup>, σχεδόν στο σύνολο των δειγμάτων, υποδηλώνουν τη επίδραση των ασβεστολιθικών σχηματισμών της περιοχής, ενώ κάποιες (SAM4 και 19) ακραίες τιμές Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> και Na<sup>+</sup> που καταγράφονται σχετίζονται με την θαλάσσια διείσδυση. Το ίδιο συμβαίνει και με τα κύρια ανιόντα, καθώς στα προαναφερθέντα δείγματα σημειώνονται υψηλές τιμές Cl<sup>-</sup> και SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των κυριότερων παραμέτρων στα 21 σημεία υδροληψίας (Γ: γεώτρηση, Π: πηγή, Φ: φρέαρ)

SAM		As	B	Br	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Mo	Na	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	U	Zn
		ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb
1	Γ	13	96	187	172	32	29	66	6	29	4	27	4	69	2	69
2	Π	6	58	74	82	21	7	10	4	36	1	17	6	62	2	24
3	Π	5	58	79	85	25	4	46	4	36	1	22	8	42	2	23
4	Π	20	1802	25319	316	7688	31	647	177	579	5	5138	7	1700	2	93
5	Π	4	94	252	171	75	42	134	4	80	2	44	3	146	2	105
6	Γ	12	137	83	104	21	8	44	1	28	4	14	4	22	1	33
7	Π	3	32	89	136	52	15	396	2	4	1	19	7	45	2	37
8	Π	3	40	115	139	30	5	0	4	5	1	19	19	75	3	16
9	Γ	39	57	93	122	34	8	21	3	6	20	19	10	55	6	52
10	Γ	1	66	89	74	27	3	0	1	28	0	19	10	49	1	23
11	Γ	1	22	51	66	23	3	23	1	18	1	16	7	65	1	39
12	Γ	1	31	129	122	32	8	0	1	7	0	18	40	43	1	45
13	Γ	2	33	85	129	22	11	0	3	11	0	16	30	38	2	21
14	Γ	1	38	113	114	30	26	122	1	21	0	19	34	56	2	77
15	Γ	11	198	462	315	104	38	48	7	26	2	82	35	66	4	134
16	Γ	8	102	118	106	31	10	205	2	26	3	23	7	59	2	30
17	Γ	2	51	192	150	52	7	0	4	12	1	32	18	57	2	33
18	Γ	7	96	532	159	138	41	190	4	30	3	96	5	54	1	80
19	Π	16	965	14379	259	4069	8	0	87	339	3	2771	4	725	2	19
20	Γ	1	72	860	150	266	8	0	4	26	1	136	6	78	1	23
21	Φ	2	67	558	200	162	19	26	2	31	1	59	25	93	2	51

Η παραγοντική ανάλυση (R-mode) που πραγματοποιήθηκε, συμπεριέλαβε τα σημαντικότερα κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία και ιόντα, τα οποία έδειξαν από τις χημικές αναλύσεις αξιοσημείωτο εύρος τιμών. Με βάση τα αποτελέσματα της προέκυψαν 4 παράγοντες (πίνακας 2) που εξηγούν το 88,3% της συνολικής διακύμανσης. Ως υψηλά φορτία θεωρούνται όσα είναι μεγαλύτερα από 0,750, ως μέσα όσο είναι μεταξύ 0,500 και 0,750 και ως ασθενή όσα είναι μεταξύ 0,400 και 0,500 (Panda et al., 2006).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα R-mode παραγοντικής ανάλυσης για τις κυριότερες χημικές παραμέτρους. Οι τιμές που είναι μικρότερες από 0,400 απεικονίζονται ως 0 χάριν απλοποίησης

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Communality
K	<b>0,995</b>	0,000	0,000	0,000	0,997
Cl	<b>0,994</b>	0,000	0,000	0,000	0,995
Na	<b>0,994</b>	0,000	0,000	0,000	0,995
Br	<b>0,992</b>	0,000	0,000	0,000	0,992
SO <sub>4</sub>	<b>0,991</b>	0,000	0,000	0,000	0,990
B	<b>0,989</b>	0,000	0,000	0,000	0,994
Mg	<b>0,980</b>	0,000	0,000	0,000	0,993
Rb	<b>0,907</b>	0,000	0,000	0,000	0,891
Li	<b>0,812</b>	0,000	0,000	<b>-0,433</b>	0,916
Sr	<b>0,744</b>	<b>-0,433</b>	0,000	<b>-0,434</b>	0,929
Fe	<b>0,684</b>	0,000	0,000	0,000	0,499
Ca	<b>0,644</b>	<b>-0,599</b>	0,000	0,000	0,828
Cu	0,000	<b>-0,906</b>	0,000	0,000	0,854
Zn	0,000	<b>-0,885</b>	0,000	0,000	0,890
Ba	0,000	<b>-0,821</b>	0,000	0,000	0,756
Mn	0,000	<b>-0,680</b>	<b>0,674</b>	0,000	0,937
Mo	0,000	0,000	<b>0,925</b>	0,000	0,908
As	0,000	0,000	<b>0,899</b>	0,000	0,975
Si	0,000	0,000	<b>0,599</b>	0,000	0,523
NO <sub>3</sub>	0,000	0,000	0,000	<b>0,848</b>	0,788
<b>Var%</b>	<b>57,4%</b>	<b>19,6%</b>	<b>14,6%</b>	<b>8,4%</b>	<b>100</b>

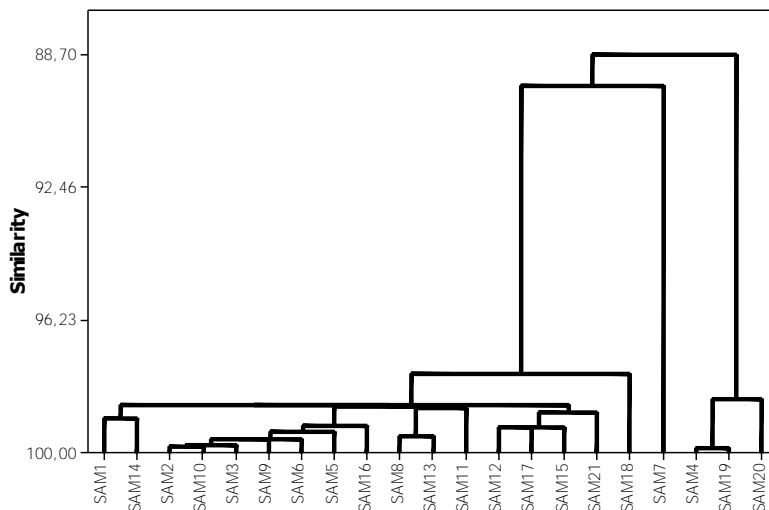
Ο πρώτος παράγοντας, με ποσοστό συμμετοχής 57,7% εμφανίζει υψηλά φορτία (factor loadings) για τις παραμέτρους K,Cl,Na,Br,SO<sub>4</sub>,B,Mg,Rb,Li και μέτρια για Sr,Fe και Ca, σηματοδοτώντας έτσι την συμμετοχή του θαλάσσιου στοιχείου στη διαμόρφωση της ποιότητας του υπόγειου υδροφορέα. Η συνάφεια των παραπάνω παραμέτρων που αποτελούν βασικά συστατικά του χημισμού του υφάλμυρου νερού (Hem, 1985) σε συνδυασμό με τις πολύ υψηλές τιμές EC και TDS που εμφανίζονται σε ορισμένα δείγματα πιστοποιούν την θαλάσσια διείσδυση.

Ο δεύτερος παράγοντας εξηγεί το 19,6% της διακύμανσης και αντανακλά την ύπαρξη θειούχου μεταλλοφορίας με βαρύτη (ισχυρά φορτία για Cu,Zn,Ba) εντός των ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής (μέτριο και ασθενές φορτίο για Ca και Sr αντίστοιχα).

Ο τρίτος έχει ποσοστό συμμετοχής 14,6% και περιλαμβάνει τα στοιχεία Mn,Mo,As,Si με θετικά παραγοντικά φορτία. Ερμηνεύει δε την ύπαρξη της δεύτερης θειούχου μεταλλοφορίας στην περιοχή, μεταξύ αρσενοπυρίτη και μολυβδαινίτη, που βρίσκεται εντός πυριτικών φλεβών.

Ο τέταρτος και τελευταίος παράγων έχει ποσοστό συμμετοχής 8,4% στην τελική διαμόρφωση του χημισμού και εκφράζει την ανθρωπογενή ρύπανση από NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Στην περιοχή Αγιάδων της Χώρας, έχει αναφερθεί και εντοπισθεί απόθεση νιτρικών αλάτων με τη μορφή νίτρου, το οποίο συνοδεύεται από αλίτη (Σταματάκης & Ζαγκούρογλου 1984). Πιθανότατα, η απόθεση αυτή των ευδιάλυτων αλάτων είναι τοπική και δεν φαίνεται να επηρεάζει το υπεδάφικο νερό της περιοχής, όπως προκύπτει και από την ανύπαρκτη συσχέτιση των NO<sub>3</sub> με μια σειρά άλλων ιόντων όπως θειικά, βορικά, φωσφορικά, ιωδιούχα.. Συνεπώς, η προέλευση των NO<sub>3</sub><sup>-</sup> που εμφανίζονται με υψηλό φορτίο στον 4ο παράγοντα πρέπει να προέρχεται αποκλειστικά από την εκτεταμένη χρήση νιτρικών λιπασμάτων, όπως αυτή

διαπιστώθηκε από τις εργασίες υπαίθρου και τις προσωπικές επαφές με τοπικούς φορείς.



Σχήμα 1. Δενδροδιάγραμμα που απεικονίζει τις ομαδοποιήσεις της Cluster Analysis

Με τη βοήθεια της ανάλυσης συμπλέγματος (σχήμα 1), έγινε ομαδοποίηση των σημείων δειγματοληψίας, με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Η διαγραμματική απεικόνιση έδωσε τρεις διαφορετικές ομαδοποιήσεις σημείων. Η πρώτη περιλαμβάνει τα σημεία SAM4, SAM19, SAM20 και δείχνει την επίδραση της υφαλμύρισης. Το γεγονός επιβεβαιώνεται και από τις τιμές του συντελεστή Revelle, αφού οι 2 από τις τρεις είναι  $> 10$ , (SAM4 και SAM20). Η δεύτερη ομάδα δημιουργείται από ένα μοναδικό σημείο που παρεκκλίνει των υπολοίπων (SAM7), προφανώς λόγω της αυξημένης τιμής Fe, ενώ τέλος η τρίτη ομάδα που είναι και η μεγαλύτερη εμπεριέχει τα υπόλοιπα σημεία, με επιμέρους εσωτερικές υποκατηγοριοποιήσεις, που υποδηλώνουν την τοπική επίδραση διάφορων παραγόντων, όπως π.χ. του SAM18 που παρουσιάζει σχετικά αυξημένες τιμές Cl σε σχέση με τις υπόλοιπες (πλην των σημείων με καθαρή υφαλμύριση) και συνεπικουρούμενο από τα αποτελέσματα των λοιπών αναλύσεων μας οδηγεί στην υπόθεση ενός προσεγγίζοντος υφάλμυρου μετώπου, που όπως διαπιστώθηκε βρίσκεται νοτιότερα σε μικρή απόσταση.

Η διεξαγωγή της ανάλυσης συσχέτισης (correlation analysis) που πραγματοποιήθηκε για τις σημαντικότερες παραμέτρους, επιβεβαιώνει πολλά από τα ήδη εξαχθέντα συμπεράσματα. Οι ισχυρές αλληλοσυσχετίσεις των στοιχείων K, Na, Cl, Mg, B, Br, Li, Rb καθιστά σαφή την διείσδυση θαλάσσιου νερού, όπως διατυπώθηκε από την παραγοντική ανάλυση και την ανάλυση συμπλέγματος.

Επιπλέον, οι ισχυρές συσχετίσεις (+0,84 έως +0,94) μεταξύ των στοιχείων Cu-Zn, Mo-As, As-Sb, Mo-Sb και οι μέτριες (+0,71, +0,75) U-Sb και U-Mo, συνηγορούν στην υπόθεση του 2ου και 3ου παράγοντα της R-mode παραγοντικής ανάλυσης περί θειούχου μεταλλοφορίας.

Αξιοσημείωτη είναι και η μη συσχέτιση των NO<sub>3</sub> με κάποια άλλη παράμετρο, γεγονός που ενισχύει την άποψη της ανθρωπογενούς ρύπανσης από τη χρήση λιπασμάτων, καθώς η πιθανή προέλευση των νιτρικών ιόντων από άλλες πηγές (π.χ. αστικά λύματα ή φυσικά επανθήματα λόγω εξάτμισης) θα προϋπόθετε τη συσχέτιση τους με άλλες παραμέτρους. Σύμφωνα με τον Pacheco et al. (2001) η συσχέτιση NO<sub>3</sub>-Cl με τιμές του συντελεστή  $> 0,35$ , υποδηλώνουν κοινή προέλευση των δυο αυτών παραμέτρων από αστικά ή βιομηχανικά απόβλητα, κάτι όμως που δεν συμβαίνει στην περιοχή αφού η συσχέτιση μεταξύ NO<sub>3</sub>-Cl είναι αρνητική (-0,21).



Πίνακας 2. Ανάλυση συσχέτισης για τις κυριότερες παραμέτρους

	As	B	Br	Cl	Cu	K	Li	Mg
As	<b>1,00</b>							
B	0,42	<b>1,00</b>						
Br	0,39	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>					
Cl	0,39	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>				
Cu	0,11	0,22	0,18	0,18	<b>1,00</b>			
K	0,40	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,20	<b>1,00</b>		
Li	0,40	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	0,32	<b>0,84</b>	<b>1,00</b>	
Mg	0,38	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	0,22	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	<b>1,00</b>
Mo	<b>0,94</b>	0,16	0,14	0,14	0,03	0,15	0,16	0,12
Na	0,39	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	0,18	<b>1,00</b>	<b>0,85</b>	<b>0,99</b>
NO <sub>3</sub>	-0,28	-0,21	-0,21	-0,21	0,06	-0,21	-0,42	-0,26
Rb	0,51	<b>0,92</b>	<b>0,91</b>	<b>0,91</b>	0,25	<b>0,92</b>	<b>0,81</b>	<b>0,92</b>
Sb	<b>0,87</b>	0,25	0,20	0,20	0,19	0,23	0,18	0,18
U	<b>0,71</b>	0,00	-0,02	-0,02	0,09	0,00	-0,08	-0,04
Zn	0,22	0,24	0,18	0,19	<b>0,90</b>	0,21	0,26	0,22

Πίνακας 2. (συνέχεια)

	Mo	Na	NO <sub>3</sub>	Rb	Sb	U	Zn
Mo	<b>1,00</b>						
Na	0,14	<b>1,00</b>					
NO <sub>3</sub>	-0,25	-0,21	<b>1,00</b>				
Rb	0,25	<b>0,91</b>	-0,30	<b>1,00</b>			
Sb	<b>0,84</b>	0,20	-0,09	0,32	<b>1,00</b>		
U	<b>0,75</b>	-0,02	0,15	0,21	0,67	<b>1,00</b>	
Zn	0,15	0,19	0,21	0,24	0,38	0,27	<b>1</b>

Πίνακας 3. Δείκτης ρύπανσης (Cd) ανά σημείο δειγματοληψίας

δείγμα	C <sub>d</sub>	παράγοντες ρύπανσης	ρύπανση	δείγμα	C <sub>d</sub>	παράγοντες ρύπανσης	ρύπανση
SAM1	0,3	As	χαμηλή	SAM12	0	-	χαμηλή
SAM2	0	-	χαμηλή	SAM13	0	-	χαμηλή
SAM3	0	-	χαμηλή	SAM14	0	-	χαμηλή
SAM4	38,8	As,Cl,Fe,SO <sub>4</sub>	υψηλή	SAM15	0,1	As	χαμηλή
SAM5	0	-	χαμηλή	SAM16	0	-	χαμηλή
SAM6	0,2	As	χαμηλή	SAM17	0	-	χαμηλή
SAM7	1,00	Fe	μέτρια	SAM18	0	-	χαμηλή
SAM8	0	-	χαμηλή	SAM19	15,9	As,Cl	υψηλή
SAM9	2,9	As	μέτρια	SAM20	0,1	Cl	χαμηλή
SAM10	0	-	χαμηλή	SAM21	0	-	χαμηλή
SAM11	0	-	χαμηλή				

#### 4. Εκτίμηση της ρύπανσης

Η ρύπανση της περιοχής εκτιμήθηκε με βάση τα αποτελέσματα του συντελεστή Revelle και του δείκτη ρύπανσης (Contamination Factor). Όσον αφορά τον συντελεστή Revelle ο οποίος εξετάζει το ύψος των χλωριόντων που συνδέονται κυρίως με διαδικασίες υφαλμύρισης, οι τιμές του ήταν στην πλειοψηφία τους  $< 1$  (νερό καλής ποιότητας) πλην δυο δειγμάτων, των SAM4 και SAM19 που έχουν αναφερθεί ήδη στη διαδικασία της Cluster Analysis, και παρουσιάζουν τιμές  $> 10$ , κατατάσσοντας το νερό τους στην κατηγορία του επικίνδυνα ρυπασμένου (Revelle, 1941).

Ο δείκτης ρύπανσης εξετάστηκε για τις παραμέτρους As, Cl, Fe και SO<sub>4</sub> που οι τιμές τους ξεπέρασαν τα όρια της οδηγίας 98/83/ΕΚ. Σημειώνεται ότι η παράμετρος Br δεν συμπεριλήφθηκε στα αποτελέσματα, δεδομένου ότι η κοινοτική οδηγία αναφέρεται σε βρωμικά άλατα (BrO<sub>3</sub>). Τα αποτελέσματα του Cd αναδεικνύουν ως κύρια πηγή ρύπανσης το As. Σε 13 από τα 21 συνολικά δείγματα ο δείκτης Cd είναι μηδενικός (Cd=0), που σημαίνει πρακτικά μηδενική ρύπανση. Σε τέσσερα από αυτά ο Cd είναι μικρότερος της μονάδας ( $0 < Cd < 1$ ), γεγονός που υποδηλώνει χαμηλή ρύπανση, πιθανότατα προερχόμενη από θειούχο μεταλλοφορία που έχει εντοπισθεί σε διάφορα μέρη του νησιού (Ζαγκούρογλου, αδημ. Εκθέσεις ΙΓΜΕ) . Σε δύο από αυτά εμφανίζεται μέτρια ρύπανση ( $1 < Cd < 3$ ) πιθανότατα προερχόμενη ξανά από θειούχο μεταλλοφορία, με την υψηλότερη τιμή As να καταγράφεται στο SAM9 (39 ppb) και τέλος σε 2 από τα 21 εμφανίζεται υψηλή ρύπανση (Cd $>3$ ) και αποδίδεται σε θαλάσσια δειξίωση.



Σχήμα 2. Χωρική τοποθέτηση των σημείων δειγματοληψίας πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο (γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ 1:50000) και σχηματική απεικόνιση του Cd (το μέγεθος των κύκλων είναι ανάλογο του Cd)

#### 5. Συμπεράσματα

Η συνδυαστική χρήση γεωστατιστικών μεθόδων, έδειξε την ύπαρξη τεσσάρων βασικών παραγόντων που παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη διαμόρφωση του χημισμού του υπόγειου νερού. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζονται αρχικά με την βοήθεια της R-mode παραγοντικής ανάλυσης και επιβεβαιώνονται από την ανάλυση συσχέτισης και την ανάλυση συμπλέγματος. Στην παγίωση της υπόθεσης αυτής συνεπικουρούν και οι χημικές αναλύσεις των 21 υδροσημείων, κάτι άλλωστε αναμενόμενο καθώς μέρος τους αποτελεί το βασικό υλικό στατιστικής επεξεργασίας.

Ως κυρίαρχη διεργασία διαμόρφωσης του χημισμού είναι η θαλάσσια διείσδυση, που είναι εμφανής από τις χημικές αναλύσεις και τις τιμές του συντελεστή Revelle στα σημεία SAM4 και SAM19. Εκτός των δυο αυτών σημείων η επίδραση είναι αισθητή σε γενικότερο επίπεδο, καθώς και άλλα υδροσημεία (SAM15,18,20,21) παρουσιάζουν αυξημένες τιμές χλωριόντων, ειδικότερα στη Νεογενή λεκάνη του Μεσόκαμπου. Ως κύρια γενεσιουργός αιτία του φαινομένου θα πρέπει να θεωρηθεί η υπερβολική άντληση των υδρογεωτρήσεων, η οποία έχει ταπεινώσει τη στάθμη του υπόγειου υδροφορέα, ιδιαίτερα στην παράκτια ζώνη. Βοηθητικό ρόλο στην παραπάνω διεργασία παίζουν και τα ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ που υπάρχουν στην περιοχή και διευκολύνουν την διείσδυση του θαλάσσιου νερού στα ενδότερα. Δευτερευόντως, οι αυξημένες τιμές Cl<sup>-</sup> αλλά και του Na<sup>+</sup> μπορούν να αποδοθούν στην διάλυση του αλίτη (NaCl) που εμφανίζεται δισπαρμένος σε πυριτικούς ασβεστόλιθους κυρίως στην περιοχή των Αγιάδων.

Τα ισχυρά φορτία μεταξύ των στοιχείων Cu,Zn,Ba και Mn,Mo,As,Si μας οδηγούν στο συμπέρασμα της ύπαρξης δυο διαφορετικών τύπων θείουχου μεταλλοφορίας. Η πρώτη συνοδεύεται από βαρύτητα και βρίσκεται εντός των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής, ενώ η δεύτερη εντοπίζεται σε πυριτικές φλέβες με τα ορυκτά αρσеноπυρίτης και μολυβδαίνιτης.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της αποκλειστικής προέλευσης της νιτρικής ρύπανσης από ανθρωπογενή αίτια, παρόλο που σε τμήμα της λεκάνης της Χώρας έχει εντοπισθεί απόθεση νιτρικών και χλωριούχων αλάτων (Μαρίνος 1960?, Σταματάκης & Ζαγκούρογλου, 1984. Επίσης η έλλειψη συσχέτισης των NO<sub>3</sub> με άλλες παραμέτρους, σε συνδυασμό με τις χρήσεις γης στην περιοχή συνηγούν σε αυτό το συμπέρασμα, το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη χωρική διασπορά των σχετικά αυξημένων τιμών, που βρίσκονται αποκλειστικά σε περιοχές που καλλιεργούνται ή κατάντη αυτών.

Τέλος, όσον αφορά την ποιοτική κατάσταση του υπόγειων υδάτων, πρέπει να λεχθεί ότι είναι σχετικά μέτρια, λόγω κυρίως της σημαντικής υφαλμύρισης ορισμένων υδροσημείων και των υψηλών τιμών As, που είναι ακόμα και 4 φορές σχεδόν πάνω από τα επιτρεπτά όρια της 98/83/ΕΚ. Η φύση των παραγόντων ρύπανσης είναι διαφορετική αφού στην περίπτωση της υφαλμύρισης είναι ανθρωπογενής, λόγω υπερβολικής υδρομάστευσης, ενώ στην περίπτωση του As είναι φυσική, γεγονός που κάνει εξαιρετικά δύσκολη την αναστρεψιμότητα του φαινομένου. Στις κύριες παραμέτρους ρύπανσης θα πρέπει να προστεθούν και οι αυξημένες συγκεντρώσεις NO<sub>3</sub>, οι οποίες παρόλο που δεν ξεπερνούν το ανώτατο επιτρεπτό όριο, σηματοδοτούν την ανθρωπογενή επίδραση στην περιοχή μέσω της χρήσης νιτρικών λιπασμάτων και φανερώνουν τις τάσεις διεύρυνσης του φαινομένου.

## Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον Γεωλόγο της ΤΥΔΚ Σάμου κ.Πετσόγλου, για την βοήθεια του στις εργασίες υπαίθρου.

## Βιβλιογραφία

Ζαγκούρογλου Κ.: Αδημοσίευτες εκθέσεις ΙΓΜΕ.

Θεοδωρόπουλος Δ., 1979: Γεωλογικός χάρτης 1:50000. φύλλο λιμνή Βαθέως. ΙΓΜΕ.

Καμμάς Π., 1998: Υδρογεωλογική μελέτη νήσου Σάμου. ΙΓΜΕ.

Σταματάκης Μ., 1986: Η κατανομή του Βορίου σε αμιδές-θερμομεταλλικές πηγές-θαλάσσιους εβαπορίτες και σε ηφαιστειακούς-ιζηματογενείς σχηματισμούς του Ελλαδικού χώρου. Διδακτορική διατριβή, ΕΚΠΑ.

Σταματάκης, Μ. και Κ. Ζαγκούρογλου., 1984: Η εμφάνιση νίτρου της νήσου Σάμου. Ορυκτός πλούτος, 33.

Angelier J., 1976: 'Sur l' alterance plio-quaternaire de mouvements extensifs et compressifs en Egee orientale: l' ile de Samos, Grece. C.R. Acad.Sc.Paris. 283, 463-466.

Backam B., Bodis D., Lahermo P., Rapant S., Tarvainen T., 1997: Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. Environmental Geology, Springer-Verlag. 36.

Brown C.E., 1998: Applied multivariate statistics in geohydrology and related sciences. Springer-Verlag. Germany.

Davis J.C., 1984: Statistics and data analysis in Geology. 2nd edition Wiley & Sons, USA.

Drever J., 1997: The geochemistry of natural waters. 3rd edition Prentice Hall, USA.

EC (1998): Council Directive (98/83/EC) on the quality of intended for human consumption. Offic J Eur Commun, L 330.

Eriksson E., 1985: Principles and application of hydrochemistry. Chapman & Hall, UK

Hem J., 1985: Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey water-supply paper 2254. 3rd edition.

Hussein M., 2004: Hydrochemical evaluation of groundwater in the Blue Nile basin, eastern Sudan, using conventional and multivariate techniques. Hydrogeology Journal, Springer-Verlag. 12, 144-158.

Meissner B., 1976: Das Neogene von Ost-Samos Sedimentations geschichte und correlation.. N.Jb. Geol. Palaont. Abh. 152, 161-176.

Pacheco J., Marin L., Cabrera A., Steinich B., Escolero o., 2001: Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply wells, Yucatan, Mexico. Environmental Geology, Springer-Verlag. 40, 708-715.

Panda U.C., Sundaray S.K., Rath P., Nayak B.B., Bhatta D., 2006: Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India). Journal of Hydrology, Elsevier. 331, 434-445.

Papanikolaou D., 1979: Unites tectoniques and phases de deformation dans l' ile de Samos. Mer Egee, Grèce. Bull. Soc. Geol. France. 21, 745-752.

Rapant S., Vrana K., Bodis D., 1995: Geochemical Atlas of the Slovak Republic. Part 1, groundwater. Geofond, Bratislava.

Ramirez-Solis A., Mukopadhyay R., Posen B.P., Stemler T.L., 2004: Experimental and theoretical characterization of arsenite in water: insights into the coordination of As-O. Inorganic Chemistry, Elsevier. 43(9), 2954-2959.

Reghunath R., Sreedhara T.R., Raghavan B.R., 2002: The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. Water research, Elsevier. 36, 2437-2442.

Revelle R., 1941: Criteria for recognition of seawater. Trans.Amer.Geophysical Union. 22,593-541.

## Η ΧΡΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ, ΑΠΟ ΤΙΣ ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ ΤΟΥ 19-20<sup>ου</sup> ΑΙΩΝΑ

Τόμπρος Σ.<sup>1</sup>, Τόμπρος Ν.<sup>2</sup>, Karen St. Seymour<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Οικονομικής Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, [tompros@mailbox.gr](mailto:tompros@mailbox.gr).

<sup>2</sup>Τμήμα Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Διαχείρισης Πολιτιστικών Αγαθών, Καλαμάτα, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.

### Περίληψη

Η παρούσα μελέτη προσπαθεί να περιγράψει την μεταλλευτική δραστηριότητα που πραγματοποιείται στην Πελοπόννησο κατά τη διάρκεια του 19-20<sup>ου</sup> αιώνα. Κατά τη συλλογή των κοιτασματολογικών δεδομένων έγινε από αναφορές του ημερήσιου και περιοδικού περιφερειακού Τύπου της εποχής, αφού τα μεταλλεία στην πλειοψηφία τους σήμερα είναι εκτός λειτουργίας, όπως επίσης και τα αρχεία των φορέων Υπουργείο Βιομηχανίας και ΙΓΜΕ. Ακολούθησε κοιτασματολογική έρευνα πεδίου που οδήγησε στην ορυκτολογική καταγραφή των μεταλλείων και δημιουργία μεταλλευτικού χάρτη με σκοπό την πιθανή οικονομική αξιολόγηση των μεταλλείων ως προς την εκμεταλλευσιμότητά τους σήμερα.

### USING THE HISTORIC DATA IN THE STUDY OF THE ECONOMIC GEOGRAPHY-GEOLOGY: REPORT ON THE MINES OF PELOPONNESUS FROM THE LOCAL NEWSPAPERS OF THE 19-20<sup>TH</sup> CENTURY

Nickolaos Tombros<sup>1</sup>, Stylianos Tombros<sup>2</sup>, Karen St. Seymour<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Laboratory of Economic Geology, University of Patras, [tompros@mailbox.gr](mailto:tompros@mailbox.gr).

<sup>2</sup>Department of History, Archeology and Cultural Goods Administration, Kalamata, University of Peloponnisos.

### Abstract

This study reports the results of a detailed investigation on the ore deposits of Peloponnesus. The geological and mining data was collected based on the articles from the local daily newspapers of the 19-20th century, as well as the unpublished files of the Ministry of Industrial and of IGME. At a further step, based on the newspaper reports field research and sampling of the ore assemblages, construction of the mining map of Peloponnesus and economic evaluation was carried out.

**Λέξεις κλειδιά:** εφημερίδες, κοιτάσματα, Πελοπόννησος.

**Key words:** newspapers, ore deposits, Peloponnesus.

### 1. Εισαγωγή

Ο Τύπος αδιαμφισβήτητα αποτελεί ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούν οι ερευνητές στην προσπάθειά τους να ανασυγκροτήσουν το παρελθόν. Το γεγονός όμως ότι οι εφημερίδες καταγράφουν πολιτικά γεγονότα ιδωμένα από το πρίσμα της ιδεολογίας που πρεσβεύουν ή υποστηρίζουν τις καθιστά πηγή που χρίζει περισσότερη διερεύνηση. Το πρόβλημα περιορίζεται

στο ελάχιστο ή και εκμηδενίζεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου καταγράφονται κοινωνικά, οικονομικά, ή πολιτιστικά θέματα. Ανάμεσα λοιπόν στις οικονομικές ή εργασιακές πληροφορίες που οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν συχνά στον περιφερειακό Τύπο του 19-20ου αιώνα, είναι οι μεταλλευτικές δραστηριότητες που σημειώνονταν κατά καιρούς στον ελλαδικό χώρο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν άρθρα από τις ημερίδες Φοίνιξ (1858-82), Ελληνική Επανάσταση (1872-76), Αίγλη (1871-75), Μίνως (1841-77), Νέος Αιών (1899-1909), Φορολογούμενος (1869-94) και Νεολόγος Πατρών (1894-1950) (Tombros, 2005).

Τα εν λόγω στοιχεία ενδιαφέρουν όχι μόνο τους ιστορικούς που ασχολούνται με την οικονομική ιστορία, αλλά και τους γεωλόγους. Η ενασχόληση των τελευταίων με τέτοιου είδους άρθρα ή πληροφορίες έγκειται στο ότι ανακαλύπτουν θέσεις ορυχείων ή μεταλλείων τα οποία αγνοούσαν, επειδή η δραστηριότητά τους σταμάτησε πολλές δεκαετίες πριν, και κατ'επέκταση να προσδιοριστούν πιθανοί μελλοντικοί κοιτασματολογικοί στόχοι, χωρίς να χρειαστούν προκαταρκτικές γεωλογικές έρευνες. Επιπρόσθετα τα αριθμητικά δεδομένα που οι εφημερίδες παρέχουν, βοηθούν στην πραγματοποίηση συγκριτικών μελετών για την περαιτέρω αξιοποίηση των μεταλλοφοριών. Με αυτό το σκεπτικό -και στην προσπάθεια καταγραφής των κοιτασμάτων της Πελοποννήσου- εκπονείται η παρούσα εργασία η οποία βασίστηκε σε μεγάλο μέρος της στην έρευνα του περιφερειακού Τύπου της Πελοποννήσου.

## 2. Γεωλογία της Πελοποννήσου

Η Πελοπόννησος καταλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα του Δειναροταυρικού τόξου των Ελληνίδων. Η τεκτονοστρωματογραφία της είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη -και μόνο περιληπτικά αναφέρεται στην εν λόγω εργασία-, όπου από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά αναγνωρίζονται οι εξής ισοτοπικές ζώνες (Jacobshagen et al., 1978): Η ζώνη Παξών που έχει ιδιαίτερα μικρή ανάπτυξη και συνίσταται από μια συνεχή ακολουθία νηριτικών πετρωμάτων με εβaporίτες, δολομίτες, και ασβεστόλιθους, ηλικίας Άνω Τριαδικού-Ολιγόκαινου (Thiebault, 1982). Η Ιόνια ζώνη χαρακτηρίζεται από νηριτικά ιζήματα στην βάση, πελαγικά ιζήματα (πυριτικοί σχιστόλιθοι, εναλλαγές από λατυποπάγεις ή ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους-Ammonitico Rosso) και φλύσχη (πηλίτες, ψαμμίτες, λατυπό-κροκαλοπαγή), ηλικίας Ανώτερου Περμίου-Ηώκαινου (Aubouin et al., 1977). Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης αποτελεί μια ανθρακική σειρά (εναλλαγές ασβεστόλιθων με παρεμβολές βωξιτών), που στη βάση της εμφανίζονται τα Στρώματα Τυρού (ηφαιστειακή ακολουθία) και στην οροφή της φλύσχη, ηλικίας Ανώτερου-Κρητιδικού έως -Ηώκαινου (Fleury, 1980). Η ζώνη Πίνδου αποτελείται από Τριαδικούς σχηματισμούς στη βάση (ιζήματα βαθιάς θάλασσας και φλύσχη) και μια ακολουθία Ιουρασικών ασβεστόλιθων, ραδιολαριτών, πρώτου φλύσχη, Άνω Κρητιδικών ασβεστόλιθων και δεύτερου φλύσχη (ηλικίας Άνω Ηώκαινου) (Fleury, 1980).

Στην ζώνη Φυλλιών παρατηρούνται το Κατώτερο-με σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μετά-ιζήματα και βασάλτες, Παλαιοζωϊκής-Τριαδικής ηλικίας-, το Ενδιάμεσο-με εναλλαγές από φυλλίτες και μάρμαρα- και το Ανώτερο κάλυμμα-με εναλλαγές από κλαστικά και ανθρακικά ιζήματα (Τριαδικής ηλικίας) (Lekkas, 1980). Η ζώνη Plattenkalk δομείται από σχιστόλιθους, και εναλλαγές από δολομίτες, ασβεστόλιθους, χαλαζίτες, μάρμαρα και φλύσχη (Thiebault, 1979). Στην ανατολική Πελοπόννησο εμφανίζεται και αμεταμόρφωτο τμήμα της Πελαγονικής ζώνης. Η ζώνη αποτελείται από το κρυσταλλικό υπόβαθρο (γενέσιοι, σχιστόλιθοι, μαγματίτες και αμφιβολίτες, φυλλίτες), Παλαιοζωϊκά ιζήματα (ψαμμίτες, αρκόζες-γρσουβάκες, αργιλικόι σχιστόλιθοι, φλύσχη), αργίλους, ψαμμίτες, βασικά ηφαιστειακά και ασβεστόλιθους (Κατώτερου-Μέσου Τριαδικού), Άνω Τριαδικούς- Άνω Ιουρασικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες και ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς (ιζήματα βαθιάς θάλασσας και βασάλτες) και τέλος, Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους και φλύσχη (Katsikatsos et al., 1986). Στην Πελοπόννησο εμφανίζεται και το οφιολιθικό κάλυμμα, στη βάση του οποίου αναπτύσσεται οφιολιθική mélange (χαώδης σχηματισμός με σερπεντινίτες, πυροξενίτες, γάββρους, βασάλτες, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, ραδιολαριτες και πελαγικούς ασβεστόλιθους), ενώ στην οροφή σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (Photiades et al., 1995). Τέλος, μεγάλο τμήμα της βόρειας Πελοποννήσου καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

### 3. Είδη Μεταλλευμάτων στην Πελοπόννησο

#### 3.1. Σιδηροπυρίτης

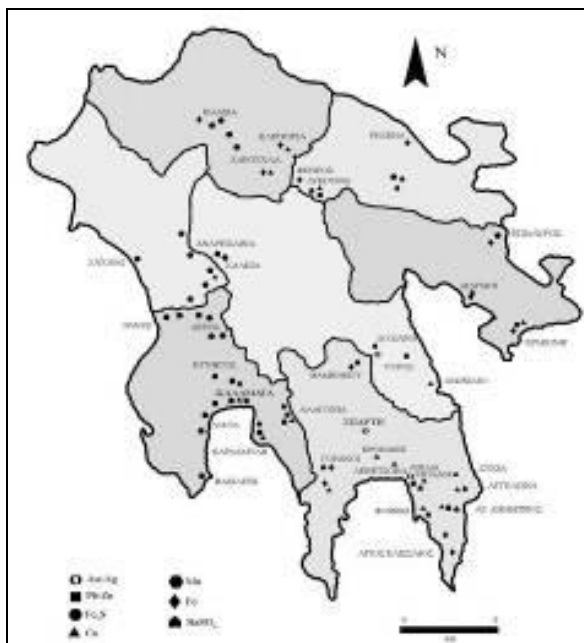
Στην Αργολίδα το εν λόγω μέταλλευμα παρουσιάζεται σε διάφορες θέσεις της Ερμιόνης, Αργολίδος (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Η μέση ετήσια παραγωγή κατά τα έτη 1930-1940 ανερχόταν σε 25000-30000t, ενώ το 1978 οπότε και εγκαταλείφθηκαν τα μεταλλεία ήταν 30000-40000t (Aronis, 1951). Η μεταλλοφόρος περιοχή της Ερμιόνης αποτελεί το δεύτερο σε σπουδαιότητα συγκρότημα κοιτασμάτων Cu-σιδηροπυρίτη της Ελλάδας. Ο σιδηροπυρίτης συνδέεται με αλληπάλληλες εναλλαγές αργιλικών σχιστόλιθων, αργίλων και ψαμμιτών και ενδισαρώσεις μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Στα ιζήματα διεισδύουν βασάλτες και διαβάσεις, ενώ εμφανίζονται και σερπεντιτωμένα υπερβασικά (Varnavas and Panagos, 1975). Το μέταλλευμα παρατηρείται μικροκρυσταλλικό, μαζικό και συμπαγές και ορυκτολογικώς συνιστάται από σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη και χαλκοπυρίτη (92 vol.%) και ίχνη από μαγνητίτη, μαγνητοπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη, φρεΐμπεργίτη και χαλκοσίνη, λειμωνίτη, μελαντιρίτη, μαλαχίτη, αζουρίτη και Fe-Mn οξειδία (περιεκτικότητα σε Mn  $\approx$  41 wt.%, 8 vol.%). Ολικές αναλύσεις του μεταλλεύματος από τα μεταλλεία Καρακάσι και Ρορός έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα: Fe = 37,8-35,6 wt.%, Cu = 0,8-2,8 wt.%, S = 40,9-38,4 wt.%, και Au, Ag, Se και Te, σε ποσοστά 0,2-0,9 wt.% (Tombros and Seymour, 2007).

Σιδηροπυρίτης εντοπίζεται και σε άλλα σημεία, όπως στους Γοράνους Λακωνίας, Πλεσιβίτσα Αλαγονίας και Άγιος Κωνσταντίνος Καστανέας, Μεσσηνίας (Maratos, 1956, Εικόνα 1). Τα μεταλλεύματα συνδέονται με χαλαζιακές φλέβες, μήκους  $\leq$  5m και πάχους  $\leq$  1m, που διεισδύουν σε αργιλικούς σχιστόλιθους. Εντός του χαλαζία εμφανίζεται διάσπαρτος σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σιδηρίτης, λειμωνίτης, μαλαχίτης και χλωρίτης.

#### 3.2. Μεταλλεύματα Χαλκού

Τα Cu-μεταλλεύματα στην Πελοπόννησο είναι πολυάριθμα και συνήθως φιλοξενούνται εντός ηφαιστειακών πετρωμάτων (Liastikas, 1947). Οι σπουδαιότερες εμφανίσεις στην Λακωνία βρίσκονται: Στην περιοχή Απιδιά, Άγιος Δημήτριος Μονεμβασίας, Φλόκας, Δακιά Κροκεών, Φοινίκι, Βελιές, Συκιά, Αγγελώνα, Λεβέτσοβα, Μελιτίνη, Άρνα, Πηγαδάκια, Πανίτση, Αλαγονία και Λυκουριά (Πίνακας 1) (Mousoulos, 1962: Anastopoulos and Papanikolaou, 1958) (Εικόνα 1). Σε πολλές από τις προαναφερόμενες θέσεις έχουν γίνει ερευνητικές εργασίες με γεωλογικές, γεωφυσικές και γεωτρητικές έρευνες, έκτασης  $\leq$  10 km<sup>2</sup>, με ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Τα υδροθερμικής προέλευσης μεταλλεύματα εντοπίζονται εντός φυλλιών, σχιστόλιθων, ασβεστόλιθων, βασάλτων και ηφαιστειακών τόφφων, ως φλέβες (πάχους  $\leq$  1,5 m), ακανόνιστα σώματα αντικατάστασης ή επιφλοιώσεις σε διακλάσεις. Ορυκτολογικά συνιστώνται από σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη, χαλκοπυρίτη, βορνίτη, χαλκοσίνη, κυπρίτη, μαλαχίτη, αζουρίτη και λειμωνίτη. Ως σύνδρομα εμφανίζονται χαλαζιας, βαρύτης, ασβεσίτης, επίδοτο, σμισηθόνιτης και Fe, Mn-οξειδία (ολίγιστο).

Στη Μεσσηνία και στις περιοχές Αλαγονία και Αρτεμίσια, εμφανίζονται κοιτάσματα σουλφιδίων, μήκους  $\leq$  5m και πάχους  $\leq$ 10 cm, που παρεμβάλλονται εντός αργιλικών σχιστόλιθων, με παραγένεση γαληνίτη, σφαλερίτη, Au-χαλκοπυρίτη και σύνδρομα χαλαζία, χλωρίτη και σιδηρίτη. Στη Καρδαμύλη αναφέρεται μικρή εμφάνιση γαληνίτη εντός μαρμάρων (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Στην Αργολίδα εμφανίσεις Cu-ορυκτών παρουσιάζονται στην περιοχή Ερμιόνης (Πίνακας 1, Εικόνα 1), στους Λουσούς, στον Κλείτορα, και στη Τίρυνθα (μετάλλευμα Cu-Sn-Au, Marinos, 1953a). Στον οικισμό Ταβλάρι εντός μαρμαρυγικών σχιστόλιθων εντοπίζεται ζώνη (μήκους 20m και πλάτους 2-3m), με μαλαχίτη (Cu  $\approx$  20,6 wt.%, Marinos, 1953a). Στην Αρκαδία, στα χωρία Πουλήθρα και Βλησιδιά, εμφανίζονται μικρών διαστάσεων φλέβες με γαληνίτη και χαλκοπυρίτη, με συνοδά χαλαζία, Κ-άστριους, σιδηρίτη και αιματίτη. Οι φλέβες έχουν περιορισμένες διαστάσεις και διεισδύουν εντός φυλλιών, όπου και έγιναν μικρής έκτασης ερευνητικά έργα. Τέλος, Cu-ούχα παραγένεση με αζουρίτη, μαλαχίτη, κυπρίτη και αυτοφυή Cu, εντοπίζεται στη θέση Χαλκιά, Τριφυλίας (Πίνακας 1, Εικόνα 1).



Σχήμα 1. Κοιτασματολογικός χάρτης της Πελοποννήσου

### 3.3. Μεταλλεύματα Μόλυβδου, Ψευδαργύρου, Πολύτιμων Μετάλλων και Αυτοφύες Θείο

Τα μεταλλεύματα Pb και Zn στην Πελοπόννησο εμφανίζονται τόσο ως σουλφίδια (γαληνίτης και σφαλερίτης), όσο και ως ανθρακικές ενώσεις (σμισθονίτης) (Αρχείο Υπουργείου Βιομηχανίας). Σημαντικότερες αναφορές έχουμε για τις περιοχές Άρνα Μολάων, Λυκούρια, Άγιος Στρατηγός, Καλαμάκι, Κωσταλεΐκα και Βαρυπάτη, Άγιος Δημήτριος Μονεμβασίας, Κυνηγός Πυλίας και Αρτεμίσια (Πίνακας 1, Εικόνα 1) (Andonopoulos and Melidonis, 1957; Anastopoulos and Papanikolaou, 1958; Maratos, 1956; Sapnas, 1938).

Ακόμα και πολύτιμα μέταλλα (Au και Ag) εντοπίζονται στην Πελοπόννησο. Χρυσός εμφανίζεται στις θέσεις Δολιανά, Αλαγονία και χωριό Δελίμιμη (Καλαμάτα, θέση Φουρναράδες) όπου παλαιότερα υπήρξαν μεταλλεία (Αρχείο Β' Διεύθυνσης ΙΓΜΕ). Στην Πεντέλεια, Ηλείας (θέσεις Έλατος και Πρίνος) είχε εντοπισθεί επίσης, και εξορυσσόταν Au. Προσχωματικές συγκεντρώσεις Au, στις οποίες απαντάται με τη μορφή ψηγμάτων μέσα σε άμμους, αναφέρονται στο χωριό Αψύσι Σπάρτης. Τέλος, άργυρος βρίσκεται σε φλέβες γαληνίτη στους Μολάους και Αρτεμίσια, Καλαμάτας (Πίνακας 1, Εικόνα 1).

Αυτοφύες θείο εμφανίζεται στα Μέθανα και την Κυλλήνη. Στο Σουσακί, κοντά στους Αγίους Θεοδώρους και στον Ισθμό Κορίνθου, εντοπίζεται θειωρυχείο που εκμεταλλευόταν θειοχώματα (περιεκτικότητας S = 15-20 wt.%, Voreadis, 1958). Το κοιτάσμα φιλοξενείται σε άσβεστο-μαργαϊκά Πλειοκαινικά ιζήματα, και σχετίζεται με ατιμιδική δραστηριότητα.

### 3.4. Μαγνηιομεταλλεύματα

Σχεδόν όλα τα Mn-μεταλλεύματα της Πελοποννήσου είναι ιζηματογενούς προέλευσης και συνδέονται με τους κερατόλιθους της ζώνης Πίνδου. Στη Μεσσηνία υπάρχουν πολυάριθμες εμφανίσεις, όπως στα χωριά της Πυλίας Βασιλίτσι, Λόγγα, Τρύπες, Ρωμύρι (εντός



ασβεστόλιθων), Καλοχώρι, Νερόμυλος, Ζαχάρω, Φιγαλία, Αετός, Ρεματιά και Μαργέλι (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Στην Καλαμάτα παρατηρούνται στις θέσεις Λείκα, Ζερμπίσια (πυρολουσίτη- μαγγανίτη), Κεφαλληνό, Καρδαμύλη, Πετράλωνα και Μαυρομάτι (Geogalas, 1931; Gruszczuk et al., 1970; Kiskyras, 1957; Voreadis, 1958) (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Το μετάλλευμα παρατηρείται με μορφή λεπτών στρωμάτων, κατανεμημένων σε έκταση πολλών km<sup>2</sup>, που εναλλάσσονται με κερατόλιθους (Liatsikas et al., 1947; Pultzer, 1948). Η περιοχή Ζερμπίσια εμφανίζει την πλουσιότερη μεταλλοφορία με αποθέματα  $\geq 1000000t$ , ενώ η περιεκτικότητα σε Mn είναι χαμηλή (Αετός: Mn = 6-7 wt.%, Ρεματιά: Mn = 10-21 wt.%, Ζερμπίσια: Mn = 9-16 wt.%, και Πετράλωνα: Mn = 6-10 wt.%). Στην περιοχή Λείκα, που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα Mn-μεταλλεία της Ελλάδας (~ 5km της Καλαμάτας), εμφανίζονται δευτερογενή ιζηματογενή κοιτάσματα στη βάση αργιλό-ψαμμιτικών Ηωκαινικών ιζημάτων, με υποκείμενους Κρητιδικούς ασβεστόλιθους ή φλύσχη. Τα εν λόγω κοιτάσματα είναι καλής ποιότητας (Mn  $\approx 38$  wt.% και SiO<sub>2</sub> = 7-9 wt.%) και συνίστανται από πυρολουσίτη και ψιλομέλανα.

Στη περιοχή Ανδρίτσαινας, Ηλείας, εμφανίζεται Mn-μετάλλευμα σε διαφορές θέσεις (Πίνακας 1, Εικόνα 1) (Mousoulous, 1962). Το μετάλλευμα παρατηρείται ως στρώματα εντός κερατόλιθων και αποτελείται από πυρολουσίτη, μαγγανίτη, αιματίτη και αυτοφυή Cu, με σύνδρομο χαλκηδόνιο και χαλαζία. Έγιναν προσπάθειες εκμετάλλευσης βασιζόμενες σε εκλεκτική εξόρυξη. Η περιοχή χρειάζεται μελέτη τρόπου εμπλουτισμού για τη συνολική αξιοποίηση των κοιτασμάτων. Στην Αργολίδα και στις θέσεις Παλαιά Επίδαυρο, Τσέλο και Σταυροπόδι Ναυπλίου (Πίνακας 1, Εικόνα 1) και εντός σχιστό-κερατόλιθων εμφανίζεται μετάλλευμα ως φακοί Mn-πυρολουσίτη, μαγγανίτη και ψιλομέλανα. Στην περιοχή Ερμιόνης (Πίνακας 1, Marinos, 1953c; Voreadis, 1958) και εντός κερατόλιθων, αργίλων και αργιλικών σχιστόλιθων, φιλοξενείται μετάλλευμα με μορφή ενδιαστρώσεων, φακών ή λεπτών στρωμάτων, πάχους 0,1-0,25m (Ameely, 1949). Η μεταλλοφορία συνδέεται γενετικά με βασάλτες που σχετίζονται με ηφαιστειότητα τάφρου. Η περιοχή αυτή δεν έχει ακόμη διερευνηθεί πλήρως (Trikkalinos, 1950).

Στην Αρκαδία, παρουσιάζονται στα χωριά Βαστά, Λύκαιο, Αστάλα, Άγιος Πέτρος, Δολιανά, Μπάστα και Ίσαρι (Πίνακας 1, Εικόνα 1) (Andonopoulos and Melidonis, 1957). Το μετάλλευμα εγκλείεται εντός σχιστόλιθων που εναλλάσσονται με κερατόλιθους. Παρατηρείται ως φακοί ή στρώματα, πάχους  $\geq 5$  cm, και αποτελείται από πυρολουσίτη, ψιλομέλανα, χαλκηδόνιο και χαλαζία. Στην Κορινθία, στις περιοχές Άγιος Βασίλειος και Περαχώρα (κοντά στον Ισθμό), εμφανίζεται φακοί πυρολουσίτη κερατόλιθων. Έγιναν προσπάθειες για την εκμετάλλευση του μεταλλεύματος οι οποίες διακοπήκαν, επειδή τα αποθέματα ήταν μικρά. Στις θέσεις Πλατάνιτσα και Αθρουμπί, Γοράνων Λακωνίας και εντός χλωριτικών σχιστόλιθων και φυλλιτών με ενδιαστρώσεις χαλαζιτών παρατηρείται Mn, Fe-μετάλλευμα ως φακοί (μήκους  $\leq 4$  m και πάχους 0,5-1m) (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Τα αποθέματα στις ανωτέρω περιοχές είναι περιορισμένα και μέτριας ποιότητας (Maratos, 1956).

### 3.5. Σιδηρομεταλλεύματα

Στη Κορινθία Fe-μεταλλεύματα παρουσιάζονται στο Φενεό (θέσεις Μελίσσι, Πηγαδάκι, Ρεζενά και Κρουονέρι), όπου συναντάται αιματίτης με τη μορφή ενδιαστρώσεων εντός σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων (Akylas, 1946). Στο χωρίο Σχοίνος (Λουτράκι) απαντάται ενδιάστρωση λειμωνίτη και αιματίτη στην επαφή διαβασικών φλεβών και ασβεστόλιθων (μήκους 4m και πάχους 2m, με περιορισμένα αποθέματα, Tsoutrellis, 1966). Στα Κύθηρα αναφέρεται μικρή εμφάνιση εντός μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Στη Μεσσηνία και στη θέση Τσέρια (Καρδαμύλης), παρατηρούνται φλέβες, που αποτελούνται από ολίγιστο, λειμωνίτη και υπολειμματικό σιδηροπυρίτη, με συνοδά σιδηρίτη και χαλαζία. Τα αποθέματα είναι της τάξης  $\geq 1000t$  (Αρχείο Υπουργείου Βιομηχανίας). Στην Αργολίδα, στην Παλαιά Επίδαυρο, αναφέρεται εμφάνιση μικρών διαστάσεων μαγνητίτη. Στους οικισμούς Πλέπι και Μπαρουτοσπηλιά (Ερμιόνης), Ταβλάρι, Μερκούρι και Μάζι, εντός του φλύσχη του οφιολιθικού καλύμματος, απαντώνται μικρά φακοειδή σώματα λειμωνίτη και πυρολουσίτη ή

πολυάριθμα φλεβίδια σιδηρίτη και αιματίτη, με συνοδά χαλαζία και Κ-άστριους (Marinos, 1953a, c) (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Τα κοιτάσματα είναι περιορισμένου ενδιαφέροντος ως προς τον όγκο (αποθέματα  $\approx 1000t$ ) και για τη ποιότητά τους.

Στη Λακωνία στην θέση Ουγίθι (Αγγελώνας) εντός σερπεντινωμένου πυροξενικού περιδοτίτη απαντάται διάσπαρτος μαγνητίτης, χωρίς οικονομικό ενδιαφέρον (Anastopoulos and Papanikolaou, 1958). Στα χωριά Άγιος Ελισαίος, Σούμπουρο και Βάτικα Νεάπολης, εντοπίζεται μεταλλείο (σε αργία από το 1940), με μετάλλευμα από λειμωνίτη, αιματίτη, γκαϊτίτη, τιτανίτη και σιδηρίτη και σύνδρομο ασβεστίτη (περιεκτικότητας σε Fe = 26-30 wt.% και CaO = 25-35 wt.%, Andonopoulos and Melidonis, 1957) (Πίνακας 1, Εικόνα 1). Τα κοιτάσματα εντοπίζονται εντός φυλλιτών με μορφή φακών αντικατάστασης και φλεβών, στις επαφές ή εντός των ασβεστόλιθων και μάλιστα στη βάση τους. Τα αποθέματα εκτιμώνται  $\approx 300000t$ . Στις περιοχές Πόρτο Κάγιο, Τάιναρο, Κοτίτσα-Λογκανίκου, Μπάρμπαρρανα, Βαμβάκοι, Σιδεροκότρωνα, Γούβα, Λογγός, Σταυρωτό Δεντρί, Βολοϊτινά, Μότσου, Άσπρα Χώματα και Φιλιατρό (Πίνακας 1, Εικόνα 1) εντοπίζονται, εντός χλωριτικών σχιστόλιθων, κοιτάσματα φλεβικής μορφής (Αρχείο Β' Διεύθυνσης ΙΓΜΕ). Το μετάλλευμα συνίσταται από ώχρες, ολίγιστο, λειμωνίτη, μαλαχίτη και αζουρίτη, με σύνδρομο χαλαζία και Κ-άστριους. Μερικές από τις εν λόγω θέσεις υπέστησαν διερεύνηση με μεταλλευτικά έργα, περιορισμένου όμως οικονομικού ενδιαφέροντος (Maratos, 1956). Στην Αρκαδία στις περιοχές Δολιανά, Τυρός, Περαχώρα, Πουλήθρα, Βελιές, Κολλίνες, Βέρβαινα, Άγιος Πέτρος (Πίνακας 1, Εικόνα 1) εμφανίζεται μετάλλευμα εντός σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων. Το μετάλλευμα συνίσταται από ολίγιστο, αιματίτη, λειμωνίτη, ± σιδηρίτη και σιδηροπυρίτη, με τη μορφή φλεβιδίων. Πρόκειται για κοιτάσματα περιορισμένων διαστάσεων, συγγενετικά με τη μεταμόρφωση.

### 3.6. Βαρύτητα

Στην Πελοπόννησο παρατηρούνται αποθέσεις βαρύτη, στις περιοχές Άγιος Δημήτριος Μονεμβασίας (Κουκουασόραχη), Πλύτρα Λακωνίας (Κορογόσες, Mousoulos, 1962), Τυρός Κυνουρίας, Μολάοι (Βίγλα Μαυρογιώργου), Απιδιά Μολάων (θέση Ζαμανίτσα) και Φοινίκι (Kiskyras, 1957) (Εικόνα 1). Οι προαναφερόμενες εμφανίσεις αποτελούν υδροθερμικής προέλευσης φλέβες (πάχους  $\leq 1m$ ), που διεισδύουν εντός σχιστόλιθων και φυλλιτών, όπου και πραγματοποιήθηκε περιορισμένη εξόρυξη (Mousoulos, 1962).

## 4. Μεταλλεύματα Νομού Αχαΐας

Ξεχωριστή αναφορά γίνεται στα μεταλλεύματα της Αχαΐας, λόγω πληθώρας αρχαικού υλικού για τον εν λόγω νομό. Στη περιοχή Καλαβρύτων και στις θέσεις Άνω Βλασία, Βλαχοκερασιά, Ωλωνός και Αροάνια, εντός των κερατόλιθων της ζώνης Πίνδου εμφανίζεται Mn-μετάλλευμα, με τη μορφή λεπτών στρωμάτων (Πίνακας 2). Το μετάλλευμα συνίσταται από πυρολουσίτη και φιλομέλανα, με σύνδρομο χαλκηδόνιο και χαλαζία. Έγινε πρόσκαιρη προσπάθεια εκλεκτικής εκμετάλλευσης. Η εν λόγω περιοχή χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση, τόσο για τη διαπίστωση των αποθεμάτων. Έχουν διαπιστωθεί επίσης, εμφανίσεις Fe-μεταλλευμάτων στις περιοχές Ζαρούχλας και Σιδηρόκαστρο (Μονή Ομπλού) σε πυριτικούς σχιστόλιθους και θεικού χαλκού ( $CuSO_4$ ) στην Κλειτορία και τη Ζαρούχλα (Πίνακας 2).

## 5. Συμπεράσματα

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τα άρθρα των εφημερίδων και τα αρχεία του Υπουργείου Βιομηχανίας και του ΙΓΜΕ, δημιουργήθηκε ο κοιτασματολογικός χάρτης της περιφέρειας της Πελοποννήσου. Από την κατανομή των μεταλλευμάτων συμπεραίνεται πως τις πιο αξιολογικές περιοχές για να συνεχιστεί η έρευνα αποτελούν οι νομοί Μεσσηνίας (Καλαμάτα, Καρδαμύλη) και Λακωνίας (Μολάοι, Αλαγονία). Κοιτάσματα Mn-Fe προς περαιτέρω διερεύνηση υπάρχουν επίσης στην Ηλεία (Ανδρίτσαινα) και την Αχαΐα (Καλάβρυτα). Σημαντικά μεταλλεύματα Cu και Fe συσχετίζονται με το οφιολιθικό κάλυμμα (Αγγελώνα-Συκιά, Ερμιόνη). Στις προαναφερόμενες περιπτώσεις προτείνουμε να πραγματοποιηθεί κοιτασματολογική έρευνα που θα περιλαμβάνει την εφαρμογή σύγχρονων

μεθόδων ανάλυσης (αναλύσεις ρευστών εγκλεισμάτων, ισotόπων και ιχνοστοιχείων), ώστε να προσδιοριστούν οι συνθήκες σχηματισμού και οι υπολογισμοί των βέβαιων αποθεμάτων. Επειδή οι εμφανίσεις είναι πολυάριθμες και οι περισσότερες είναι σχετικά μικρού μεγέθους για την εκμετάλλευσή τους προτείνεται η δημιουργία συνεταιριστικού μεταλλευτικού φορέα. Ο φορέας θα αποτελείται από μικρές μεταλλευτικές εξειδικευμένες εταιρίες που θα εκμεταλλεύονται με την αρωγή του εκάστοτε δήμου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα πιο προσοδοφόρα κοιτάσματα.

Πίνακας 1. Θέσεις εμφανίσεων μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών στην Πελοπόννησο, όπως καταγράφηκαν στις τοπικές εφημερίδες του 19-20<sup>ου</sup> αιώνα.

Μετάλλευμα-Θέση	Μετάλλευμα-Θέση	Μετάλλευμα-Θέση
<b>Σιδηροκρήνη:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αρκαδία: Ερμιόνη (Μεταλλείο Γουλι και Κορακίσι, Καροπίσι, Σαμαροπόρο, Τσουκιά Α, Ράδος και Πιλάκισος).</li> <li>• Λακωνία: Γορύνια Σουσί, Σουσί, Γέλις.</li> <li>• Μεσσηνία: Πάρασις, Αθήματα, Άγιος Κωνσταντίνος Κασταρός</li> </ul> <b>Cu-μετάλλευμα</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Λακωνία: Απιδιά (Κουκιά, Λούτι, Άγιος Ιωάννης, Σακελάσι, Λάκκες, Φίλια, Μπουλά, Μπράρα, Τσιβέλι, Αμυγιά, Σιδά, Βουραίοτη, Βλαχονέριος-Πατριώτης, Βουρα, Άγιος Δημήτριος, Μονοφρασία (Χουσι, Κουκιά, Βουραίο, Αλιάνος, Λακωνία, Νεόλι, Άγιος Ευσταθίου, Γυαλομασί, Φίλια, Γέλιος, Φοίνις, Μισοτήσια), Δακιά Κουκιά (Σακελάσι, Δρακοπίλι, Βορονέλι, Φοίνις, Άγιος Γιάννης Σιδέρη, Μπίτσι, Σουσί, Κακιά, Καπέλα, Λακωνία), Λακωνία (Βουραίο, Κορακίσι, Κουκιά).</li> <li>• Μεσσηνία: Αλφειός, Κορακίσι (Τσίρα), Αρκαδία (Σπατομαδί, Βράχος)</li> <li>• Αρκαδία: Κουκιά (Φίλια, Τσαλοροσσά, Πιάκι και Πιάλι), Βορός (στούβη, Καλοπόρο, Τσουκιά, Ράδος, Πάρα, Κασταρός, Σουσί, Αρκαδία, Κουκιά, Τσιβέλι).</li> <li>• Αρκαδία: Πυλάριος (Αρκαδία), Βιζυαίο (θέση Τολομάτη).</li> <li>• Γέλις: Χαλκιά, Τριουλίς.</li> </ul>	<b>Fe μετάλλευμα</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Κονιάτι: Φουός (Μολοιά, Πηγάδι, Ριζοί και Ερμιόνη) Σουλός (Λουτρό)</li> <li>• Μεσσηνία: Τσίρα (Κορακίσι)</li> <li>• Αρκαδία: Πυλάριος (Βουραίο, Πάρα, Μπαρονοσηλιά (Ερμιόνη), Τσιβέλι, Βουραίο, και Μάρα)</li> <li>• Λακωνία: Ουγιά (Αρκαδία), Άγιος Ελευθέριος, Σούμπουρο και Βάτινα, Μελιόλις, Πάρα Κόλο, Τσίρα (θέση Σπήλιος), Μπαρμπάρα, Κοκιά, Λοκαλάκι, Βαμβακού, Σιδροκότρανα (Άρκαδία), Μυκιά, Γαργιόλι, Πάρα (Αρκαδία), Τσίρα (Νεοίτιος), Άγιος (Αρκαδία), Σακελάσι (Αρκαδία), Βολοπιλά (Πηγάδι), Μόλοιο (Πολιομαδί), Άγιος Χάραξ (Γορύνια) και Φουαρό (Μεσσηνία).</li> <li>• Αρκαδία: Δολιχιά (Ερμιόνη Παπαδής, Σπυρί, Κομμένο, Μοτάζολη), Τυρός, Παραχάρα, Πουλίτρε, Βελίς, Κολίνας (Άγιος Αθανάσιος, Χίλια-Βοίτη, Σακελάσι, Κοιμητόνια, Αμυγιά), Βιζυαίο, Άγιος Πέτρος.</li> </ul> <b>Pb-Zn-μετάλλευμα</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Λακωνία: Άγιος Μόλιος (Γαργαλιές), Αρκαδία (Μολοιά, Ρίμα, Τσιβέλι), Άγιος Δημήτριος, Μονοφρασία (Καροπίσι).</li> </ul> <b>Πηρώτης</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Λακωνία: Άγιος Δημήτριος Μονοφρασία (Κουκιά), Πάρα Λακωνίας (Κουκιά), Τυρός Κουκουριάς, Μολοιά (Βιζυαίο, Μονοφρασία), Απιδιά Μολοιά (Ζαχαριάδα), Φουαίο.</li> </ul>	<b>Μη μετάλλευμα</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεσσηνία: Βασιλάσι (Ματαράδος, Γαλακτολάσι, Πηγάδι), Ρομαίρι (Άγιος Γεώργιος, Τριουλίς), Καλομάρι (Πάρα, Βρονιά, Μόλοιο), Καλομάρι (Άγιος Σερμυσιός), Καλομάρι (Άγιος Γεώργιος, Μονοφρασία).</li> <li>• Γέλις: Λακωνία, Φουαίο, Λακωνία, Κόμο, Κόμο, Μάρα (Σπατομαδί, Ρίμα, Πυλάριος), Ριζοί, Άγιος Ευφρόνιος (Κουκιά, Άγιος Γεώργιος, Κορακίσι, Βουραίο, Μολοιά, Πιάλι, Ερμιόνη, Καροπίσι, Βουραίο, Μολοιά, Μολοιά, Βουραίο, Αρκαδία, Τσίρα (Αρκαδία, Κορακίσι, Βουραίο, Τσιβέλι), Χαλκιά (Μόλοιο, Αρκαδία, Αρκαδία).</li> <li>• Αρκαδία: Πυλάριος (Ερμιόνη), Τσίρα, Σπατομαδί (Κουκιά, Ερμιόνη, Παραχάρα, Μπαρονοσηλιά, Κουκουριά, Άγιος Πέτρος).</li> <li>• Αρκαδία: Βαστά (Μπαρβαλί, Απιδιά, Κόμο, Κόμο, Κόμο, Αρκαδία, Αρκαδία, Άγιος Πέτρος, Δολιχιά, Μολοιά, Τσίρα).</li> <li>• Κονιάτι: Άγιος Βασίλειος, Παραχάρα (κοντά στην Τσίρα).</li> <li>• Λακωνία: Πυλάριος, Αρκαδία, Γορύνια.</li> </ul>

Πίνακας 2. Θέσεις εμφανίσεων μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών στον νομό Αχαΐας, όπως καταγράφηκαν στις τοπικές εφημερίδες του 19-20<sup>ου</sup> αιώνα.

Θέση	Τύπος Μεταλλείου
Σιδροκότρατο, Αραχωβίτσα, Άγιος Νικόλαος.	Fe-μετάλλευμα (Φοίνις, 11-06-1871)
Σπατομαδί-Δόκανο.	Mn-Fe-Cu-Μετάλλευμα, Γαϊάνθρακες
Λεύκα (Λαγκάδι Δραγώτη), Κορομηλιές, Κράλι-Μπράτα, Λαλά-Μάρκο, Μπαϊτάι.	Cu-μετάλλευμα (Φοίνις, 19-09-1873, 29-08-1875)
Μάρκο, Βροντούζα-Σαραβάλι, Βελίζι (Κρήνη)-Σαραβάλι, Γαϊδουριάρα-Κορακόβραχος (Καλλιθέα), Κιβούρι, Σκουρολάγκαδο, Μισολιθρα, Σκουρογιούτικα.	Cu-Fe-Γαϊάνθρακες (Ελληνική Επανάσταση, 15-09-1873)
Ζάστοβα, Μπάλα, Λουμπιστάι, Βελίτσι, Καστρίτσι, Λυκοπάζαρο-Γλαύκος, Ξηρολαλιό.	Cu-Mn-μετάλλευμα (Φοίνις, 19-09-1873)

Πίνακας 2. (συνέχεια)

Θέση	Τύπος Μεταλλείου
Ερινεός, Ζηριώτικα-Καλύβια, Σαλμενίκο (ποταμός), Δρέπανο (θάλασσα), Χρούτσα, Θηρία.	Cu-Mn-Fe-μετάλλευμα (Φοίνιξ, 18-05-1873, 10-06-1873)
Μολόνζα, Μαρτινοχώραφα, Καμάρι, Καρακαϊδόνι, Μπαμπιώτη, Χάνι Ομπλού, Βίγλα, Σκούρα, Σαρακινόκαστρο, Πολιαράθακη, Σπαρτιάς-Γρεβενό, Μαλιθάνα, Τζαγκαρούλα, Δερβένι, Αγία Παρασκευή.	Cr-Μαγγανίτης (Φοίνιξ, 15-06-1873)
Μακριά Λάκκα, Κερασιά-Σούλι.	Cu-Cr-Μαγγανίτης (Φοίνιξ, 15-06-1873)

## Βιβλιογραφία

Akylas V., 1946, Essay on the ferrous ore deposits of Feneos, Korinthia. *I.G.M.E., Unpublished Internal Essay*, 76, 1-43.

Ameely L., 1949, Geophysical research on Hermione, Argolida. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 545, 1-32.

Andonopoulos B. and Melidonis N., 1957: Research on the ore deposits of the Arcadia, and Laconia districts, Peloponnesus. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 633, 1-69.

Anastopoulos I. and Papanikolaou N., 1958: Ore deposits at the S and SE of Laconia. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 22, 1-64.

Aronis G., 1951: Research on the iron-pyrite deposits in the Hermione district. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 2, 1-35.

Aubouin J., Desprairies A. and Terry J., 1977: *Le géosynclinal d' Epire-Akarnanie, la nappe du Pinde-Olonos et la nappe ophiolithique. Bulletin Société Géologiques du France*, 19, 20-27.

Fleury J., 1980: Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). *Evolution d'une plateforme et d'un bassin dans leur cadre Alpine. Société Géologique du Nord Publications*, Lille, 4, 1-651.

Georgalas, G., 1931: Essay on the manganese ore deposits of the Eastern Messinia. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 279, 1-35.

Gruszczak H., Haranczyk C. and Melidonis N., 1970: The results of the ore deposits research of Peloponnesus. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 49, 1-103.

Jacobshagen V., Richter D., Makris J., Bachmann G., Giese P and Risch H. 1978: Alpidic development and structure of the Peloponnesus. Alps, Apennines, Hellenides, Closs H., Roeder D. H. and Schmidt K., Stuttgart, 38, 415-423.

Katsikatos G., Migiros G., Triantaphyllis M. and Mettos, A., 1986: Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly-SW. Macedonia, Euboea-Attica-N.Cyclades Islands and Lesvos). Geological and Geophysical Research Special Issue, Publications of I.G.M.E., Athens, 191-212.

Kiskyras D., 1957: The mineral wealth of Peloponnesus. Peloponisiaki Protoxronia, 120-127, Patras.

Maratos G., 1956: Essay on the ore deposits on Taygetos. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 535, 1-100.

Marinos G., Andronopoulos B. and Melidonis N., 1955: About the ferrous ore deposits of Neapolis area, Laconia. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 778, 1-62.

Marinos G., 1953a: Essay on the ore deposits west of Argos, in between the Mazi, Merkouri, and Tavlarí areas. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 329, 1-20.

Marinos G., 1953c, Preliminary studies of the pyrite deposits of Plepi area, Ermioni. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 327, 1-100.

Mousoulos L., 1962: The exploration of mineral wealth of Greece. I.G.M.E. Publications, Athens.

Liatsikas N., Solomos I., Kogevinas S. and Andreakos G., 1947: The mineral wealth of Greece. UNRRA, Athens.

**Lekkas S, 1950: Les Phyllades du Péloponnèse: Un métaflysch ionien chevauché par la série de Gavrovo-Tripolitza (Grèce). Comptes Rendus Académie Géologiques Sciences de Paris, 291, 21-24.**

Photiades A., Perseil E. and Meisser N., 1995, A Ni-rich todorokite from the middle volcaniocphiolitic unit of northern Argolis (Greece). Geological Society of Greece Special Publication, 4, 467-471.

Pultzer H., 1948: Les gisements de manganese de Péloponnèse Annales Géologiques des pays Helléniques, 2, 47-60.

Sapnas M., 1938: Essay on the Pb-Zn ore deposits of Molaous, Laconia. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 39, 1-57.

**Thiebault F., 1982: L'évolution géodynamique des Hellénides externes en Péloponnèse méridional (Grèce). Société Géologique du Nord Publications, Lille, 6, 1-574.**

**Thiebault F., 1979: Stratigraphie de la série des calcschistes et marbres (Plattenkalk) en fenêtre dans les massifs du Taygète et du Parnon (Péloponnèse-Grèce). Proceedings of 6th Congress of the Geology of Aegean Region, Athens, 2, 691-701.**

Tombros N., 2005, The newspapers of Patras, at the Othone period, 15th International Congress of the Historical Society of Greece, Thessalonica, 15, 197-228.

Tombros S., and St. Seymour K., 2007, Hermione, evolution a Te-bearing epithermal mineralization, Argolis, Hellas. 11th International Congress of the Geological Society of Greece, Athens, 37, 15-24.

Trikkalinos I., 1950: Essay on the ore magnesium deposits of Perachora area. I.G.M.E., Unpublished Internal Essay, 206, 1-85.

Tsoutrellis C., 1966, About the ferrum ore deposits and leucolite of Skinos, Perachora area, Korinthia. I.G.M.E, Unpublished Internal Essay, 1299, 1-38.

Varnavas S. and Panagos, A., 1989, Some observations on the sulphide mineralization at the Mesozoic ocean ridge in the Hermione area, Greece. Chemie der Erde, 49, 81-90.

Voreadis G., 1958: Genesis of the pyrite and manganese deposits of Ermioni, and their relationships. Bulletin of Geological Society of Greece, 3, 50-63.

## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΑΜΦΙΑΡΕΙΟΥ – ΩΡΩΠΟΥ

Τσίπουρα-Βλάχου Μ., Μιχόπουλος Κ.

*ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Ορυκτολογίας και Πετρολογίας,  
Πανεπιστημιόπολη, Ανω Ιλίσια 15784, Αθήνα.*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι περιβαλλοντικές επιδράσεις της υγρασίας, της αλατονέφωσης, της όξινης βροχής και των μικροοργανισμών στους δομικούς λίθους στον αρχαιολογικό χώρο του Αμφιάρειου στον Ωρωπό, που βρίσκεται σε χαράδρα, στις όχθες του ρέματος Μαυροδήλεσι. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως είναι η έντονη υγρασία σε συνδυασμό με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και την επίδραση αερολυμμάτων (aerosol), επέδρασαν στους δομικούς λίθους με φαινόμενα διάλυσης-απόθεσης και προκάλεσαν την ανάπτυξη των φαινομένων φθοράς. Η επίδραση των παραπάνω παραγόντων ευνόησε και τη δημιουργία μικροοργανισμών που με τη σειρά τους υποβάθμισαν περαιτέρω την αντοχή των λίθων. Οι κυριότερες φθορές που διαπιστώθηκαν είναι α) ρηγμάτωση, αποφλοιώση, αποκόλληση μεγάλων τεμαχών, που χαρακτηρίζουν κυρίως τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και β) κυψέλωση-διάνοιξη οπών και κοιλοτήτων που χαρακτηρίζουν κυρίως τους ασβεστοψαμμίτες. Για την αντιμετώπιση των εκτεταμένων φθορών, προτείνεται η αντικατάσταση των πλέον αποσασθρωμένων λίθων με αντίστοιχους «νέους».

### ENVIRONMENTAL EFFECTS ON THE BUILDING STONE OF AMPHIARION – OROPOS, ATTICA, GREECE

Tsipoura-Vlachou M., Michopoulos K.

*NKUA, Department of Geology and Geoenvironment, Section of Mineralogy and Petrology,  
Panepistimiopolis, Ano Ilissia 15784, Athens, Greece*

### Abstract

In the present study the environmental effects of humidity, aerosol, acid rain and the biodeterioration on the building stones in the archaeological site of Amphiarion in Oropos are studied. The specific archaeological site is located in a gully, by the Mavrodilesi stream. The environmental factors as the intense humidity, the acid rainfalls and probably the aerosol attack have affected the building stone and caused the deterioration by dissolution-precipitation procedures. The above environmental factors favored, also, the development of microorganism colonies in the stone that diminished the stone durability even more. The deterioration types observed are a) cracking, peeling, removal of big pieces especially on marly limestone pieces and b) sugaring formation of vugs and cavities especially on calcarenite pieces. Suggestions for the preservation of the monument are proposed, as, the restoration using corresponding "fresh" stones.

**Λέξεις κλειδιά:** Υγρασία, Ασβεσίτης, Πορώδες, Άλατα.

**Key words:** Humidity, Calcite, Porosity, Salts.

### 1. Εισαγωγή

Οι φυσικοί δομικοί λίθοι διαβρώνονται μέσω ποικίλων διεργασιών που μπορεί να έχουν χαρακτήρα φυσικό, χημικό, ηλεκτροχημικό, ακόμα και βιολογικό. Συνήθως η γήρανση

(φθορά) του λίθου είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο κατά το οποίο συνυπάρχουν περισσότεροι από ένας μηχανισμοί. Η κυρίαρχη επιρροή κάποιου από τους παραπάνω μηχανισμούς εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του λίθου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το μικροκλίμα. Η αντοχή του λίθου είναι άμεσα συνδεδεμένη με την χημικά, ορυκτολογικά, πετρογραφικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του. Το πορώδες είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες και αντοχή των λίθων στις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθόσον λίθοι με πορώδες μεγαλύτερο του 2-7% αποδεικνύονται πιο ευάλωτοι (Hale & Shakoor 2003). Το μέγεθος και η κατανομή των πόρων έχουν κρίσιμο ρόλο στις διαδικασίες φθοράς. Οι μικροί πόροι απορροφούν νερό συχνά και τείνουν να το συκκρατούν για περισσότερο διάστημα (Camuffo, 1993). Ειδικά σε λίθους ιζηματογενούς προέλευσης που έχουν μεγάλο ποσοστό ασβεσίτη ο ρόλος του πορώδους είναι κρίσιμος λόγω της ευδιαλυτότητας του ασβεσίτη από την όξινη βροχή, (Lipfert et al, 1989). Ο Camuffo (1983) έχει αποδείξει ότι πόροι με διάμετρο  $< 0,1\mu\text{m}$  είναι πολύ ευαίσθητοι σε συμπύκνωση ακόμα και σε σχετικά χαμηλή υγρασία (λόγω του φαινομένου Kelvin).

Η επίδραση του νερού είναι κρίσιμος παράγοντας στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και κατ' επέκταση στο βαθμό γήρανσης των φυσικών δομικών λίθων. Κατά την αποσάθρωση διαλυμένα συστατικά όπως  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  και  $\text{Cl}$  είναι οι πιο διαβρωτικοί παράγοντες για τους δομικούς λίθους (Winkler, 1966; Θεουλάκης, 1993).

Η κρυστάλλωση αλάτων στους πόρους του πετρώματος θεωρείται ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας φθοράς (Benavente et al, 2001; Cardell et al, 2003) με κατάληξη την απώλεια μάζας, (Tsiourga-Vlachou & Michopoulos, 2007). Τα άλατα συγκεντρώνονται στους πόρους με την διαδικασία της ύγρυνσης-ξήρανσης (Hicks, 1982). Η προέλευσή τους μπορεί να είναι θαλάσσια ή/και ηπειρωτική, βιογενής και ανθρωπογενής (Chabas, 1997).

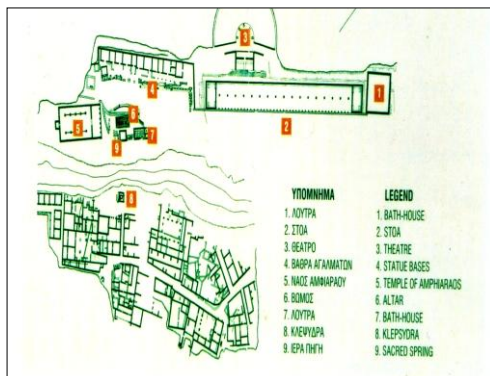
Κατά την κρυστάλλωση αλάτων, αναπτύσσεται πίεση στους πόρους του πετρώματος γνωστή με τον όρο «πίεση κρυστάλλωσης» (pressure crystallization). Ο βαθμός φθοράς εξαρτάται από τον βαθμό κορεσμού του διαλύματος και το μέγεθος των πόρων του πετρώματος (Benavente et al, 1999). Η κατανομή των πόρων είναι επίσης σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία κρυστάλλωσης αλάτων, καθόσον λίθοι με μεγάλο ποσοστό μεγάλων πόρων και μικρότερο ποσοστό μικρών πόρων εμφανίζονται πιο ευάλωτοι στην διάβρωση από κρυστάλλωση αλάτων (Theoulakis and Moropoulou 1997).

Επιπλέον, η δράση των μικροοργανισμών είναι ένας παράγοντας που ευνοεί την διάβρωση, (Sterflinger & Krumbain, 1997; Winkler et al, 1997).

## 2. Θέση-περιγραφή

Ο αρχαιολογικός χώρος του Αμφιάρειου βρίσκεται στην Βόρεια Αττική 2χιλ. βορειοδυτικά του Καλάμου και 5χιλ. νοτιοανατολικά της Σκάλας Ωρωπού, σε μία κατάφυτη χαράδρα, στις όχθες του ρέματος Μαυροδήλεσι,.

Ήταν το μεγαλύτερο ιερό του μάντη και ήρωα Αμφιάραου που μετά τον θάνατό του θεοποιήθηκε. Το συγκρότημα είναι του 4<sup>ου</sup> πΧ αιώνα, στους δε Χριστιανικούς χρόνους χρησιμοποιήθηκαν οι λουτρικές εγκαταστάσεις του σαν θερμές. Περιλαμβάνει διάφορα τμήματα, όπως: ναό, θέατρο, λουτρά, βωμό, στοά, αγάλματα, ιερή πηγή, κλεψύδρα, ξενώνες, και κατοικίες, καθόσον οι χρησμοί και οι θεραπείες πραγματοποιούντο κατά την διάρκεια του ύπνου, (Σχήμα 1,2). Ο ναός του 4<sup>ου</sup> πΧ αιώνα ήταν εξάστυλος δωρικός. Το νότιο μισό τμήμα του όμως, παρασύρθηκε από το διερχόμενο ρέμα κατά τα ρωμαϊκά χρόνια. Περιεβάλλετο από τείχος (περίβολο) το ποίο έχει καταστραφεί (Πετράκος, 1968). Η επίσημη γιορτή του ιερού τα Αμφιάρεια, γίνονταν καλοκαίρι και διακρίνονταν σε Μικρά (ετήσια) και Μεγάλα (κάθε 5 χρόνια). Οι ανασκαφές στον χώρο άρχισαν το 1884.



Σχήμα 1. Κάτοψη του αρχαιολογικού χώρου (από Πετράκο, 1968)



Σχήμα 2. Γενική άποψη του αρχαιολογικού χώρου από τα βόρεια. Διακρίνονται οι μαρμαρίνοι κίονες του προσκηνίου, το θέατρο στα δεξιά και αριστερά η στοά.

### 3. Γεωλογικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Αττικής συνίσταται από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους από τους παρακάτω σχηματισμούς:

**Προνεογενείς Σχηματισμοί:** Ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη. Σχιστόλιθοι με ενδιαστρώσεις μαρμάρων, σιπολινιών του Νεοελληνικού τεκτονικού καλύματος (ΙΓΜΕ, φύλλο Ερέτρια 1: 50000) Επικείται αυτών επωθημένοι ασβεστόλιθοι Μ.Τριαδικού-Κ.Ιουρασικού, μέσω έως παχυστρωματώδεις, ανοικτότεφροι και τοπικά ροδόχρωμοι που κατά θέσεις εμφανίζονται σαν βίο ή ωσειδείς ασβεστόλιθοι.

Στους παραπάνω σχηματισμούς ανήκουν και οφιόλιθοι που εμφανίζονται μαζί με Ιουρασικούς ασβεστόλιθους. Έχουν χαρακτηριστική εμφάνιση κατά μήκος του δρόμου από τον Κάλαμο προς τους Αγίους Αποστόλους.

**Νεογενείς Σχηματισμοί:** Πρόκειται κυρίως για εναλλαγές σχηματισμών ποτάμιας και λιμναίας φάσης. Συνίστανται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους, μαργαίκοις ασβεστόλιθους, σκληρούς τραβερτίνες ή τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους και σκληρές τεφρόλευκες μάργες (ΙΓΜΕ, φύλλο Ερέτρια 1: 50000). Οι παραπάνω σχηματισμοί έχουν ηλικία Άνω-Μειόκαινο. Υπερκείμενοι των παραπάνω σχηματισμών απαντώνται Κάτω-Πλειστοκαινικοί αποθέσεις ποταμοχερσαίας φάσης (Μέττος, 1992). Συνίστανται κυρίως από αποθέσεις αργίλων, ηπλών και κροκαλοπαγών. Οι σχηματισμοί αυτοί υπόκεινται των ολοκαινικών αποθέσεων που αποτελούνται από χαλαρά αργίλοσαμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες, χειμάρριες αποθέσεις και παράκτιες αποθέσεις άμμων και κροκαλών.

### 4. Δεδομένα και μεθοδολογία

Στον Αρχαιολογικό χώρο η έρευνα εστίασθη στο ναό του Αμφιάραου, το αναλημματικό τείχος (συγκράτησης), στο θέατρο και στη στοά (εγκοιμητήριο), από όπου μελετήθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα.

Οι δομικοί λίθοι, εκτός λίγων περιπτώσεων που αφορούν αγάλματα και χρησιμοποιήθηκε μάρμαρο, είναι ιζηματογενούς προέλευσης.

Στον πίνακα 1 αναφέρονται τα διάφορα τμήματα του αρχαιολογικού χώρου και οι δομικοί λίθοι που έχουν χρησιμοποιηθεί. Η ακριβής θέση προέλευσης των δομικών λίθων δεν έχει



πιστοποιηθεί από αρχαιολογικές μελέτες. Το μόνο γνωστό είναι ότι προέρχονται από περιοχές που δεν απείχαν πολύ από το ιερό. Από την γεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής τόσο στο υπαίθρο όσο και βιβλιογραφικά (Μέττος, 1992) διαπιστώθηκε ότι ο αρχαιολογικός χώρος και η ευρύτερη περιοχή συνίσταται από μάρμες και μαργαίους ασβεστόλιθους της ενότητας Μαλακάσας - Καλάμου. Αυτός ο μαργαίος ασβεστόλιθος μπορεί να αποτελεί δομικό υλικό στο ναό και στο θέατρο. Όσον αφορά τον τραβερτίνη και τον εύθρυπτο ασβεστόλιθο του τείχους, που ανήκουν και αυτοί στους Ανω-Μειοκαινικούς σχηματισμούς Μαλακάσας-Καλάμου, (Katsinis et al 1997), δεν εντοπίστηκε επιφανειακή εμφάνιση τους στην ευρύτερη περιοχή. Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την υπαίθρια παρατήρηση διαπιστώθηκε η επιφανειακή εμφάνιση υπόλευκου τραβερτίνη στο ύψωμα του Καμαρίου που ωστόσο διέφερε σημαντικά από τον αντίστοιχο τραβερτίνη του αναλημματικού τείχους, (Μιχόπουλος, 2006). Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η περιοχή εμφανίζει έντονη φυτική κάλυψη και περιορισμένο οδικό σύστημα.

Τα φαινόμενα γήρανσης που εμφανίζουν οι ιζηματογενείς δομικοί λίθοι μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν έντονα και εκτεταμένα με σημαντική απώλεια μάζας και αλλοίωση του αρχικού σχήματος των τεμαχίων. (Σχήμα 3,4,5,6). Τα φαινόμενα φθοράς μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες ομάδες.



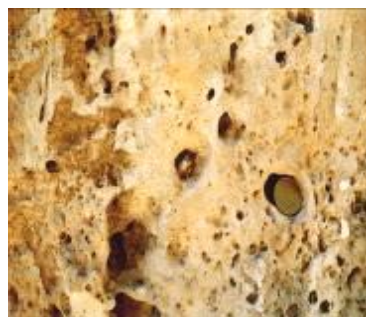
Σχήμα 3. Μαργαίος ασβεστόλιθος σε κίονα του ναού με έντονη αποκόλληση τεμαχίου



Σχήμα 4. Μαργαίος ασβεστόλιθος σε κίονα του ναού με έντονα ρηγματωμένη επιφάνεια.



Σχήμα 5. Κίονας της στοάς από ασβεστοψαμμίτη που παρουσιάζει έντονη γήρανση.



Σχήμα 6. Εκτεταμένη ανάπτυξη οπών ποικίλης διαμέτρου σε κίονα της στοάς από ασβεστοψαμμίτη.

Στην πρώτη, που χαρακτηρίζει κυρίως τους μαργαικούς ασβεστόλιθους, η γήρανση εμφανίζεται: α) έντονη, με την μορφή αποκόλλησης τεμαχών μεγάλου μεγέθους (έως και 40εκ) (Σχήμα 3) και ρηγματώσεων (Σχήμα 4). Πολλά από τα αποκολλημένα τεμάχια βρίσκονται στο έδαφος, στις βάσεις των κιόνων. β) ηπιότερη, με αποφλοίωση και αποκόλληση τεμαχών με μέγεθος μικρότερο των 2εκ.

Στην δεύτερη ομάδα που χαρακτηρίζει τους ασβεστοψαμίτες η γήρανση εμφανίζεται με την μορφή οπών (κοιλοτήτων), με διάμετρο μέχρι 5εκ και βάθος 1-4εκ και χασμάτων ακανόνιστου σχήματος και βάθος περίπου 5-6εκ. (Σχήμα 5, 6).

Αντίθετα τα φαινόμενα γήρανσης των μαρμάρων που έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως σε αγάλματα και στους θρόνους του θεάτρου φαίνονται περιορισμένου βαθμού.

Αντιπροσωπευτικά δείγματα από τις θέσεις του αρχαιολογικού χώρου που φαίνονται στον πίνακα 1, μελετήθηκαν εργαστηριακά ως προς τις φυσικές παραμέτρους, όπως φαινόμενα και απόλυτη πυκνότητα, βαθμός συνεκτικότητας, υδαταπορρόφηση και ποροσιμετρία. Η ποροσιμετρία εκτιμήθηκε με το μικροσκόπιο Motic που ήταν συνδεδεμένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Motic Images Plus Version 2.0 ML.

Λεπτές τομές μελετήθηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο. Σπιλνές τομές και φυσικά δείγματα μελετήθηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM JEOL JSM-5600 εξοπλισμένο με συσκευή μικροανάλυσης EDX OXFORD LINKTM ISISTM300.

Τα δείγματα, τυχαία προσανατολισμένα αναλύθηκαν ορυκτολογικά με περιθλασίμετρο ακτίνων X Siemens 5005 με χρήση φίλτρου Ni και ακτινοβολία CuK $\alpha$ .

*Πίνακας 1. Χρήση διαφορετικών λίθων σε τμήματα του αρχαιολογικού χώρου*

ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ			
Ναός	Γκριζολευκος μαργαικός ασβεστόλιθος κιόνων με έντονη γήρανση	Γκριζος σκληρός ασβεστόλιθος Κιόνων χωρίς έντονη γήρανση	Λευκό μάρμαρο αγάλματος χωρίς έντονη γήρανση	μαργαικός ασβεστόλιθος κατώτερης τοιχοποιίας χωρίς έντονη γήρανση
Αναλημματικό τείχος	Γκριζοί-υπόλευκοι εύθρυπτοι ασβεστόλιθοι με έντονη γήρανση	Υποκίτρινοι-καφέ τραβερτίνες με έντονη γήρανση		
Θέατρο	Λευκό μάρμαρο με περιορισμένη γήρανση Θρόνοι- κιονοστοιχία	Γκριζολευκος μαργαικός ασβεστόλιθος προσκήνιο με έντονη γήρανση	Γκριζολευκος αργιλομιγής ασβεστόλιθος τοιχοποιία περιορισμένη γήρανση	
Στοά	Γκριζοκίτρινος ασβεστοψαμίτης κιόνων με πολύ έντονη γήρανση	Γκριζόλευκος ασβεστόλιθος συνεκτικός κιόνων χωρίς έντονη γήρανση		

**5. Αποτελέσματα - Συζήτηση**

Δείγματα Δομικών λίθων που συλλέχθηκαν από το ναό του Αμφιάραου, το θέατρο και τη στοά προετοιμάστηκαν κατάλληλα και ακολούθησε η μελέτη τους στο πολωτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) καθώς και στη συσκευή περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Η πετρογραφική παρατήρηση των δειγμάτων σε λεπτές τομές στο πολωτικό μικροσκόπιο έδωσε τα στοιχεία ταξινόμησης που φαίνονται στον Πίνακα 2. Οι δομικοί λίθοι των μνημείων είναι κυρίως μεικτά πετρώματα (μαργαίκοι-αργιλομιγείς μικριτικοί-σπαρικοί ασβεστόλιθοι με κυμαινόμενο ποσοστό βιοκλαστών από 5 μέχρι 20%). Ιδιαίτερα έντονη είναι η παρουσία ωοειδών στους ασβεστοψαμμίτες (ωοσπαρίτες) των κίωνων της στοάς.

*Πίνακας 2. Πετρολογικός χαρακτηρισμός των δομικών λίθων*

Δείγμα	Προέλευση (Μνημείο)	Κύρια ορυκτολογικά συστατικά	Ταξινόμηση κατά Folk (1976)
1	Κίονας Στοάς Ναού	Ασβεσίτης, χαλαζίας,	βιομικροσπαρίτης
2a	Προσκήνιο Θεάτρου	Ασβεσίτης,	μικροσπαρίτης
2b	Προσκήνιο Θεάτρου	Ασβεσίτης,	μικροσπαρίτης
2c	Προσκήνιο Θεάτρου	Ασβεσίτης,	βιομικρίτης
3	Κερκίδα Θεάτρου	Ασβεσίτης, χαλαζίας	ασβεστοψαμμίτης
4	Κίονας Στοάς Εγκ.	Ασβεσίτης,	ωοσπαρίτης

Στον πίνακα 3 δίδονται τα στοιχεία των ποιοτικών ορυκτολογικών αναλύσεων με περιθλασίμετρο XRD και ποσοτικών εκτιμήσεων σε αντιπροσωπευτικά δείγματα.

*Πίνακας 3. Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων*

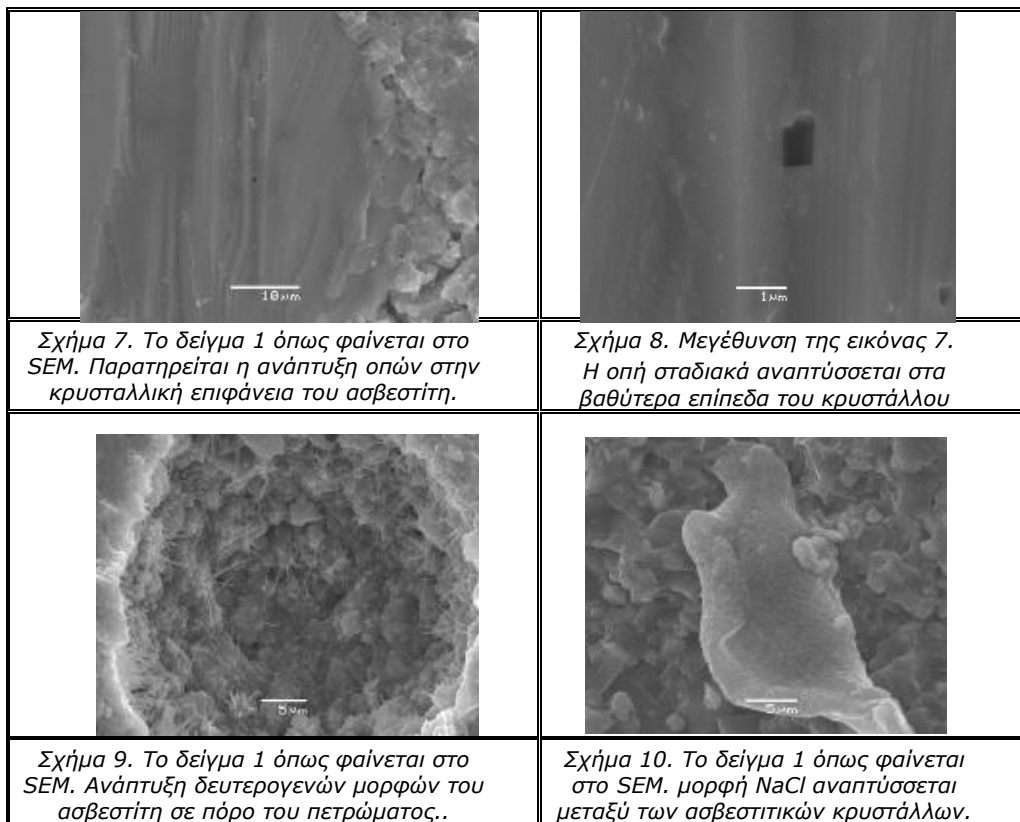
	Cc	Rdch	Ar	Dol	Qtz	Anor	Gyp	Musc	Chl-Sm	Ill	Kaol
1,	++++	+			+	+			+		+
2a,2b	++++	+			+	+			+		+
2c	++++				+		+	+		+	+
3	++++	+			+						++
4	+++		++	+	+				+	+	++

Cc: Ασβεσίτης Rdch: Ροδοχρωσίτης, Ar: Αραγωνίτης, Dol: Δολομίτης, Anor: Ανορθοσίτης, Gyp: γύψος, Kaol: Καολινίτης, Musc: Μοσχοβίτης, Sm: Σμηκτίτης, Ill: Ιλλίτης, Chl:Χλωρίτης, + Ιχνη ++ Χαμηλή Περιεκτικότητα +++ Μέση Περιεκτικότητα ++++ Υψηλή Περιεκτικότητα

Η παρατήρηση των φυσικών δειγμάτων στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, επιβεβαίωσε τα στοιχεία των παρατηρήσεων στο πολωτικό, έδωσε όμως και επιπλέον πετρογραφικά στοιχεία, που συνεισφέρουν στην ερμηνεία των φαινομένων φθοράς. Ειδικότερα έγιναν οι ακόλουθες παρατηρήσεις και διαπιστώσεις.

### 5.1. Ναός Αμφιάραου

Στον μαργαϊκό ασβεστόλιθο του ναού του Αμφιάραου παρατηρήθηκαν οπές στις κρυσταλλικές επιφάνειες του ασβεστίτη, κυρίως του σπαριτικού. Οι οπές αυτές σταδιακά αναπτύσσονται σε βαθύτερα επίπεδα του κρυστάλλου, υποβαθμίζοντας την συνοχή και γενικότερα την αντοχή του λίθου (Σχήμα.7, 8).

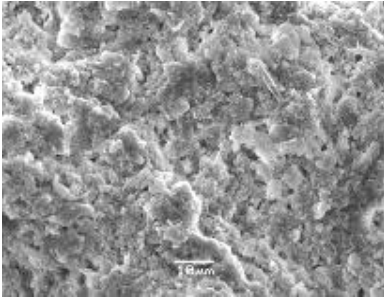


Χαρακτηριστική είναι και η ανάπτυξη δευτερογενών μορφών του ασβεστίτη σε πόρους με διάμετρο μεγαλύτερη των 30μm (Σχήμα 9). Μπορεί να διατάσσονται σε ακανθώδη σχήματα και να συνδέονται κατά το ένα άκρο τους με πρωτογενείς κρυσταλλικές μορφές. Ο σχηματισμός τους οφείλεται σε δευτερογενή επιλεκτική κρυστάλλωση εντός των μεγαλύτερων πόρων από κορεσμένα πορικά διαλύματα. Η επιφάνεια των κρυστάλλων του ασβεστίτη εμφανίζει εκτός από τις οπές και άλλες μορφές διάλυσης όπως λείανση και εξαφάνιση των κρυσταλλικών εδρών καθώς και τον σχηματισμό αυλακώσεων και καναλιών (Σχήμα 7, 23).

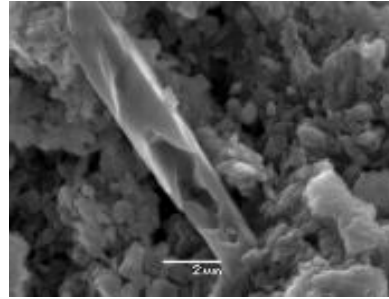
Κατά θέσεις παρατηρήθηκαν μορφές NaCl που έχουν υποστεί μερική διάλυση να αναπτύσσονται μεταξύ των ασβεστιτικών κρυστάλλων (Σχήμα.10).

## 5.2. Θέατρο

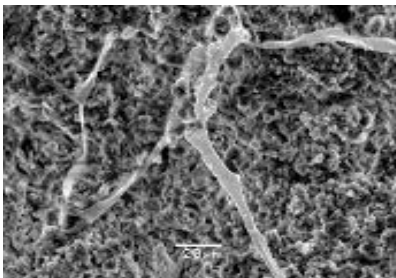
Στον ασβεστόλιθο του προσκηνίου του θεάτρου διαπιστώθηκε η παρουσία μορφών NaCl που έχουν υποστεί μερική διάλυση και αναπτύσσονται μεταξύ των ασβεστιπικών κρυστάλλων (Σχήμα 12). Η κρυστάλλωση αυτή ασκεί πίεση στο εσωτερικό του πετρώματος και υποβαθμίζει προοδευτικά την αντοχή του.



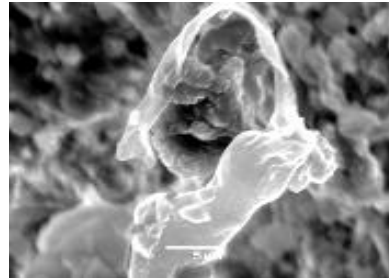
Σχήμα 11. Το δείγμα 2a όπως φαίνεται στο SEM. Διακρίνονται μικρού μεγέθους οπές μεταξύ των κρυστάλλων ασβεσίτη



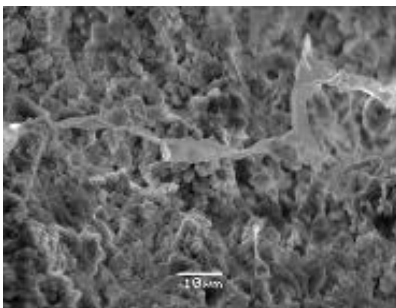
Σχήμα 12. Λεπτομέρεια του σχήματος 11. Διακρίνεται η ανάπτυξη άλατος NaCl σε επιμήκη μορφή.



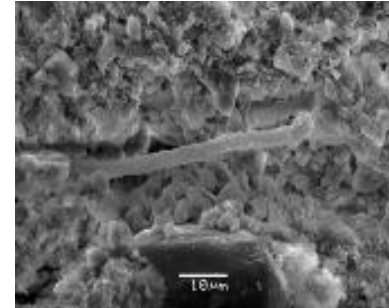
Σχήμα 13. Το δείγμα 2b όπως φαίνεται στο SEM. Μικροοργανισμοί αναπτύσσεται μεταξύ των κόκκων.



Σχήμα 14. Λεπτομέρεια του σχήματος 13. Ο μικροοργανισμός περιβάλλει κρυστάλλους ασβεσίτη.



Σχήμα 15. Το δείγμα 2b όπως φαίνεται στο SEM. Μικροοργανισμοί δευτερογενώς καλυμμένοι με ασβεσίτη αναπτύχθηκαν μεταξύ των κόκκων του πετρώματος



Σχήμα 16. Το δείγμα 3 όπως φαίνεται στο SEM. Μικροοργανισμός σωληνόμορφου σχήματος εμφανίζεται μεταξύ των κόκκων του πετρώματος. Πάνω σε αυτόν αναπτύχθηκαν δευτερογενώς ασβεστιπικοί κρύσταλλοι

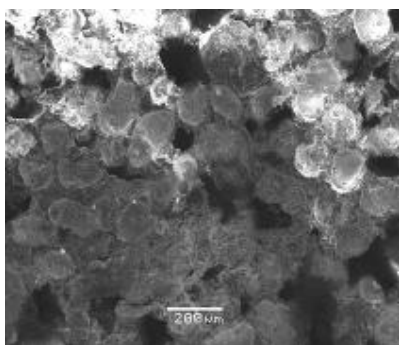
Επίσης στους πόρους του παραπάνω πετρώματος παρατηρήθηκε η ανάπτυξη μικροοργανισμών που εισχωρούν ανάμεσα στους κόκκους και οι οποίοι δευτερογενώς έχουν καλυφθεί από ασβεσίτη (Σχήμα 13,14). Με τις διεργασίες του μεταβολισμού διαλύουν τον ασβεσίτη και συντελούν στην αποδυνάμωση του συνδετικού υλικού και την χαλάρωση-απώλεια των κόκκων, (Gomez-Alarcon et al, 1995). Το ίδιο φαινόμενο διαπιστώθηκε και στον ασβεστόλιθο της κερκίδας του θεάτρου (Σχήμα 15,16). Επειδή η βιοδιάβρωση εξαρτάται από τις συνθήκες υγρασίας, από το είδος των μικροοργανισμών, από τους θρεπτικούς παράγοντες, και τον χρόνο παραμονής (Grassegger, 1999; Dornieden et al, 2000), η ανάπτυξη των μικροοργανισμών δεν είναι ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία.

Το δείγμα 2c που συλλέχθηκε από το προσκήνιο του θεάτρου παρουσιάζει μεγαλύτερη συνεκτικότητα (μικρότερο πορώδες) συγκριτικά με το δείγμα 2b. Ομως φαινόμενα εναλλασσόμενης τήξης-πήξης αναπτύσσονται με ιδιαίτερη ένταση σε μικροπορώδες λίθους (Bell & Dearman 1988). Παρόλο που το πορώδες και το μέγεθος των πόρων είναι μικρότερο από το δείγμα 2b, σε μεμονωμένες θέσεις διαπιστώθηκε η ύπαρξη μορφών γύψου.

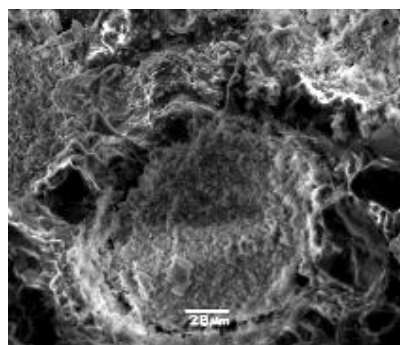
Επιφάνειες ασβεσίτη υγρές απορροφούν εύκολότερα  $SO_2$  από την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό γύψου. Με τον σχηματισμό γύψου οι επιφάνειες γίνονται κορεσμένες και ο ρυθμός κρυστάλλωσης μειώνεται. Με την βροχή απομακρύνεται η γύψος λόγω της μεγαλύτερης διαλυτότητας σε σχέση με τον ασβεσίτη και προοδευτικά με επαναλαμβανόμενους κύκλους αυξάνεται ο ρυθμός διάβρωσης. Η προέλευση του  $SO_2$  μπορεί να είναι και βιογενής, από τις διαδικασίες διαβίωσης των μικροοργανισμών.

### 5.3. Στοά (Εγκοιμητήριο)

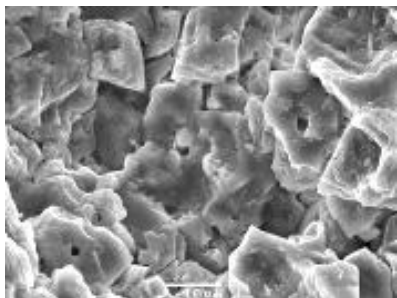
Στους ασβεστόλιθους του εγκοιμητηρίου διαπιστώθηκε σε αρκετές θέσεις η ασθενής σύνδεση των ωοειδών που σχετίζεται με την διαλυτική δράση των διαλυμάτων των πόρων στο ασβεσιτικό συνδετικό υλικό (Σχήμα 17,18).



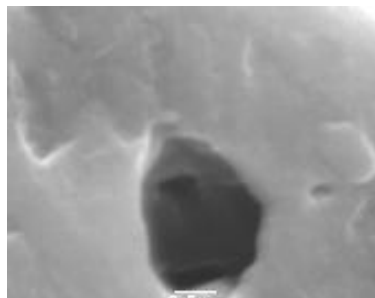
Σχήμα 17. Ωοειδής ασβεστόλιθος από κίονα της στοάς όπως φαίνεται στο SEM. Εμφανίζει διακοκκώδες πορώδες. Οι πόροι απαντούν μεταξύ των ωοειδών στις θέσεις όπου απουσιάζει το ασβεσιτικό συνδετικό υλικό.



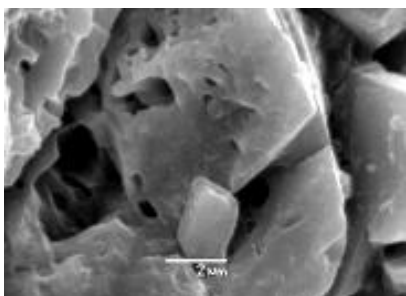
Σχήμα 18. Ωοειδής περιβάλλεται από κρυστάλλους ασβεσίτη του συνδετικού υλικού. Οι τελευταίοι έχουν υποστεί διάλυση σε σημαντικό βαθμό και δεν εμφανίζουν κρυσταλλικές έδρες.



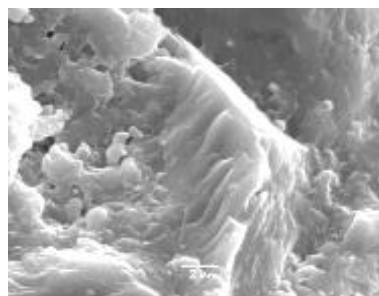
Σχήμα 19. Ο ασβεστόλιθος της στοάς όπως φαίνεται στο SEM. Είναι εμφανής η ανάπτυξη οπών επί των κρυσταλλικών επιφανειών του ασβεστίτη ως αποτέλεσμα μερικής διάλυσης από υδατικά διαλύματα.



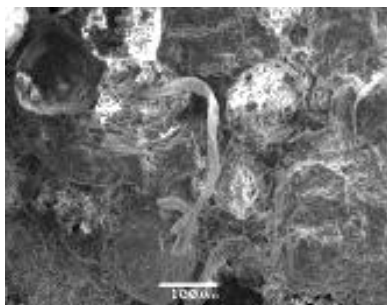
Σχήμα 20. Η οπή του σχήματος υπό μεγέθυνση στο SEM. Διακρίνεται η ανάπτυξη και άλλων οπών στα βαθύτερα επίπεδα του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της επαναλαμβανόμενης επίδρασης των υδατικών διαλυμάτων στο εσωτερικό του.



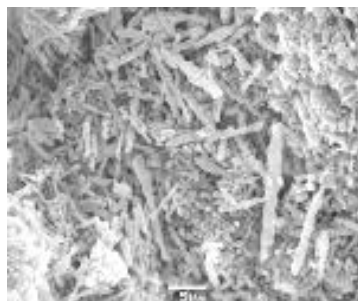
Σχήμα 21. Πολυάριθμες οπές σε κρύσταλλο ασβεστίτη που αναπτύχθηκαν λόγω της εκτεταμένης διάλυσης.



Σχήμα 22. Διακρίνεται η ανάπτυξη αυλακώσεων (καναλιών) στην επιφάνεια του ασβεστίτη.



Σχήμα 23. Ωοειδής ασβεστόλιθος από τον κίονα της στοάς όπως φαίνεται στο SEM. Ο μικροοργανισμός που αναπτύσσεται μεταξύ των ωοειδών υποβαθμίζει τη συνοχή του πετρώματος.



Σχήμα 24. Ραβδόμορφοι μικροοργανισμοί που πιθανόν αντιστοιχούν σε βακτήρια αναπτύσσονται εντός του πυρήνα ωοειδούς.

Επιπλέον διαπιστώθηκε σε αρκετά δείγματα η παρουσία οπών επί της κρυσταλλικής επιφάνειας του ασβεστίτη. Οι οπές αυτές αναπτύσσονται σταδιακά σε βαθύτερα επίπεδα των κρυστάλλων και ελαττώνουν τη συνοχή τους. Ο σχηματισμός τους ευνοείται από την επαναλαμβανόμενη δράση των υδατικών διαλυμάτων των πόρων. Τα διαλύματα αυτά προκαλούν τη μερική διάλυση του ασβεστίτη και σταδιακά εισχωρούν στο εσωτερικό του κρυστάλλου σχηματίζοντας οπές (Σχήμα 19, 20, 21). Επίσης η παρουσία αυλακώσεων (καναλιών) επί της επιφάνειας των κρυστάλλων του ασβεστίτη, αποδόθηκε στην διαλυτική δράση των παραπάνω διαλυμάτων (Σχήμα 22).

Μεμονωμένα διαπιστώθηκε η παρουσία πρόσφατων μικροοργανισμών που με τη βιολογική τους δράση υποβαθμίζουν τη συνοχή του πετρώματος (Σχήμα 23, 24).

Στους παραπάνω παράγοντες διάβρωσης των λίθων μπορεί να προστεθεί και η επίδραση των νερών εδάφους που ανέρχονται με τριχοειδή αναρρίχηση και μπορούν να συμπαρασύρουν τα διαλυτά συστατικά των αργιλοपुरιτικών κυρίως ορυκτών του εδάφους. Τοπικά παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της έντασης των φαινομένων φθοράς κυρίως σε σημεία επαφής με το έδαφος (αναλημματικό τείχος). Το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης του νερού είναι συνηθισμένος τρόπος εισόδου του νερού και απόθεσης αλάτων στο λίθο, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Arnold 1982; Karoglou et al 2005).

## 6. Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη θέση, που βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος του Αμφιάρειου οι έντονες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε συνδυασμό με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και ενδεχομένως την επίδραση αερολυμάτων (aerosol), επέδρασαν στους δομικούς λίθους και ευνόησαν την ανάπτυξη των φαινομένων φθοράς. Ακόμη η επίδραση των κλιματικών παραγόντων ευνόησε τη δημιουργία μικροοργανισμών που με τη σειρά τους υποβάθμισαν περαιτέρω την αντοχή των λίθων.

Οι παραπάνω περιβαλλοντικοί παράγοντες που επέδρασαν κατά τον ίδιο βαθμό στους δομικούς λίθους των μνημείων, προκάλεσαν την εκδήλωση των φαινομένων φθοράς με διαφορετικές μορφές και ένταση. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στα ιδιαίτερα πετρογραφικά χαρακτηριστικά των λίθων και τον προσανατολισμό-θέση τους στο χώρο. Στους δομικούς λίθους των κιόνων του ναού του Αμφιάραου και του προσκηνίου του θεάτρου διαπιστώθηκαν φαινόμενα αποφλοίωσης-αποκόλλησης τεμαχίων της επιφάνειας σε διαφορετικό βαθμό. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των κιόνων του ναού και του προσκηνίου του θεάτρου δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στην ορυκτολογική τους σύσταση. Ωστόσο στο υψηλότερο ποσοστό και στη μεγαλύτερη ανομοιομορφία στο μέγεθος των πόρων των λίθων του ναού αποδίδεται η ανάπτυξη των φαινομένων γήρανσης σε εντονότερο βαθμό.

Αντίθετα στους κίονες της στοάς (ασβεστοψαμμίτες) παρατηρήθηκε η έντονη ανάπτυξη πολυάριθμων οπών ποικίλου μεγέθους, που μπορεί να χαρακτηριστεί σαν προχωρημένο στάδιο κυψέλωσης, που αλλοίωσε έντονα τα αρχιτεκτονικά τους χαρακτηριστικά. Η δημιουργία των οπών οφείλεται στη διαφορετική κοκκομετρική ταξινόμηση, στο υψηλότερο πορώδες και στη μεγαλύτερη διασπορά των διαμέτρων των πόρων συγκριτικά με τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Η εντονότερη παρουσία των «μικρότερων» πόρων στους ασβεστοψαμμίτες διευκόλυνε την παραμονή διαλυμάτων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ευνοώντας την ανάπτυξη του παραπάνω τύπου φθοράς.

Αξίζει να σημειωθεί ιδιαίτερος, η επίδραση των μικροοργανισμών στους δομικούς λίθους των μνημείων που σε συνδυασμό με τις παραπάνω παραμέτρους, ενίσχυσαν την εκδήλωση των φαινομένων γήρανσης.

## 7. Προτάσεις για την αποκατάσταση του μνημείου

Μια προσέγγιση αποκατάστασης των φθορών των δομικών λίθων είναι η αντικατάσταση



των πολύ αποσπασμένων τμημάτων, από αντίστοιχα «νέα» πετρώματα. Όπως έχει αναφερθεί στη παράγραφο 4 δεν έχουν εντοπισθεί αρχαία λατομεία στην ευρύτερη περιοχή. Για να προσδιοσθούν εμφανίσεις αντίστοιχης λιθολογικής σύστασης με τους δομικούς λίθους, ώστε να αυτοί να ταυτοποιηθούν, απαιτούνται λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής του Αμφιάρειου και εργαστηριακές μελέτες.

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας ερευνήθηκαν, στην ευρύτερη περιοχή, λιθολογικές εμφανίσεις μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και τραβερτινών του Ανώτερου Μειόκαινου, που θα μπορούσαν να ταυτοποιηθούν με τους δομικούς λίθους του Αμφιάρειου. Αυτές είναι: α) η περιοχή περιμετρικά του Καλάμου, με έμφαση: στη θέση Κοκκινόγεια (βορειοανατολικά του υψώματος του Καμαρίου), στην περιοχή δυτικά-βορειοδυτικά του Καλάμου, στην περιοχή του ρέματος Μαυροδήλεσι και στο ύψωμα της Μαυρηνώρας. β) η περιοχή Αγίου Γεωργίου-Μαρκόπουλου (Αγίας Παρασκευής )-Μήλεσι.

Περαιτέρω πετρολογική μελέτη στις παραπάνω περιοχές θεωρείται ότι θα συμβάλει στην ταυτοποίηση και στην επιλογή των πλέον κατάλληλων λιθολογικών εμφανίσεων για τυχόν αντικατάσταση δομικών λίθων του Αμφιάρειου, στα πλαίσια αποκατάστασης του μνημείου.

## Βιβλιογραφία

Θεουλάκης Π., 1993. Μελέτη των αιτίων και των μηχανισμών διάβρωσης του ψαμμίτη του κάστρου και της Μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου. Διδακτορική Διατριβή. ΕΜΠ. Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Τομέας της Επιστήμης και Τεχνικής των υλικών.

Ι.Γ.Μ.Ε., 2000. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, φύλλο Ερέτρια, 1:50000.

Μέττος Α., 1992. Γεωλογική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Ηπειρωτικών Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών ΒΑ Αττικής και ΝΑ Βοιωτίας. Διδακτορική Διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Μιχόπουλος Κ. 2006. Μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επί των δομικών λίθων μνημείων της Αττικής. Μεταπτυχιακή διατριβή, Εκ. ΕΚΠΑ.

Πετράκος Β., 1968. Ο Ωρωπός και το ιερό του Αμφιάρειου. *Η εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρεία*, 7, 72-118.

Arnold A., 1982 In: *Fourth International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone Objects*, Louisville, pp. 11-28.

Bell F.G. and W.R. Dearman, 1988. Assesment of the durability of sandstones with illustrations from some buildings in the North of England. *The Engineering Geology of Ancient Works Monuments and Historical sites. Preservation and Protection*. Proceedings of an International Symposium organized by the Greek National Group of I.A.E.G. vol. 2, 707-716.

Benavente D, M.A. Garcia del Cura, A. Bernabeu, S. Ordonez, 2001. Quantification of salt weathering in porous stones using experimental continuous partial immersion method. *Engineering Geology*: 59: 313-25.

Benavente D., M.A. Garcia del Cura, R. Fort, S. Ordonez, 1999. Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallization in porous media of stone. *Journal of Crystal Growth* 204:168-78.

Camuffo D., 1983. Condensation-Evaporation Cycles in pore and capillary systems according to the Kelvin model. *Water Air and Soil Pollution* 21, pp151-159.

Camuffo D., 1993. Pores Capillary and Moisture Movement in the Stone In: *Diagnosis and Conservation* Ed. F. Zezza, CUM Heraklion Crete, pp27-42.

Cardell C., F. Delalieux, K. Roumpopoulos, A. Moropoulou, F. Auger, R. Van Grieken 2003. Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Construction and Building Materials* 17 165–179.

Chabas A and R.A Lefevre, 1997. The *sea salts transported by aerosols and deposited on stones at the Delos archeological site (Cyclades islands-Greece)* Proc. 4<sup>th</sup> International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes. determining the susceptibility of porous building stones to salt decay. *Construction and Building Materials*, Vol. 11, No. 1, pp. 65-71, Elsevier Science Ltd.

Dornieden Th., A.A. Gorbushina, W.E. Krumbein, 2000. Biodecay of cultural heritage as a space/time-related ecological situation an evaluation of a series of studies. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46 261, 2 Elsevier.

Elsevier Science Ltd.

Gomez-Alarcon G., B. Cilleros, M. Flores J. Lorenzo, 1995. Microbial communities and alteration processes in monuments at Alcalá de Henares, Spain. *Science of The Total Environment*; 167:231–9.

Grassegger G., 1999. Decay mechanisms of natural building stones on monuments- A review of the latest theories. Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing H.-W. Reinhardt. IBW, Stuttgart. Pr. In Germany.

Hale P. and A. Shakoor 2003. A laboratory investigation of the effects of cyclic heating and cooling, wetting and drying and freezing and thawing on the compressive strength of selected sandstones. *Environmental and Engineering Geoscience* v 9 no2, p117-13.

Hicks B.B. 1982. Wet and dry surface deposition of air pollutant and their modeling. *Conservation of historic stone buildings and monuments*. Academic Press, Washington D. C.

Karoglou M., A. Moropoulou, A. Giakoumaki, M.K. Krokida, 2005. Capillary rise kinetics of some building materials. *Journal of Colloid and Interface Science* 284 260–264,

Katsinis D., St. Lozios, A. Patra, M. Kliafa, 1997. *Technicogeological Recognition of the deteriorations of the surrounding stone wall of the Amfiarion in Oropos*. Proceedings 4<sup>th</sup> International symposium on the conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes.

Lipfert F.W., 1989. Atmospheric damage to calcareous stones: Comparison and reconciliation of recent experimental findings *Atmospheric Environment* Vol. 23, No. 2, pp. 415-429, 1989. Printed in Great Britain. Pergamon press plc.

Sterflinger K. and W.E. Krumbein, 1997. *Biogenic decay of the monuments in the sanctuary of Delos(Cyclades-Greece)- Organisms, mechanisms of decay and possible conservation treatments*. Proceedings 4<sup>th</sup> International symposium on the conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes.

Theoulakis P. and A. Moropoulou, 1997. Microstructural and mechanical parameters

Tsipoura-Vlachou M. and K. Michopoulos, 2007. *Decay characterization and causes of the building stone at the Artemis temple, Brauron*, E. Attici, Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, Proc. 11<sup>th</sup> Inter. Congress, Athens.

Winkler E.M., 1966. Important agents of weathering for building and monumental stone. *Engineering Geology*; 1:381–400.

Winkler E.M., J. Lorenzo, G. Gomez-Alarcon, 1997. Algae and bacteria on historic monuments at Alcalá de Henares, Spain. *International Biodeterioration & Biodegradation*; 40: 241–6.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΜΜΕΝΩΝ ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κωνσταντοπούλου Γ.<sup>1</sup>, Χάγιου Ε.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ι.Γ.Μ.Ε., <sup>1</sup>Δ/νση Τεχνικής Γεωλογίας

<sup>2</sup>Ι.Γ.Μ.Ε., Δ/νση Μεταλλευτικών και Οικονομοτεχνικών Μελετών

### Περίληψη

Η μελέτη πραγματοποιείται τη διαμόρφωση ενός εργαλείου για λογαριασμό της Τοπικής Αυτοδιοίκησης που θα βοηθήσει στη βέλτιστη επιλογή λύσης αξιοποίησης εγκαταλειμμένων λατομικών χώρων με κριτήρια όχι μόνο περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά/κοινωνικά με βάση τις προτεραιότητες και τις δυνατότητες (οικονομικές/τεχνικές) κάθε φορέα.

Η πιλοτική εφαρμογή της μελέτης γίνεται σε περιοχές της Ελλάδας με ιστορικό λατομικής δραστηριότητας, όπως είναι οι νομοί Κοζάνης, Δράμας, Καβάλας, Χαΐδας και Αττικής. Παράλληλα γίνεται διερεύνηση της ελληνικής και διεθνούς εμπειρίας πάνω στις σύγχρονες εναλλακτικές μεθόδους ανάπλασης/αξιοποίησης εγκαταλειμμένων λατομικών χώρων κατά κατηγορία χρήσεων (φυσική αποκατάσταση, χώρος αναψυχής, γεωργική, εμπορική, βιομηχανική, οικιστική χρήση, διάθεση απορριμμάτων, αξιοποίηση απορριμμάτων παλαιών εκμεταλλεύσεων κλπ). Ταυτόχρονα εξετάζονται οι φυσικές, περιβαλλοντικές και οικονομοτεχνικές προϋποθέσεις εφαρμογής των επιμέρους λύσεων, καθώς και οι νομοθετικές δεσμεύσεις. Όλα τα στοιχεία των λατομείων καθώς και οι χρήσεις γης στο άμεσο και ευρύτερο περιβάλλον του λατομείου, ο πληθυσμός, η οικονομική δραστηριότητα και οι ελλείψεις χώρων εξυπηρέτησης κοινωφελούς ή άλλης δραστηριότητας, καταχωρούνται σε ειδικά σχεδιασμένη βάση δεδομένων και επεξεργάζονται με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS). Ακολουθεί η επεξεργασία μεθοδολογίας επιλογής του βέλτιστου συνδυασμού λύσεων για κάθε λατομικό χώρο, με βάση τις κοινωνικοοικονομικές προτεραιότητες και τις δυνατότητες της περιοχής με την εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης.

### METHODOLOGICAL APPROACH ON THE REHABILITATION OF ABANDONED QUARRIES IN GREECE

Konstantopoulou G.<sup>1</sup>, Hagiou E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IGME, Dpt of Engineering Geology

<sup>2</sup>IGME, Mineral Exploration and Project Evaluation

### Abstract

The aim of the present study is to provide a methodological tool for use by the local administration authorities, at any level, in order to select the most appropriate solution for rehabilitation of abandoned quarries located in their territory, taking into account environmental, social and economic criteria based on their priorities and their economic and technical potential. Representative study areas with extensive quarrying activities during the last 50 years, are located in eastern Macedonia (Drama), western Macedonia (Kozani), Peloponnese (Patra), Epirus (Ioannina) and Attica (broad area of Athens). A database was made including all quarry features and necessary factors influencing the rehabilitation of abandoned quarries in the studied areas. In parallel, an integrated assessment study of the conventional and innovative methods for the rehabilitation of the abandoned quarry sites, the relevant environmental confinements and techno-economic preconditions is being performed. The study results is the publication of a guide for use by the local authorities for the optimal use of quarry sites in suburban districts based on the methodology of

multicriteria analysis on abandoned quarries rehabilitation.

**Λέξεις κλειδιά:** λατομεία, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σχεδιασμός, αποκατάσταση, προστασία.

**Key words:** quarries, environmental impact, regional planning, remediation, protection.

## 1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, λόγω της αφθονίας διακοσμητικών πετρωμάτων και αδρανών υλικών, αναπτύχθηκε έντονη λατομική δραστηριότητα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Τα ίχνη αυτής της δραστηριότητας έχουν αποτυπωθεί στο περιβάλλον και έχουν αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά του. Η ιστορική αξία των αρχαίων λατομείων επιβάλλει τη διατήρησή τους, όμως τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργήθηκαν από τη λειτουργία των σύγχρονων λατομείων, χρειάζεται να επιλυθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Μετά το Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο δημιουργήθηκε η ανάγκη χρησιμοποίησης τεράστιων ποσοτήτων αδρανών υλικών, λόγω της έντονης ανάπτυξης των μεγάλων αστικών κέντρων και των έργων υποδομής. Η ανάγκη αυτή, παράλληλα με την έλλειψη περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και την απουσία αυστηρού νομικού πλαισίου, οδήγησε στην ανεξέλεγκτη λειτουργία πολυάριθμων λατομείων, τα οποία για λόγους οικονομίας στα μεταφορικά, δημιουργήθηκαν πολύ κοντά στις πόλεις. Η συνεχής επέκταση του οικιστικού ιστού σε πολλές περιπτώσεις «εγκλώβισε» τα παλιά λατομεία μέσα στο αστικό περιβάλλον, όπου στη συνέχεια εγκαταλείφθηκαν αναγκαστικά, χωρίς να ληφθούν ακόμα και στοιχειώδη μέτρα αποκατάστασής τους.

Έτσι, σε πολλές μεγάλες αλλά και μικρότερες ελληνικές πόλεις τα εγκαταλειμμένα λατομεία δημιουργούν πολλά και σύνθετα προβλήματα. Εκτός από την οπτική ρύπανση, πολλά από αυτά αποτελούν εστίες μόλυνσης λόγω της λειτουργίας τους σαν ανεξέλεγκτες χωματερές, ενώ παρουσιάζουν αυξημένη επικινδυνότητα, αφού η πρόσβαση σε αυτά είναι γενικά ελεύθερη.

Τα παραπάνω προβλήματα όπως και η έλλειψη ελεύθερων χώρων και η μεγάλη αύξηση της αξίας της γης τόσο στην περιοχή της Αθήνας όσο και στα μικρότερα αστικά κέντρα, δημιούργησαν την ανάγκη εύρεσης λύσεων, ώστε αυτοί οι χώροι να αποδοθούν στο κοινό για χρήση. Ορισμένα από τα εγκαταλειμμένα λατομεία έχουν διαμορφωθεί σε χώρους άθλησης, αναψυχής και πολιτιστικών εκδηλώσεων. Οι αναπλάσεις των χώρων είναι κατά κανόνα αποσπασματικές, προκειμένου να καλυφθούν ανάγκες της τοπικής κοινωνίας σε κοινόχρηστους χώρους. Δεν υπάρχει γενικότερος σχεδιασμός για τη βέλτιστη χρήση αυτών των χώρων, τόσο σε επίπεδο τοπικής όσο και κεντρικής εξουσίας. Η αξιοποίηση των παλαιών λατομείων είναι ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα, αφού πέρα από την εξάλειψη του προβλήματος και την ιεράρχηση των αναγκών που χρειάζεται να καλυφθούν, πρέπει να ληφθούν υπόψη περιβαλλοντικοί, νομικοί, τεχνικοί και οικονομικοί παράγοντες.

Μέχρι σήμερα εξάλλου, δεν υπάρχει συστηματική καταγραφή του συνόλου των λατομείων σε κεντρικό επίπεδο, αφού οι άδειες λειτουργίας χορηγούνται κατά κύριο λόγο από τις κατά τόπους Νομαρχίες. Ενώ όμως διατηρείται ενημερωμένο αρχείο των ενεργών λατομείων, τα εγκαταλειμμένα λατομεία πολλές φορές είναι «αγνώστου ταυτότητας», δεν υπάρχουν δηλαδή συγκεκριμένα στοιχεία για την περίοδο λειτουργίας, τον εκμεταλλευτή ή τον ιδιοκτήτη. Πολλά λατομεία βρίσκονται σε καθεστώς προσωρινής λειτουργίας (παρατάσεις λειτουργίας, εξυπηρέτηση έργων εθνικής σημασίας). Συνολικά τα εγκαταλειμμένα λατομεία υπερτερούν σε αριθμό των ενεργών, ωστόσο οι σύγχρονες εξορύξεις καταλαμβάνουν γενικά μεγαλύτερη έκταση.

Η παρούσα εργασία, στοχεύει στη διαμόρφωση ενός εργαλείου για λογαριασμό της Τ.Α. οποιουδήποτε βαθμού για τη βέλτιστη επιλογή λύσης αξιοποίησης εγκαταλειμμένων λατομικών χώρων με κριτήρια όχι μόνο περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά, με βάση τις προτεραιότητες και τις δυνατότητες (οικονομικές και τεχνικές) κάθε φορέα. Στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος.

## 2. Απογραφή εγκαταλειμμένων λατομείων - Δημιουργία Βάσης Δεδομένων

Στις επιλεγμένες περιοχές, με τη συνεργασία των Νομαρχιών και των κατά τόπους Δήμων έγινε απογραφή των εγκαταλειμμένων δημόσιων λατομείων, ιδιαίτερα αυτών που βρίσκονται σε μια ζώνη 10χλμ γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα των νομών, έτσι ώστε να μπορούν να εξεταστούν οι περισσότερες δυνατές εναλλακτικές λύσεις αξιοποίησης. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης συντάχθηκε απογραφικό δελτίο με στοιχεία όπως, η γεωγραφική θέση, η έκταση, η προσπέλασιμότητα και ο προσανατολισμός του κάθε χώρου, η μορφολογία του κάθε λατομείου, καθώς και στοιχεία για το έδαφος, το κλίμα την πανίδα και χλωρίδα της περιοχής. Έγινε επίσης καταγραφή των γεωλογικών, κοιτασματολογικών, υδρογεωλογικών, υδρολογικών, γεωτεχνικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών τους. Καταγράφηκαν ακόμα οι χρήσεις γης στο άμεσο και ευρύτερο περιβάλλον του λατομείου, ο πληθυσμός (μέγεθος, οικονομική δραστηριότητα κλη) και οι ελλείψεις χώρων εξυπηρέτησης ή άλλης δραστηριότητας. Στα λατομεία όπου εντοπίστηκαν σημαντικοί όγκοι απορριμμάτων έγινε εργαστηριακός έλεγχος της δυνατότητας αξιοποίησής τους. Τα πρωτογενή στοιχεία καταχωρήθηκαν σε βάση δεδομένων και επεξεργάστηκαν με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

## 3. Περιοχές μελέτης

Η μελέτη εφαρμόστηκε πιλοτικά σε επιλεγμένες αντιπροσωπευτικές περιοχές της Ελλάδας με ιστορικό λατομικής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι νομοί Αττικής, Αχαΐας, Ιωαννίνων, Δράμας και Κοζάνης (Εικόνα 1). Στους πέντε νομούς που περιλήφθηκαν στην πιλοτική μελέτη απογράφηκαν συνολικά 211 λατομεία ή λατομικοί χώροι, τα οποία κατανέμονται όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Στον ίδιο πίνακα απεικονίζεται το ποσοστό των λατομείων που έχουν αξιοποιηθεί.



Εικόνα 6. Περιοχές μελέτης: 1. Ν. Αττικής, 2. Ν.Αχαΐας, 3. Ν.Ιωαννίνων, 4. Ν. Δράμας, 5. Ν. Κοζάνης

Η εικόνα των εγκαταλειμμένων λατομείων στις πέντε πιλοτικές περιοχές που μελετήθηκαν έχει ως ακολούθως:

### Νομός Αττικής

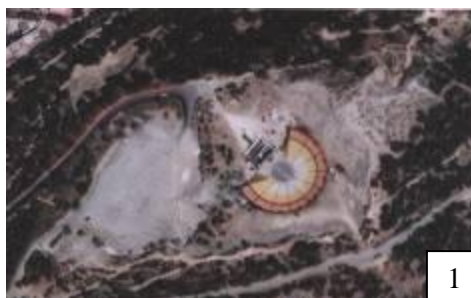
Εκτός από τα γνωστά λατομεία εξόρυξης Πεντελικού μαρμάρου που λειτουργούν από την αρχαιότητα μέχρι τη σύγχρονη εποχή, στην περιοχή της πρωτεύουσας αναπτύχθηκαν πολυάριθμα λατομεία αδρανών υλικών. Παλαιά λατομεία αδρανών βρίσκονται διεσπαρμένα τόσο στους πρόποδες των ορέων Υμηττού, Πεντέλης, Πάρνηθας και Αιγάλεω, που περιβάλλουν την πόλη της Αθήνας και δομούνται από ανθρακικά πετρώματα όσο και στους

εσωτερικούς λόφους του λεκανοπεδίου (Λυκαβηττός, Τουρκοβούνια). Συνολικά καταγράφηκαν 87 εγκαταλειμμένα λατομεία στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, πολλά από τα οποία βρίσκονται σε γειτονικές θέσεις της ίδιας περιοχής. Τα λατομεία αυτά έχουν εγκαταλειφθεί εδώ και 30 τουλάχιστον χρόνια, οπότε και απαγορεύτηκε με νόμο η λειτουργία όλων των λατομείων που βρίσκονταν προς την πλευρά του λεκανοπεδίου και ήταν ορατά από κατοικημένες περιοχές. Μια ειδική κατηγορία λατομείων είναι αυτά που συνεχίζουν να λειτουργούν με το πρόσχημα της αποκατάστασης, ή με προσωρινές παρατάσεις λειτουργίας. (π.χ. Λατομεία Μερέντας Δήμου Μαρκόπουλου).

Πίνακας 1. Λατομεία που μελετήθηκαν

Περιοχή μελέτης	Εγκαταλειμμένα Λατομεία	Αξιοποιημένα Λατομεία	
		Αριθμός	Ποσοστό (%)
Ν. Αττικής	87	48	55
Ν. Αχαΐας	20	0	0
Ν. Ιωαννίνων*	14	0	0
Ν. Δράμας*	8	0	0
Ν. Κοζάνης	80	3	4
ΣΥΝΟΛΟ	211		

\*Λατομεία σε απόσταση μικρότερη των 10 χλμ από την πόλη



Εικόνα 7. Απόψεις διαμορφωμένων λατομικών χώρων στην πόλη της Αθήνας: 1. Λυκαβηττός, 2. Θέατρο Πέτρας, Δ. Πετρούπολης, 3. Χολαργός (Τσακός), 4. Καισαριανή – Βύρωνας.

Η έλλειψη κοινόχρηστων χώρων αναψυχής και άθλησης στην περιοχή της πρωτεύουσας, παράλληλα με την αισθητική υποβάθμιση και τα προβλήματα ασφάλειας των εγκαταλειμμένων λατομείων, έστρεψε το ενδιαφέρον των τοπικών φορέων στην αναζήτηση τρόπων αξιοποίησής τους. Έτσι, σημαντικός αριθμός ανενεργών λατομείων αποκαταστάθηκαν και αποδόθηκαν στους πολίτες για χρήση, είτε ως χώροι αναψυχής, αθλητισμού και πολιτισμού, είτε διαμορφώθηκαν σε χώρους πρασίνου με αποκατάσταση του αναγλύφου και φύτευση (Εικόνα 2). Πολλά λατομεία βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης από διάφορους φορείς με στόχο την ανάπλασή τους, ενώ άλλα, ακόμα και στο κέντρο της πρωτεύουσας παραμένουν αναξιοποίητα, λόγω κυρίως του πολύπλοκου ιδιοκτησιακού καθεστώτος (π.χ. σύμπλεγμα 9 λατομείων στα Τουρκοβούνια).

Τα περισσότερα λατομεία που βρίσκονται στην περιφέρεια του Λεκανοπεδίου, γίνονται χώροι υποδοχής υλικών εκσκαφών οικοδομικών υλικών, με στόχο την αποκατάσταση του φυσικού αναγλύφου και την φυτοκάλυψη. Η σχετική άδεια για απόθεση υλικών δόθηκε αμέσως μετά το σεισμό του 1999 στην Αθήνα, λόγω των πολλών κατεδαφίσεων κτιρίων που υπέστησαν σοβαρές βλάβες. Παράλληλα τα εγκαταλειμμένα λατομεία της Πεντέλης έγιναν χώροι υποδοχής υλικών εκσκαφής κατά την φάση κατασκευής των μεγάλων Ολυμπιακών έργων της Αθήνας.

Πρακτικά λοιπόν ένα μεγάλο ποσοστό από τα ανενεργά λατομεία της Αθήνας έχουν με κάποιο τρόπο αποκατασταθεί, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι εφαρμόστηκε η πιο ορθολογική λύση. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχει διαμορφωθεί και αξιοποιηθεί μόνο η πλατεία ή τμήμα της πλατείας των λατομείων, ενώ διατηρούνται τα υψηλά απότομα πρανή τους, που εγκυμονούν κινδύνους για την ασφάλεια και συμβάλλουν στην αισθητική υποβάθμιση του χώρου.

### **Νομός Αχαΐας**

Σε σύνολο 20 εγκαταλειμμένων λατομείων που απογράφηκαν στο νομό Αχαΐας, τα 17 είναι λατομεία αδρανών υλικών, το ένα λατομείο διακοσμητικών πλακών και δύο λατομεία αργίλου. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται ευρέως, όπως και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργήθηκαν από τη λειτουργία τους και την μετέπειτα χρήση τους.

Κανένα από τα λατομεία που απογράφηκαν δεν έχει αποκατασταθεί με οποιοδήποτε τρόπο, ενώ 3 μικρά λατομεία, που εγκαταλείφθηκαν πριν από 20-30 χρόνια, έχουν καλυφθεί από φυσική βλάστηση και δεν δημιουργούν ιδιαίτερο αισθητικό ή άλλο είδους πρόβλημα. Με δεδομένο ότι τα λατομεία αυτά βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές, μέσα σε δασική έκταση που χαρακτηρίζεται ταυτόχρονα προστατευόμενη (ζώνη NATURA), μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν «επανενταχθεί» στο φυσικό περιβάλλον και δεν αποτελούν αντικείμενο παραπέρα εξέτασης.

### **Νομός Ιωαννίνων**

Στο νομό Ιωαννίνων έχει αναπτυχθεί έντονη λατομική δραστηριότητα τόσο στον τομέα των διακοσμητικών πετρωμάτων (μάρμαρα Ιωαννίνων), όσο και των αδρανών υλικών. Πολυάριθμα εγκαταλειμμένα αλλά και ενεργά λατομεία εντοπίζονται σε πολλές περιοχές του νομού (Τ.Ε.Ε -Τ/Η, 1989). Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται κατά προτεραιότητα τα λατομεία που βρίσκονται σε μια ζώνη ακτίνας 10χλμ περίπου από την πόλη των Ιωαννίνων, που είναι από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας. Στη ζώνη αυτή απογράφηκαν 14 μεμονωμένα λατομεία ή λατομικές ζώνες κυρίως αδρανών υλικών, που εξυπηρέτησαν τις ανάγκες επέκτασης της πόλης των Ιωαννίνων και του οδικού της δικτύου.

### **Νομός Δράμας**

Για πολλές δεκαετίες, η λατομική δραστηριότητα στο νομό Δράμας αποτέλεσε την κύρια απασχόληση του μεγαλύτερου ποσοστού του ντόπιου πληθυσμού. Γινόταν κυρίως εξόρυξη

όγκων μαρμάρου από μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις. Περισσότερα από 200 τέτοια λατομεία εντοπίζονται στον ορεινό όγκο του όρους «Φαλακρό», βόρεια της Δράμας (Χατζηπαναγής, και Βουγιούκας, 2005). Ο όγκος των εκσκαφών ποικίλει από λίγα κυβικά μέτρα μέχρι εκατοντάδες κυβικά. Τα περισσότερα από τα μικρά λατομεία μαρμάρου που εγκαταλείφθηκαν πριν από 30- 40 χρόνια, έχουν «επανενταχθεί» αρμονικά στο περιβάλλον, αφού έχουν καλυφθεί ολικά ή μερικά από τη θαμνώδη βλάστηση, ενώ η χρωματική αντίθεση των τεχνητών πρανών έχει αισθητά μειωθεί. Εκτός από τα λατομεία μαρμάρου, υπάρχουν πέντε μεγάλα εγκαταλειμμένα λατομεία αδρανών υλικών στο λόφο «Κορύλοβο», που βρίσκεται στο βόρειο άκρο της πόλης της Δράμας. Τα λατομεία αυτά λόγω της έκτασής τους και της γειτνιάσής τους με την πόλη δημιουργούν προβλήματα οπτικής ρύπανσης, κινδύνους μόλυνσεων λόγω ανεξέλεγκτης απόθεσης σκουπιδιών, αλλά και ασφάλειας λόγω ελεύθερης πρόσβασης των πολιτών στους χώρους. Η αποκατάσταση των συγκεκριμένων λατομείων είναι άμεσα επιθυμητή από την τοπική κοινωνία και τους φορείς της πόλης.

Η λειτουργία μεγάλων επιχειρήσεων κατεργασίας του ντόπιου μαρμάρου στη βιομηχανική ζώνη της Δράμας, έχει δημιουργήσει ένα μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα, λόγω συσσώρευσης χιλιάδων τόνων απορριμμάτων της κατεργασίας. Η δυνατότητα βιομηχανικής χρήσης του υλικού αυτού θα πρέπει να διερευνηθεί και σε αρνητική περίπτωση να εξεταστεί η δυνατότητα μεταφοράς και απόθεσής του στα εγκαταλειμμένα λατομεία της Δράμας.

## Νομός Κοζάνης

Ο νομός Κοζάνης είναι από τα μεγαλύτερα λατομικά και μεταλλευτικά κέντρα της Ελλάδας, με ιδιαίτερα αυξημένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Λειτουργούν λατομεία λευκού μαρμάρου, που εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή του Τρανόβαλτου (ΤΕΕ – Τ/Δ.Μ., 1989). Η εξόρυξη στη θέση αυτή ξεκίνησε το 1954 σε δημόσια έκταση και λειτούργησαν συνολικά 16 λατομεία, τα 7 από τα οποία έχουν εγκαταλειφθεί, χωρίς κανένα μέτρο αποκατάστασης. Η έντονη αισθητική αλλοίωση του τοπίου επιτείνεται από τη συσσώρευση των στείρων υλικών της εξόρυξης, ο όγκος των οποίων είναι πολλαπλάσιος της παραγωγής ογκομαρμάρων. Πολυάριθμα είναι και τα λατομεία αδρανών υλικών, που απαντούν μεμονωμένα είτε συγκεντρωμένα στα ανθρακικά πετρώματα των ορεινών όγκων του νομού, ενώ κάποια από αυτά βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα στον οικιστικό ιστό της πόλης. Επιπλέον στο νομό Κοζάνης και ιδιαίτερα στη λεκάνη της Πτολεμαΐδας, υπάρχουν τα μεγαλύτερα λιγνιτωρυχεία της Ελλάδας, που λειτουργούν με επιφανειακή κυρίως εξόρυξη. Η αποκατάσταση των συγκεκριμένων ορυχείων ανήκει στην ευθύνη της ΔΕΗ Α.Ε. Στην περιοχή βρίσκεται ακόμα το εγκαταλειμμένο μεταλλείο αμιάντου του Ζινδανίου, η ανοιχτή εξόρυξη του οποίου παραμένει ακόμη στην μορφή που είχε κατά την παύση λειτουργίας της εκμετάλλευσης, ενώ μερική αποκατάσταση με δενδροφύτευση έχει γίνει στους εκτεταμένους σωρούς των αποθέσεων της μεταλλουργίας. Τέλος, στην περιοχή του όρους Βούρινου δυτικά της Κοζάνης, εντοπίζονται πολυάριθμες επιφανειακές εξορύξεις μεταλλευμάτων χρωμίτη, αφού στην περιοχή αυτή λειτούργησαν μέχρι το 1990 τα μεγαλύτερα μεταλλεία χρωμίτη της Ελλάδας. Επιπρόσθετη περιβαλλοντική αλλοίωση προέκυψε από τη διάνοιξη του μεγάλου οδικού άξονα της Εγνατίας οδού, που διασχίζει το νομό Κοζάνης σε διεύθυνση Α-Δ και διέρχεται 3 χλμ περίπου βόρεια της πρωτεύουσας του νομού. Ο εν λόγω άξονας είναι από τα μεγαλύτερα έργα υποδομής σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο και συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση και της τοπικής οικονομίας. Ωστόσο στο μεγαλύτερο μήκος της εντός του νομού διέρχεται από ορεινό βραχώδες ανάγλυφο, λόγω του οποίου δημιουργήθηκαν πολύ υψηλά πρανή, που συχνά υπερβαίνουν εκείνα των λατομείων.

Στο πλαίσιο που περιγράφηκε παραπάνω, η αποκατάσταση μεμονωμένων ανενεργών λατομείων δεν φαίνεται ικανή να αναστρέψει την υπάρχουσα κατάσταση. Με την προτεινόμενη μεθοδολογία όμως, και τις παράλληλες αξιολογές προσπάθειες των τοπικών φορέων, πιστεύεται ότι μπορεί σταδιακά να επιτευχθεί μια αισθητή βελτίωση του περιβάλλοντος ιδιαίτερα στην περιφέρεια της πόλης. Γύρω από την πόλη της Κοζάνης έγινε συστηματική απογραφή των εγκαταλειμμένων λατομείων, για τα οποία εφαρμόζεται



πολυκριτηριακή ανάλυση. Δύο από τα λατομεία που βρίσκονται στο όριο της οικιστικής περιοχής έχουν αποκατασταθεί από τον Δήμο Κοζάνης. Το ένα από αυτά έχει διαμορφωθεί σε υπαίθριο θέατρο, ενώ το δεύτερο ως σταθμός μεταφόρτωσης και χώρος στάθμευσης των απορριμματοφόρων του Δήμου.

#### 4. Ανάπτυξη και εφαρμογή κριτηρίων επιλογής ενός λατομείου για ανάπλαση

Είναι φανερό ότι η εφαρμογή δοκιμασμένων ή νέων λύσεων αποκατάστασης των παραπάνω λατομικών χώρων, δεν είναι δυνατό να γίνει συγχρόνως για όλα τα λατομεία για λόγους κυρίως οικονομικούς, καθώς και νομικών δεσμεύσεων. Χρειάζεται λοιπόν να θεσπιστούν κριτήρια, βάση των οποίων θα γίνεται η κατά προτεραιότητα επιλογή των κατάλληλων χώρων για ανάπλαση. Η εφαρμογή των κριτηρίων με καθορισμένους συντελεστές βαρύτητας, μπορεί να βοηθήσει στη βαθμονόμηση των λατομείων και επακόλουθα σε ορθολογικό σχεδιασμό των εφικτών λύσεων ανάπλασης.

Τα σπουδαιότερα κριτήρια που πρέπει να εξετάζονται προκειμένου να αποφασιστεί η καταλληλότητα ενός λατομείου για ανάπλαση, συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Κριτήρια επιλογής λατομείου για ανάπλαση

1	Ρύπανση	Υπόγειου υδροφόρου Επιφανειακών υδάτων
2	Υγειονομικοί κίνδυνοι	Ανεξέλεγκτη απόθεση απορριμμάτων
3	Κίνδυνοι για την ασφάλεια	Υψηλά πρηνή, αστοχίες
4	Οπτική ρύπανση	ορατό από οικισμούς ορατό από οδικό δίκτυο ορατό από αρχαιολογικούς ή τουριστικούς χώρους
5	Προσβολή φυσικού περιβάλλοντος	χλωρίδα, πανίδα, κλπ.
6	Έκταση	
7	Μορφολογία	κλίσεις φυσικού αναγλύφου, πρηνών
8	Απόσταση από οικισμούς	
9	Απόσταση από βασικά δίκτυα υποδομής	οδικό, ύδρευσης, ηλεκτρικό ρεύμα
10	Προσβασιμότητα	
11	Μελλοντική εξέλιξη της μη αποκατάστασης του χώρου	βελτίωση περιβάλλοντος, σταθερότητα συνθηκών, επιβάρυνση

#### 5. Ανάπτυξη μεθοδολογίας επιλογής της βέλτιστης λύσης

Το στάδιο αυτό της μελέτης περιλαμβάνει την επεξεργασία μεθοδολογίας επιλογής του βέλτιστου συνδυασμού λύσεων με βάση τις κοινωνικοοικονομικές προτεραιότητες και τις δυνατότητες της περιοχής με την εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης. Τα βασικά κριτήρια που υπεισέρχονται στην επιλογή μιας λύσης ή ενός συνδυασμού λύσεων, συνοψίζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Κριτήρια επιλογής της βέλτιστης λύσης αποκατάστασης

1	Τοπικές /περιφερειακές ανάγκες
2	Απαιτήσεις της λύσης σε χώρους/ υποδομές
3	Κόστος λύσης/ οικονομικές δυνατότητες φορέα υλοποίησης
4	Τεχνικές απαιτήσεις/ δυνατότητες
5	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συγκεκριμένη εφαρμογής
6	Νομικό πλαίσιο/ περιορισμοί
7	Δυνατότητα συνδυασμού λύσεων και κάλυψης περισσότερων αναγκών
8	Συμβατότητα με το αναπτυξιακό σχέδιο της περιοχής
9	Λειτουργικό κόστος/ κόστος συντήρησης του έργου

## 6. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της μέχρι τώρα έρευνας στους πέντε προαναφερόμενους νομούς της Ελλάδας που περιλαμβάνονται στην πιλοτική μελέτη, είναι τα ακόλουθα:

Πολυάριθμα εγκαταλειμμένα λατομεία αδρανών υλικών, διακοσμητικών πετρωμάτων, δανειοθαλάμων και βιομηχανικών ορυκτών εντοπίζονται σε μικρότερη ή μεγαλύτερη έκταση σε ολόκληρη την Ελληνική επικράτεια. Ορισμένα από αυτά συνεχίζουν να λειτουργούν παράνομα, με το πρόσχημα της αποκατάστασης. Η εικόνα των διαμορφωμένων εκσκαφών των εγκαταλειμμένων λατομείων, γενικά παραπέμπει σε μια άναρχη εκμετάλλευση. Συνήθως είναι η δημιουργία πρηνών μεγάλου ύψους και κλίσης, ακανόνιστης ενιαίας βαθμίδας, που εγκυμονεί κινδύνους εκδήλωσης αστοχιών (αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων, μετακινήσεις μαζών προς τις περιοχές κατόντη του λατομείου). Η δυσμενής επίπτωση στο περιβάλλον είναι προφανής, ενώ το πρόβλημα μεγεθύνεται στα μεγάλα αστικά κέντρα, στα όρια των οποίων υπάρχουν συνήθως πολλά εγκαταλειμμένα λατομεία αδρανών υλικών.

Τα τελευταία τριάντα χρόνια οι αρμόδιοι φορείς δείχνουν αυξανόμενη ευαισθησία στο θέμα της αποκατάστασης των παλαιών λατομείων αλλά και στον ορθολογικό προγραμματισμό της σύγχρονης εξορυκτικής δραστηριότητας. Είναι πλέον κοινή πεποίθηση ότι η λειτουργία ενός λατομείου έχει σοβαρές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και ότι μπορεί να διαταράξει την περιβαλλοντική ισορροπία (το φυσικό ανάγλυφο, τη διαχείριση των υδάτων, το έδαφος, τη χλωρίδα και την πανίδα). Έτσι η νομοθεσία για τα λατομεία συντάσσεται με γνώμονα την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και γίνεται όλο και πιο αυστηρή σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες βάζοντας όλο και περισσότερους περιορισμούς στη λατομική δραστηριότητα.

Σε ότι αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο για την αποκατάσταση λατομικών χώρων υπάρχει μια πολυνομία και πολυδιάσπαση με εμπλοκή πολλών κρατικών υπηρεσιών. Αυτό οδηγεί σε αδυναμία ελέγχου της πορείας της αποκατάστασης και πολλές φορές γίνεται αποκατάσταση δια εξορύξεως.

Η σταδιακή ανάπτυξη / αξιοποίηση των ανενεργών λατομικών χώρων με επιμέρους επεμβάσεις τοπικής κλίμακας συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος στις αστικές και περιαστικές ζώνες με παράλληλη κάλυψη βασικών κοινωνικών αναγκών.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία επιλογής των κατάλληλων χώρων και της ενδεικνυόμενης λύσης ανάπτυξης που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη, μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την τοπική αυτοδιοίκηση οποιουδήποτε βαθμού. Η βάση δεδομένων που

δημιουργήθηκε, θα πρέπει να εμπλουτίζεται συνεχώς με νέα στοιχεία, που θα προκύπτουν από την υλοποίηση των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων ή πιθανά νέων.

Η εμπειρία από την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, θα μπορούσε να ενταχθεί και στις μελέτες αποκατάστασης των ενεργών λατομείων, έτσι ώστε με το πέρας της εκμετάλλευσης να γίνεται η καλλίτερη δυνατή αξιοποίηση του χώρου.

### Acknowledgements

Η παρούσα μελέτη συνοψίζει τα πρώτα αποτελέσματα του έργου «Ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνικών για την αξιοποίηση εγκαταλειμμένων δημόσιων λατομικών χώρων και των προϊόντων τους», που πραγματοποιείται στο πλαίσιο προγράμματος Γ' ΚΠΣ του ΙΓΜΕ που χρηματοδοτείται κατά 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση και κατά 50% από το Ελληνικό Δημόσιο.

### Βιβλιογραφία

DAMIGOS, D., KALIAMPAKOS, D., 1999. Using Environmental Economics to Evaluate Quarry Rehabilitation Alternatives. Proceedings of the 6th International Conference on Environmental Science and Technology, Vol. B, pp. 514-521, Pythagorion, Samos, Greece.

KALIAMPAKOS, D., DAMIGOS, D., 1998. Quarry Rehabilitation in Attica. Mining Environmental Management, Vol. 6, No 1, pp. 13-14.

KALIAMPAKOS, D.C., PANOU, D.G., DAMIGOS, D.G, 1999. Integrated Multicriteria and Cost – Benefit Analysis Methodology for Appraisal of After – use Plans for Quarries in Urban Areas. International Mining and Minerals, Vol. 2, No 15, pp 67-74.

ΤΕΕ – Τ/Δ.Μ., 1989. Αξιολόγηση υφιστάμενης κατάστασης αναγκών των επιχειρήσεων μαρμάρου Δυτ. Μακεδονίας. Τεχν. Έκθεση Π2-2, εκδόσεις ΤΕΕ.

ΤΕΕ – Τ/Η, 1989. Εξόρυξη και Επεξεργασία μαρμάρου στην Ήπειρο. Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., Δεκέμβριος 1989.

ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΗΣ, Ι., ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ, Δ., 2005. Τα μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας. Βασικοί παράγοντες που χαρακτηρίζουν την εμπορικότητά τους σαν διακοσμητικά πετρώματα. Ποιότητες - παραγωγή - τιμές - αποθέματα. Πρακτικά 2ου Συν. Επιτρ. Οικον. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ., Θεσσαλονίκη, 387-396.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ

Γαλανόπουλος Δ

*Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης,  
Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας*

### Περίληψη

Η διαδικασία διαχείρισης σεισμικού κινδύνου περιλαμβάνει ένα σύνολο ενεργειών και αποφάσεων που έχουν σκοπό τη μείωση ή ακόμη και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός σεισμού σε μια περιοχή ευρύτερη από αυτή του σεισμογόνου χώρου. Στα πλαίσια της πρόληψης του κινδύνου είναι αναγκαία η ανάλυση του κινδύνου και ειδικότερα η εκτίμηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων ενός σεισμού στις κατασκευές και στο πληθυσμό της περιοχής. Συνήθως η εκτίμηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων πραγματοποιείται με έμμεσο και ποιοτικό τρόπο στη βάση της ερμηνείας χαρτών που απεικονίζουν τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή κάποιας σεισμικής παραμέτρου. Μία επιστημονικά αποδεκτή μεθοδολογία ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας είναι η προσομοίωση των επιπτώσεων ενός σεισμού με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Στη κατηγορία αυτού του λογισμικού ανήκει το RADIUS των Ηνωμένων Εθνών το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών. Στη προσπάθεια αυτή χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου, αφενός στατιστικά στοιχεία από τις πιο πρόσφατες απογραφές της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος που συνδέονται με τη τρωτότητα των κατασκευών και του πληθυσμού και αφετέρου στοιχεία των εδαφικών συνθηκών της περιοχής. Το λογισμικό εφαρμόστηκε για τη περίπτωση του σεισμού των 5.9R που έλαβε χώρα στην Αθήνα την 7<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 1999 και τα εξαγόμενα αξιολογήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των δευτεροβάθμιων μετασεισμικών ελέγχων και άλλων μελετών που αφορούν στις μακροσεισμικές επιπτώσεις του σεισμού αυτού.

### ESTIMATION OF THE CONSEQUENCES OF SEISMIC RISK IN THE WIDER AREA OF THE CITY OF ATHENS

Galanopoulos, D.

*Ministry of Interior, Public Administration and Decentralization,  
General Secretariat for Civil Protection*

### Abstract

The process of seismic risk management consists of a series of actions and decisions, which aim to the reduction or even the elimination of the consequences of an earthquake within an area wider than that of the seismogenic region. The estimation of the probable consequences of an earthquake to the buildings and the population of an area is an important task of seismic risk analysis during the stage of risk prevention. The probable consequences of an earthquake are usually estimated with an indirect and qualitative way based on the interpretation of maps illustrating the maximum expected value of a particular seismic parameter. A scientifically acceptable methodology for quantifying the results of this process is the simulation of the consequences of an earthquake by using appropriate computer software.

The RADIUS computer program built up by the United Nations belongs to this class of

software. RADIUS was used for the quantitative estimation of the consequences of seismic risk in the wider area of the city of Athens. The input data comprised inventories from the most recent census of the National Statistical Service of Greece, which are related to the building and population vulnerability. Other input data included the soil conditions of the area. The software was applied for the case of the 5.9R earthquake occurred in Athens the 7<sup>th</sup> September 1999 and the results were evaluated by taking into account the outcome of the 2<sup>nd</sup> degree post-earthquake building inspections and other studies on the macro-seismic consequences of this earthquake.

**Λέξεις κλειδιά:** σεισμικός κίνδυνος, εκτίμηση επιπτώσεων.

**Key words:** seismic risk, damage assessment.

## 1. Εισαγωγή

Η εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού πραγματοποιείται διεθνώς με τη χρήση ενός πολύ μικρού αριθμού προγραμμάτων Η/Υ, όπως π.χ. το RADIUS (Kaneko and Sun, 2000; OYO Group, 2000), το HAZUS-MH (<http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtml>), το SELINA (Molina and Lindholm, 2005), το EXTREMUM (Frolova et al., 2006) κ.ά.. Τα προγράμματα αυτά έχουν ως βασική αρχή λειτουργίας τους τη προσομοίωση της απόκρισης του εδάφους και των κατασκευών μιας περιοχής κατά την εκδήλωση ενός πραγματικού ή υποθετικού σεισμικού συμβάντος.

Τα διάφορα είδη λογισμικού χρησιμοποιούν για την εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού μεθοδολογία με κοινά χαρακτηριστικά ως προς τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής τους, το είδος των δεδομένων εισόδου και τη δυνατότητα συνεργασίας τους με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ). Οι διαφορές τους εντοπίζονται στο τρόπο εισαγωγής των δεδομένων εισόδου, στο επίπεδο ανάλυσης της εισαγόμενης πληροφορίας (κλίμακα γεωγραφικού χάρτη), στο είδος και τις μεθόδους υπολογισμού (μαθηματικά μοντέλα) των παραμέτρων που σχετίζονται με τα αναμενόμενα μακροσεισμικά αποτελέσματα ενός σεισμού (δεδομένα εξόδου), καθώς επίσης και στο είδος και στο τρόπο απεικόνισης των υπολογιζόμενων παραμέτρων (δεδομένα εξόδου).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι περιπτώσεις που αφορούν στην εφαρμογή λογισμικού για την εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στον Ελλαδικό χώρο, περιορίζονται:

- στο ερευνητικό πρόγραμμα ΕΠΑΝΤΥΚ του Τεχνικού Επιμελητηρίου της Ελλάδας, (2001), στο οποίο έγινε προσπάθεια εφαρμογής του HAZUS.
- στις ερευνητικές προσπάθειες του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με το λογισμικό SEISIMPACT-THES (Savvaidis et al., 2004).
- στη προσπάθεια εφαρμογής του HAZUS από τον Τεχνίτη (2007) στα πλαίσια πτυχιακής εργασίας στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, η οποία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση της σεισμικής διακινδύνευσης στη περιοχή του Δ. Κηφισιάς.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται η διαδικασία εφαρμογής και τα αποτελέσματα του λογισμικού RADIUS στη περίπτωση της ποσοτικής εκτίμησης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών.

## 2. Μεθοδολογία

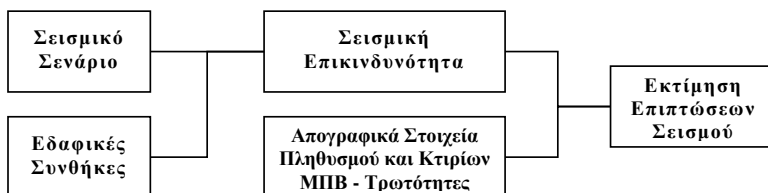
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου ήταν αυτή που προβλέπεται για την εφαρμογή του λογισμικού RADIUS.

Το RADIUS (Risk Assessment Tools for DIagnosis of Urban Areas against Seismic

Disasters) αναπτύχθηκε το χρονικό διάστημα 1996-2000 στα πλαίσια του ομώνυμου ερευνητικού προγράμματος του ΟΗΕ από την Ιαπωνική Εταιρία ΟΥΟ Corporation με χρηματοδότηση του ΟΗΕ και της Ιαπωνικής Κυβέρνησης. Το ερευνητικό πρόγραμμα RADIUS ήταν πρωτοβουλία της Γραμματείας της Διεθνούς Δεκαετίας (1990-2000) για τη Μείωση των Φυσικών Καταστροφών (International Decade for Natural Disaster Reduction) του ΟΗΕ.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού του προγράμματος περιλαμβάνει τρεις βασικές παραδοχές που το καθιστούν εύχρηστο σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής:

- το πρόγραμμα προορίζεται κατά κύριο λόγο για προκαταρκτική και χονδρική εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού και όχι για λεπτομερή επιστημονική διερεύνηση.
- το είδος των δεδομένων εισόδου και η χρήση του προγράμματος έχουν γενικά απλή μορφή (λειτουργία σε περιβάλλον Microsoft Excel).
- το πρόγραμμα δεν απαιτεί κατά τη λειτουργία του τη χρήση ΓΣΠ, παρέχει όμως αυτή τη



Σχήμα 1. Απεικόνιση των βασικών στοιχείων και λειτουργιών της μεθοδολογίας εκτίμησης των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου με το πρόγραμμα RADIUS.

δυνατότητα σε όσους χρήστες το επιθυμούν (Arc/Info, Map/Info κ.λ.π.).

Η εκτέλεση των βασικών λειτουργιών του προγράμματος αποδίδεται σε απλουστευμένη μορφή με το διάγραμμα ροής του ανωτέρω Σχήματος 1 και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

#### (α) Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής ενδιαφέροντος σε πλέγμα τετραγώνων

Στο στάδιο αυτό, το γεωγραφικό σχήμα και η έκταση της περιοχής που πρόκειται να μελετηθεί προσεγγίζεται με ένα αριθμό τετραγώνων που βρίσκονται πάνω σε πλέγμα. Στο ίδιο στάδιο προσδιορίζονται:

- το όνομα, ο πληθυσμός και σύνολο των κτιρίων της περιοχής ενδιαφέροντος
- τα όρια και η διάσταση (σε km) των τετραγώνων του πλέγματος
- τα τετράγωνα που πρόκειται να αντιστοιχούν στην έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος

#### (β) Εισαγωγή των δεδομένων εισόδου

Στο στάδιο αυτό εισάγονται τέσσερις κατηγορίες δεδομένων:

##### Βασικά Δεδομένα Εισόδου

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα βασικά δεδομένα εισόδου και ειδικότερα:

- τους κωδικούς αριθμούς και τα ονόματα των διοικητικών διαμερισμάτων στα οποία διαιρείται η περιοχή ενδιαφέροντος (π.χ. δημοτικό διαμέρισμα, δήμος, νομαρχιακή

αυτοδιοίκηση κ.λ.π.)

- τη κατανομή του πληθυσμού στα τετράγωνα του πλέγματος με τη βοήθεια πέντε κωδικών αριθμών (0-4) που αντιστοιχούν σε ίσο αριθμό συντελεστών βαρύτητας. Ο πληθυσμός σε κάθε τετράγωνο του πλέγματος υπολογίζεται από το συνολικό πληθυσμό της περιοχής με χρήση του αντίστοιχου συντελεστή
- τις εδαφικές συνθήκες στα τετράγωνα του πλέγματος με τη βοήθεια τεσσάρων κωδικών αριθμών (1-4) που αντιστοιχούν σε τέσσερα διαφορετικής σκληρότητας εδάφη.

#### Δεδομένα Απογραφής Κτιρίων

Η δεύτερη κατηγορία αφορά δεδομένα που σχετίζονται με δέκα δομικούς τύπους κτιρίων (Πίνακας 1) και τη κατανομή τους στα διοικητικά διαμερίσματα της περιοχής ενδιαφέροντος εκφρασμένη σε ποσοστά επί τοις εκατό. Ο αριθμός των κτιρίων σε κάθε τετράγωνο του πλέγματος υπολογίζεται από το συνολικό αριθμό των κτιρίων της περιοχής με χρήση του αντίστοιχου συντελεστή βαρύτητας.

*Πίνακας 1. Οι δομικοί τύποι των κτιρίων του RADIUS*

A/A	Τύπος Κτιρίου	Περιγραφή
1	RES1	αυθαίρετες κατασκευές αστικών υποβαθμισμένων περιοχών, κατασκευασμένες με άψητα τούβλα και κονίαμα ιλύος
2	RES2	κατασκευές με άοπλη τοιχοποιία και οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς αντισεισμικό κανονισμό μέχρι 3 ορόφους
3	RES3	κατασκευές με άοπλη τοιχοποιία και οπλισμένο σκυρόδεμα με παλιό αντισεισμικό κανονισμό με 4-6 ορόφους
4	RES4	πρόσφατες πολυώροφες κατασκευές με οπλισμένο σκυρόδεμα και νέο αντισεισμικό κανονισμό
5	EDU1	σχολικά κτίρια έως και 2 ορόφους
6	EDU2	σχολικά κτίρια μεγαλύτερα από 2 ορόφους
7	MED1	νοσοκομεία με χαμηλή έως και μέτριου ύψους δόμηση
8	MED2	νοσοκομεία με υψηλή δόμηση
9	COM	εμπορικά κέντρα
10	IND	βιομηχανικές μονάδες χαμηλού και υψηλού κινδύνου

#### Δεδομένα Απογραφής Υποδομών Κοινής Ωφελείας

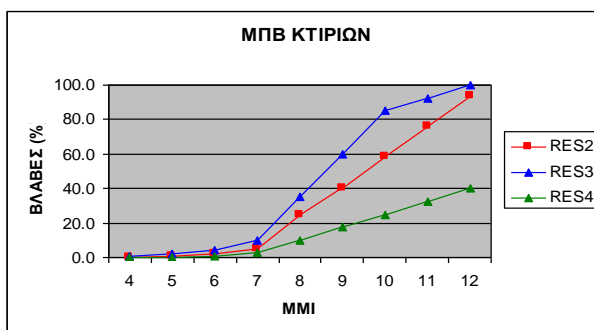
Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με δώδεκα τύπους υποδομών κοινής ωφελείας (οδικό δίκτυο, γέφυρες, σήραγγες, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και ύδρευσης, δεξαμενές και ταμιευτήρες ύδατος, πρατήρια καυσίμων).

#### Δεδομένα Σεισμικού Σεναρίου

Η τέταρτη κατηγορία αφορά στα δεδομένα του σεισμικού σεναρίου το οποίο δύναται να σχετίζεται με πραγματικό ή υποθετικό σεισμικό συμβάν. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως το μέγεθος του σεισμού σε βαθμούς της κλίμακας Richter, το εστιακό βάθος σε km, η ώρα εκδήλωσης του σεισμού, η απόσταση σε km του epicέντρου του σεισμού από κάποιο τετράγωνο του πλέγματος που καθορίζεται ως τετράγωνο αναφοράς και τέλος ο μαθηματικός τύπος της εξασθένησης των σεισμικών κυμάτων.

#### **(γ) Τροποποίηση των σταθερών δεδομένων του προγράμματος**

Το λογισμικό RADIUS εκτός από τα δεδομένα που δέχεται από το χρήστη με διαδραστικό τρόπο, απαιτεί για την εκτέλεσή του επιπρόσθετη πληροφορία ποικίλου είδους την οποία λαμβάνει μέσω δεκατριών πινάκων που περιλαμβάνουν σταθερά δεδομένα. Στο στάδιο αυτό, ο χρήστης δύναται να τροποποιήσει ορισμένα από τα σταθερά δεδομένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις που δημιουργούνται από τις τοπικές συνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα σταθερά δεδομένα αφορούν:



Σχήμα 2. Καμπύλες ΜΠΒ του λογισμικού RADIUS για τη περίπτωση των κτιριακών τύπων RES2, RES3 και RES4, αντίστοιχα.

- στα στατιστικά βάρη κατανομής του πληθυσμού στα τετράγωνα του πλέγματος
- στη κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών
- στα Μητρώα Πιθανότητας Βλαβών (ΜΠΒ) των κτιρίων (Σχ.2) και των υποδομών κοινής ωφελείας για τη περίπτωση κατάρρευσης και σοβαρών βλαβών.
- στο καθορισμό του εύρους του ημερήσιου και νυκτερινού ωραρίου αντίστοιχα, σύμφωνα με τις ισχύουσες τοπικές συνήθειες

### (δ) Απεικόνιση των δεδομένων εισόδου

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των δεδομένων εισόδου και ειδικότερα του τύπου των εδαφικών συνθηκών, της κατανομής του πληθυσμού και των κτιρίων με τη μορφή χαρτών πλέγματος τετραγώνων. Στους χάρτες αυτούς τα τετράγωνα χρωματίζονται με διαφορετικά χρώματα τα οποία αντιστοιχούν με τη σειρά τους σε διαφορετικές τιμές ή διαφορετικό εύρος τιμών κάποιας παραμέτρου (σκληρότητα πετρώματος, πληθυσμός, αριθμός κτιρίων). Στη περίπτωση που αξιοποιηθεί η δυνατότητα συνεργασίας του προγράμματος με ΓΣΠ, είναι εφικτή η απεικόνιση των ανωτέρω παραμέτρων σε γεωγραφικούς χάρτες.

### (ε) Ανάγνωση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανάλογα με τη πληροφορία που παρέχουν στο χρήστη ομαδοποιούνται αυτομάτως από το πρόγραμμα σε έξι (6) πίνακες. Τα αποτελέσματα δίδονται για κάθε τετράγωνο του πλέγματος μαζί με τα στοιχεία ταυτότητας του κάθε τετραγώνου (κωδικός αριθμός, και όνομα διοικητικού διαμερίσματος, στατιστικό βάρος κατανομής πληθυσμού, τύπος εδαφικών συνθηκών, μέγιστη αναμενόμενη σεισμική επιτάχυνση και ένταση)

- στο πρώτο πίνακα περιλαμβάνονται τα κύρια αποτελέσματα του προγράμματος και αφορούν αφενός μεν στον αριθμό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί



βλάβες, αφετέρου δε στον αναμενόμενο αριθμό νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα

- στο δεύτερο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τον αριθμό των υποδομών κοινής ωφελείας που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στο τρίτο πίνακα δίδεται η κατανομή των κτιρίων σύμφωνα με τον τύπο τους
- στο τέταρτο πίνακα παρουσιάζεται για κάθε τύπο κτιρίου το επί τοις εκατό ποσοστό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στο πέμπτο πίνακα παρουσιάζεται για κάθε τύπο κτιρίου ο αριθμός των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- στον έκτο πίνακα δίδεται η κατανομή του αναμενόμενου αριθμού νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα, καθώς και τα αντίστοιχα επί τοις εκατό ποσοστά

#### **(στ) Απεικόνιση των αποτελεσμάτων**

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων με τη μορφή χαρτών πλέγματος τετραγώνων. Ειδικότερα, οι χάρτες αυτοί δύνανται να αναπαριστούν:

- τη μέγιστη αναμενόμενη σεισμική ένταση
- τον αριθμό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- το επί τοις εκατό ποσοστό των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί βλάβες
- τον αναμενόμενο αριθμό νεκρών και τραυματιών

Όπως και στη περίπτωση των δεδομένων εισόδου, τα αποτελέσματα του προγράμματος δύνανται να απεικονιστούν σε γεωγραφικούς χάρτες με τη βοήθεια ΓΣΠ.

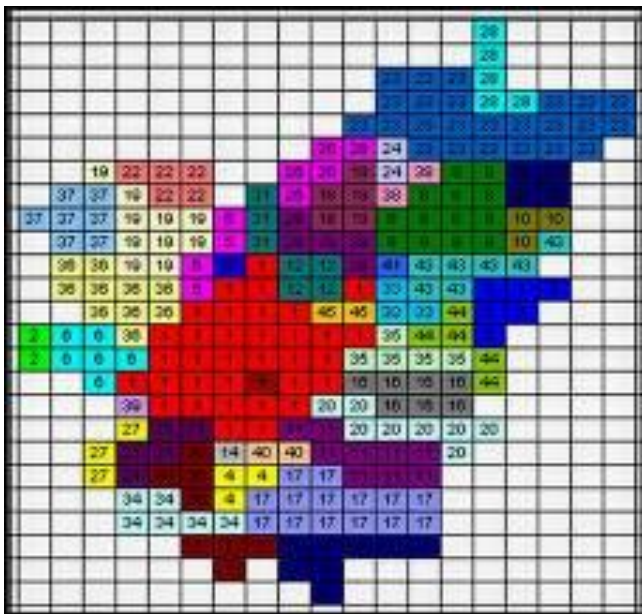
### **3. Αποτελέσματα**

Το RADIUS εφαρμόστηκε στη παρούσα εργασία για τη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου σε 42 Δήμους της Νομαρχίας Αθηνών (Πίνακας 2, Σχήμα 2). Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής του Σχήματος 1, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν στοιχεία για τις εδαφικές συνθήκες της περιοχής (Γαλανόπουλος, 1956; Mariolakis and Fountoulis, 1999; Koukris and Sabatakakis, 2000; Παπανικολάου κ.ά., 2004) καθώς και στοιχεία της τελευταίας απογραφής (2001) της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ελλάδος (ΕΣΥΕ) που συνδέονται έμμεσα με τη τρωτότητα των κατασκευών και του πληθυσμού. Το σεισμικό σενάριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του σεισμού των 5.9R που έγινε στην Αθήνα στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 (Paradopoulos et al, 2002).

Στην εφαρμογή του λογισμικού αναδείχθηκαν δύο βασικά προβλήματα εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων του στην εισαγωγή των βασικών δεδομένων και των δεδομένων απογραφής των κτιρίων.

Το πρώτο πρόβλημα αφορούσε στην έλλειψη της δυνατότητας του λογισμικού να δεχθεί για κάθε Δήμο ξεχωριστά τα στοιχεία του πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων του. Αντιθέτως, τα στοιχεία αυτά παράγονταν για κάθε Δήμο από το ίδιο το πρόγραμμα με χρήση του συνολικού πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων των 42 Δήμων της Νομαρχίας Αθηνών που συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη και όπως ήδη έχει αναφερθεί ενός συντελεστή βαρύτητας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας ήταν ο πληθυσμός και ο αριθμός των κτιρίων κάθε Δήμου να μη συμπίπτουν με τα πραγματικά απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ.

Το δεύτερο πρόβλημα αφορούσε στο ότι το RADIUS προβλέπει διαφορετικό αριθμό δομικών τύπων κτιρίων (Πίνακας 1) και αντιστοιχων ΜΠΒ (Σχήμα 2) σε σχέση με ότι ήδη έχει προταθεί για τη χώρα μας (Παπαδρακάκης, 1996; ΙΤΣΑΚ και ΑΠΘ, 2004; Κάππος, 2004, Καρρος, 2007). Το αποτέλεσμα ήταν να γίνουν αρκετές παραδοχές. Τα κτίρια της περιοχής χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τη χρονική περίοδο κατασκευής τους (Πίνακας 2). Στο πίνακα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή των κτιρίων σε ποσοστά επί τοις εκατό. Οι κατηγορίες αυτές αντιστοιχήθηκαν σε τρεις δομικούς τύπους κτιρίων του RADIUS (Πίνακας 1: RES2, RES3 και RES4). Οι χρονικές περιόδους κατασκευής των κτιρίων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις χρονικές περιόδους ισχύος των διαφόρων αντισεισμικών κανονισμών της χώρας. Τα κτίρια μέχρι και το 1960 δεν έχουν κτιστεί κατά κανόνα με αντισεισμικό κανονισμό και είναι γενικά κτίρια με χαμηλή δόμηση. Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES2. Τα κτίρια από το 1961 έως το 1985 είναι κατά κανόνα κτισμένα με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959, εκτός από αυτά της περιόδου 1984-1985 που κτίστηκαν με βάση τις τροποποιήσεις του 1984. Τα κτίρια αυτής της περιόδου είναι συνήθως πολυώροφα (4-6 όροφοι). Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES3. Τα κτίρια από το 1986 και μετά είναι συνήθως πολυώροφα και κτισμένα με αντισεισμικό κανονισμό (1984, 1995, 2000). Στη κατηγορία αυτή αντιστοιχήθηκε ο τύπος RES4.

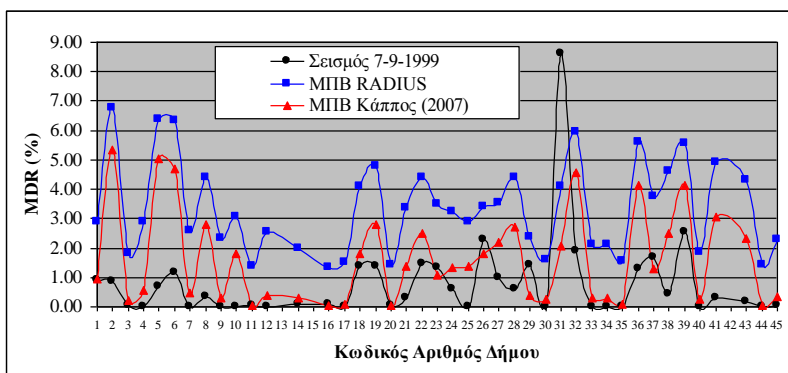


Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής ενδιαφέροντος στο πλέγμα τετραγώνων του RADIUS, όπου οι 42 Δήμοι της Νομαρχίας Αθηνών εμφανίζονται με διαφορετικό κωδικό αριθμό (Πίνακας 2) και τόνο του γκρι χρώματος.

Το σεισμικό σενάριο που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του σεισμού των 5.9R που έλαβε χώρα στις 14:56 τοπική ώρα, στην Αθήνα στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 με εστιακό βάθος περίπου 17km και σε απόσταση περίπου 17km από το ιστορικό κέντρο της πόλης των Αθηνών (Papadopoulos et al, 2002).

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος για τη περίπτωση των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις σε σύγκριση με τα πραγματικά αποτελέσματα του σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 (Πετρόπουλος κ.ά., 2003). Όλα τα στοιχεία εκφράζονται για κάθε Δήμο με τη μέση τιμή των επί τοις εκατό

ποσοτών των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί (στοιχεία προσομοίωσης) ή έχουν υποστεί (πραγματικά στοιχεία) σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις. Τα πραγματικά αποτελέσματα του σεισμού της Αθήνας απεικονίζονται με μικρούς κύκλους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ίδιου σεισμού χρησιμοποιώντας τα ΜΠΒ του RADIUS (Σχήμα 2) απεικονίζονται με μικρά τετράγωνα. Επειδή διαπιστώθηκε διαφορά της τάξης των 2-5 μονάδων μεταξύ των επί τοις εκατό ποσοστών των βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός της Αθήνας και αυτών που υπολογίστηκαν από το RADIUS, το λογισμικό εφαρμόστηκε ξανά με ΜΠΒ που έχουν προταθεί από τον Κάππο (2007) για τους δομικούς τύπους κτιρίων της χώρας μας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα ΜΠΒ των δομικών τύπων RC1-Medium-Low Code, RC4-High-Low Code και RC4-High-High Code για τις κατηγορίες κτιρίων του Πίνακα 2, αντίστοιχα. Τα σχετικά αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 3 με μικρά τρίγωνα. Στο Πίνακα 3 παρουσιάζονται σε σύγκριση με πραγματικά στοιχεία, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του προγράμματος για τη περίπτωση του αναμενόμενου αριθμού νεκρών και τραυματιών με μεγάλης και μέτριας σοβαρότητας τραύματα από σοβαρές βλάβες σε κτίρια ή καταρρεύσεις κτιρίων.



Σχήμα 3. Μέση τιμή των επί τοις εκατό ποσοστών των κτιρίων που αναμένονται να έχουν υποστεί (στοιχεία προσομοίωσης) ή έχουν υποστεί (πραγματικά στοιχεία) σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις.

Πίνακας 2. Κατανομή των κτιρίων των 42 Δήμων της Νομαρχίας Αθηνών κατά χρονική περίοδο κατασκευής.

Α/Α	Κ/Δ	Δήμοι	Πληθυσμός	Σύνολο Κτιρίων	Ποσοτό (%) Κτιρίων κατά Χρονική Περίοδο Κατασκευής		
					Μέχρι και το 1960	1961 έως και το 1985	1986 και μετά
1	1	Δήμος Αθηναίων	789166	62277	38.17	52.54	9.28
2	2	Δήμος Αγ. Βαρβάρας	31354	4874	25.73	65.06	9.21
3	3	Δήμος Αγ. Παρασκευής	60065	6833	13.33	55.98	30.69
4	4	Δήμος Αγ. Δημητρίου	68719	12559	21.20	57.39	21.41
5	5	Δήμος Αγ. Αναργύρων	35072	6546	21.22	63.44	15.34
6	6	Δήμος Αιγάλεω	77917	14190	32.35	59.99	7.66
7	7	Δήμος Αλίμου	39800	5783	11.88	57.17	30.95
8	8	Δήμος Αμαρουσίου	71551	9191	24.21	49.33	26.46
9	9	Δήμος Αργυρούπολης	35076	5269	11.25	71.76	16.99
10	10	Δήμος Βριλησίων	26567	3390	5.87	37.20	56.93

Πίνακας 2 (συνέχεια).

Α/Α	Κ/Δ	Δήμοι	Πληθυσμός	Σύνολο Κτιρίων	Ποσοτό (%) Κτιρίων κατά Χρονική Περίοδο Κατασκευής		
					Μέχρι και το 1960	1961 έως και το 1985	1986 και μετά
11	11	Δήμος Βύρωνος	64661	7225	31.76	53.02	15.21
12	12	Δήμος Γαλασίου	63418	5190	18.30	64.35	17.34
13	14	Δήμος Δάφνης	25058	4369	43.37	47.61	9.02
14	16	Δήμος Ζωγράφου	81435	4497	19.32	66.40	14.28
15	17	Δήμος Ηλιούπολης	81024	11778	20.48	65.21	14.31
16	18	Δήμος Ηρακλείου	48132	6967	17.65	59.61	22.74
17	19	Δήμος Ιλίου	85572	16947	17.17	65.02	17.81
18	20	Δήμος Καισαριανής	27193	3084	47.44	42.32	10.25
19	21	Δήμος Καλλιθέας	115150	8395	29.49	60.25	10.26
20	22	Δήμος Καματερού	23172	6576	11.13	52.31	36.56
21	23	Δήμος Κηφισιάς	45015	10398	14.95	50.37	34.69
22	24	Δήμος Λυκοβρύσεως	8426	1823	15.41	44.98	39.61
23	25	Δήμος Μελισσίων	19886	3240	12.96	46.82	40.22
24	26	Δήμος Μεταμορφώσεως	27522	5283	17.93	54.63	27.45
25	27	Δήμος Μοσχάτου	24315	4206	33.81	50.81	15.38
26	28	Δήμος Ν. Ερυθραίας	15972	3587	19.24	36.55	44.22
27	29	Δήμος Ν. Ιωνίας	69508	10956	39.73	47.58	12.69
28	30	Δήμος Ν. Σμύρνης	76508	6412	23.14	57.31	19.54
29	31	Δήμος Ν. Φιλαδέλφειας	25221	3610	33.77	51.61	14.63
30	32	Δήμος Ν. Χαλκηδόνος	10386	1572	38.17	50.19	11.64
31	33	Δήμος Ν. Ψυχικού	11688	1801	28.48	56.41	15.10
32	34	Δήμος Π. Φαλήρου	67160	5966	23.11	57.01	19.88
33	35	Δήμος Παπάγου	13799	2590	18.53	67.92	13.55
34	36	Δήμος Περιστερίου	146743	27968	20.98	66.22	12.80
35	37	Δήμος Πετρούπολης	51559	7575	14.42	62.48	23.10
36	38	Δήμος Πεύκης	20894	2056	12.45	53.21	34.34
37	39	Δήμος Ταύρου	15555	2345	36.89	51.94	11.17
38	40	Δήμος Υμηττού	11746	2791	39.95	47.47	12.58
39	41	Δήμος Φιλοθέης	8020	1405	26.26	56.30	17.44
40	43	Δήμος Χαλανδρίου	75327	11343	19.23	56.14	24.63
41	44	Δήμος Χολαργού	33915	2990	23.95	60.00	16.05
42	45	Δήμος Ψυχικού	11046	2252	25.93	55.68	18.38

Α/Α = Αύξων Αριθμός

Κ/Δ = Κωδικός Δήμου

Πίνακας 3. Σύγκριση πραγματικού και αναμενόμενου αριθμού θυμάτων από σοβαρές βλάβες σε κτίρια ή καταρρεύσεις κτιρίων στους 42 Δήμους της Νομαρχίας Αθηνών

Κατηγορία Θυμάτων	Πραγματικά Στοιχεία	Στοιχεία Προσομοίωσης	
		ΜΠΒ RADIUS	ΜΠΒ Κάππος (2007)
Νεκροί	35	68	40
Τραυματίες	(4000)*	3853	2316

\* ο αριθμός αφορά στον κατά προσέγγιση συνολικό αριθμό των τραυματιών του σεισμού της Αθήνας

#### 4. Συμπεράσματα

Η χρήση του λογισμικού RADIUS και τα αποτελέσματα της εφαρμογής του για τη περίπτωση του σεισμού της 7<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 1999 που έγινε στην Αθήνα οδήγησαν στα εξής συμπεράσματα.

Το RADIUS είναι μεν εύκολο στη χρήση του, τα προβλήματα όμως που ενέσκηψαν στην εισαγωγή αφενός των στοιχείων του πληθυσμού και του αριθμού των κτιρίων κάθε Δήμου και αφετέρου των δεδομένων απογραφής των κτιρίων κάθε Δήμου, περιόρισαν σημαντικά τις δυνατότητες του προγράμματος ως προς την ακρίβεια των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Το κυριότερο πρόβλημα εντοπίστηκε στην έλλειψη της δυνατότητας να αντιστοιχηθούν τα κατάλληλα ΜΠΒ απευθείας στις κατηγορίες των κτιρίων που προέβλεπε η τελευταία απογραφή της ΕΣΥΕ.

Η προσπάθεια να αντιπροσωπευτούν τρεις κατηγορίες κτιρίων στη χώρα μας (κατά χρονική περίοδο κατασκευής) με αντίστοιχο αριθμό δομικών τύπων κτιρίων και ΜΠΒ του RADIUS, οδήγησε σε αποτελέσματα που διέφεραν 2-5 ποσοστιαίες μονάδες από τα πραγματικά στοιχεία των βλαβών που προκάλεσε ο σεισμός της Αθήνας.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του RADIUS βελτιώθηκαν όταν στις ανωτέρω τρεις κατηγορίες κτιρίων αποδόθηκαν ΜΠΒ που αντιστοιχούν σε δομικούς τύπους κτιρίων που προτάθηκαν από τον Κάππο (2007).

Η εφαρμογή του RADIUS για την εκτίμηση των επιπτώσεων του σεισμικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Αθηνών επιβεβαιώνει τις εκτιμήσεις των σχεδιαστών του, ότι το συγκεκριμένο λογισμικό προορίζεται κυρίως για προκαταρκτική και χονδρική εκτίμηση των επιπτώσεων ενός σεισμού.

#### Βιβλιογραφία

ΙΤΣΑΚ και ΑΠΘ, 2004: Ο σεισμός της Αθήνας της 7-9-99: Εκτίμηση της τρωτότητας στην πλειόσειστη περιοχή και σύγκρισή της με την πραγματική κατανομή των βλαβών των κατασκευών από το σεισμό. Έκθεση υποβληθείσα στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας.

Κάππος Α.Ι., 2004: Προσεισμικός έλεγχος κτιρίων- Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο. Ημερίδα ΤΕΕ / Τμ. Αν. Στερεάς, Απρίλιος 2004.

Παπαδρακάκης Μ., 1996: Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική ανάλυση ραβδωτών φορέων, Σύγχρονες μέθοδοι. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

Πετρόπουλος Ν., Α. Ζησιάδης, Τ. Παπαδόπουλος και Δ. Πύρρος, 2003: «Ο Σεισμός της Πάρνηθας: Αυτό-αξιολόγηση και Προτάσεις Φορέων για την Οργάνωση της Πολιτικής Προστασίας». Κέντρο ερευνών Εκτάκτων Αναγκών. Τελική Έκθεση Πορισμάτων υποβληθείσα στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας .

Τεχνίτης Γ., 2007: Διερεύνηση σεισμικής διακινδύνευσης στη περιοχή του Δ. Κηφισιάς με τη χρήση λογισμικού HAZUS. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας, 2001: Αντισεισμική Ενίσχυση Υφισταμένων Κτιρίων. Περιληπτική παρουσίαση 1ης Φάσης Ερευνητικού Έργου στο ΤΕΕ, Επιτελική Επιτροπή ΤΕΕ.

Frolova N., V. Larionov and J. Bonnin, 2006: Multi-Hazard Risk Assessment at Different Levels with Extremum System Application. The Third International Conference on Early Warning, Bonn, Germany , 27-29 March 2006.

Kaneko F. and J. Sun, 2000: A Tool for Earthquake Damage Estimation, OYO Group, Japan

Kappos A.J., 2007: Seismic vulnerability and risk assessment of urban habitat in Southern European cities. COST-C26 workshop, Prague, 30-31 March 2007.

Kythreoti S. and K. Pilakoutas, 2000: Earthquake risk assessment Case study: Cyprus. Proceedings of the 2nd EuroConference 'Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risks in Europe', IIASA, Laxenburg, Austria 6-9 July 2000.

Molina S. and C.D. Lindholm, 2005: A logic tree extension of the capacity spectrum method developed to estimate seismic risk in Oslo, Norway. Journal of Earthquake Engineering 9(6), 877-897.

OYO Group, 2000: A Simplified Tool for Earthquake Damage Estimation, RADIUS Tool Report.

Papadopoulos G.A., A. Ganas, and S. Pavlides, 2002: The problem of seismic potential assessment: Case study of the unexpected earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece, Earth Planets Space, 54, 9-18.

Savvaidis P., I. Doukas, I., Th. Hatzigogos, I.N. Tziavos, A. Kiratzi, Z. Roumelioti, A. Savvaidis, N. Theodulidis, G. Drakatos, S. Koutoupes, G. Karantonis and A. Sotiriadis, 2004: SEISIMPACT-THES: A system for the evaluation of seismic impact in the built environment of the prefecture of Thessaloniki, Abstract submitted to the 10th International Congress of the Geological Society of Greece, April 15-17 2004, Thessaloniki, Greece.

## ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΣΥΓΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΑ ΤΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΑΒΕΒΑΙΟ ΜΕΛΛΟΝ

Δανδουλάκη Μ.

*Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Κοινό Κέντρο Ερευνών (Ισπρα, Ιταλία), Ινστιτούτο για την Προστασία και την Ασφάλεια του Πολίτη, Μονάδα «Εκτίμηση τρωτότητας και ανιχνευσιμότητα»*

### Περίληψη

Το πεδίο των φυσικών καταστροφών έχει εξελιχτεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Αρχικά η συζήτηση είχε ως επίκεντρο το φυσικό φαινόμενο που εν δυνάμει αποτελεί κίνδυνο, καθώς και τις διαδικασίες προσαρμογής ατόμων και κοινωνιών σε αυτό. Οι αντίστοιχες πολιτικές αποσκοπούσαν στην παροχή βοήθειας στους πληγέντες και σε δομικά μέτρα πρόληψης. Σε μια επόμενη φάση η συζήτηση εστιάζεται στην έννοια της τρωτότητας και αναδεικνύει τις κοινωνικοοικονομικές διαδικασίες που αυξάνουν την τρωτότητα. Οι πολιτικές μείωσης των καταστροφών στρέφονται προς την καταπολέμηση της φτώχειας και την ανάπτυξη. Τελευταία έχουν γίνει φανερά τα σημάδια μιας σταδιακής προσέγγισης του πεδίου της μείωσης των καταστροφών με τη θεματική του περιβάλλοντος και ειδικότερα με το πεδίο της κλιματικής αλλαγής. Επανέρχεται στο προσκήνιο η συζήτηση σχετικά με τις φυσικές διαδικασίες που προκαλούν καταστροφές και το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στην έννοια της ικανότητας ανάκαμψης (*resilience*). Θεωρούμε πως η δυναμική που δημιουργείται καλεί για μια ισορροπημένη επανατοποθέτηση του πεδίου των καταστροφών ως προς τις ευρύτερες θεματικές της ανάπτυξης, του περιβάλλοντος και της ασφάλειας, λαμβάνοντας μάλιστα υπόψη το σύγχρονο αβέβαιο και ασταθές διεθνές πλαίσιο.

### DISASTERS AND THE ENVIRONMENT: CONVERGE AND SEGREGATION OF RESEARCH AND POLICY DOMAINS TOWARDS AN UNCERTAIN FUTURE

Dandoulaki M.

*European Commission, Joint Research Centre-Ispra, Institute of the Protection and Security of the Citizen, Vulnerability Assessment and Traceability Unit*

### Abstract

The research and policy field of the so called natural disasters has evolved during the last decades. Initially the discussion was focused on natural phenomena as hazards and on human adjustments to them. Policies guided towards post-disaster aid and structural prevention measures. In the next phase the socioeconomic processes generating vulnerability and risk were highlighted bringing social vulnerability on the spotlight. Disaster reduction policies directed towards development and the elimination of poverty. Recently the field of disasters has approached the broader thematic area of the environment with resilience becoming a common focus, and hazards regain in interest. We argue that present dynamics and today's uncertain international context call for an insightful and balanced reposition of disaster research and policies with respect to the broader domains of development, environment and security.

**Λέξεις κλειδιά:** καταστροφές, περιβάλλον, ανάπτυξη.

**Key words:** disasters, environment, development.

## 1. Εισαγωγή

Το γνωστικό πεδίο των φυσικών καταστροφών συγκροτείται θεωρητικά από αποσπάσματα θεωριών και μοντέλα από διάφορες επιστημονικές περιοχές (White et al. 2001:87) και έχει επίσης ισχυρή βάση στην εμπειρία. Μάλιστα έγκριτοι ερευνητές καλούν την επιστημονική κοινότητα να αναπροσανατολιστεί από τη θεωρητική και εννοιολογική αναζήτηση προς την εφαρμογή της γνώσης για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων (Britton 2005; Cutter, 2005). Δεν είναι λοιπόν αξιοπερίεργο που η συζήτηση στο πεδίο έρευνας και των πολιτικών για τη μείωση των καταστροφών επηρεάζεται από ζητήματα που έχουν αναδειχτεί σήμερα ως σημαντικά, όπως η βιώσιμη ανάπτυξη και η κλιματική αλλαγή.

Εξ άλλου μετά τα συμβάντα της 11ης Σεπτεμβρίου 2001 στις ΗΠΑ έχει αναζωπυρωθεί η θεωρητική συζήτηση και αναπτύσσονται πολιτικές σχετικά με τα ζητήματα της ασφάλειας (security) και της διαχείρισης κρίσεων. Σε σχέση με αυτά το πεδίο της μείωσης των καταστροφών καλείται να επαναποθετηθεί (Alexander, 2006; Brauch, 2005; Confort, 2005).

Οι εξελίξεις στο πεδίο της μείωσης των καταστροφών πρέπει να θεωρηθούν στο πλαίσιο της ύστερης νεωτερικότητας που το ρίσκο συνιστά εγγενές στοιχείο της ζωής ατόμων και κοινωνιών. Στοιχεία που αξίζει να εξεταστούν αποτελούν επίσης η αβεβαιότητα σχετικά με τους σύγχρονους κινδύνους και ο ρόλος των μέσων μαζικής επικοινωνίας στη διαμεσολάβηση καταστροφών και διακινδύνευσης (Lagadec, 2005; Alexander, 2006).

## 2. Καταστροφές και περιβάλλον

Η σύνδεση των φυσικών καταστροφών με το περιβάλλον απασχόλησε τους γεωγράφους ήδη από την δεκαετία του '70. Μάλιστα είναι κεντρική στη σχολή της ανθρωπίνης οικολογίας -με κυρίαρχη μορφή τον Gilbert White- που εστιάζεται στα φυσικά φαινόμενα ως κινδύνους και στις προσαρμογές / ρυθμίσεις ατόμων και κοινοτήτων σε αυτούς. Η σχολή αυτή δίνει έμφαση κυρίως στην επικινδυνότητα και την έκθεση, δηλαδή θεωρεί ότι «πιο τρωτοί είναι οι πληθυσμοί που είναι εκτεθειμένοι στα πιο επικίνδυνα περιβάλλοντα» (Liverman, 2001). Είναι χαρακτηριστικό ότι ο όρος «τρωτότητα» δεν αναφέρεται καν στο κλασσικό πλέον βιβλίο των Burton, Kates και White «The environment as hazard» (Burton et al., 1978). Κεντρικές στη σχολή αυτή είναι θεωρίες αποφάσεων σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο σχετικά με τις προσαρμογές / ρυθμίσεις στους κινδύνους, και οι έννοιες της αντίληψης και αποδοχής της διακινδύνευσης.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 αρχίζει να κυριαρχεί η σχολή της πολιτικής οικονομίας που θέτει την κοινωνική τρωτότητα ως κεντρικό στοιχείο της προβληματικής της και υποστηρίζει ότι οι άνθρωποι και οι κοινότητες έχουν διαφορετική τρωτότητα σε διαφορετικούς κινδύνους. Οι καταστροφές, δεν είναι αιφνίδιες και μοναδικές καταστάσεις που συμβαίνουν έξω και πέρα από την ανάπτυξη, αλλά μέρος της συνεχούς αλληλεπίδρασης φύσης και κοινωνίας (Hewitt 1983). Η τρωτότητα είναι προϊόν μακροχρόνιων διαδικασιών που έχουν να κάνουν με το πολιτικό, οικονομικό και κοινωνικό πλαίσιο και είναι ανεξάρτητη της επικινδυνότητας (Blaikie et al., 1994; Bankoff, 2004). Η σχολή αυτή δίνει έμφαση σε διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο μακρο-επίπεδο (Pelling, 2003: 52; Alexander, 2006) και είναι προσανατολισμένη προς την συγκρότηση πολιτικών για τη μείωση των καταστροφών ιδιαίτερα στον μη αναπτυγμένο κόσμο, που αποσκοπούν στην μεταβολή βασικών γενεσιουργών αιτιών τρωτότητας.

Στις μέρες μας τα πεδία των φυσικών κινδύνων και του περιβάλλοντος πλησιάζουν το ένα το άλλο και πάλι. Αυτό καταδεικνύει καταρχήν η επισήμανση σε δημοσιεύσεις σχετικά με το περιβάλλον και ειδικότερα την κλιματική αλλαγή, ενός αυξανόμενου αριθμού αναφορών σε κοινές βασικές έννοιες -όπως «ικανότητα ανάκαμψης», «τρωτότητα», «προσαρμογή»- και σε κλασσικά βιβλία των φυσικών καταστροφών (Janssen et al., 2005). Εμφανίζονται επίσης κοινοί στόχοι στις στρατηγικές που αναφέρονται στη μείωση των καταστροφών και στο



περιβάλλον και ιδίως την κλιματική αλλαγή. Ενδεικτικό είναι ότι ο στόχος «για μείωση της τρωτότητας και διαχείριση των καταστροφών» τίθεται από την Παγκόσμια Σύνοδο του Γιοχάνεσμπουργκ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη το 2002. Αντίστοιχα ο στόχος «βιωσιμότητα» υιοθετείται στο Πρόγραμμα Δράσης για τη Μείωση των Καταστροφών του Χιόγκο-Κόμπε, όπως προέκυψε το 2005 από το Παγκόσμιο Συνέδριο για τη Μείωση Καταστροφών, που εξάλλου αναφέρει τον όρο «κλιματική αλλαγή». Χαρακτηριστικό είναι επίσης ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο 7ο Πρόγραμμα Πλαίσιο για την Έρευνα εντάσσει το ζήτημα των φυσικών κινδύνων στη θεματική ενότητα του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής (EC/DG Research, 2006; Vangelsten, 2007).

Παρότι η διαχείριση της διακινδύνευσης αποτελεί κοινό τόπο των δύο πεδίων, αυτά έχουν αρκετές διαφορές (Thomalla et al. 2006). Οι προσεγγίσεις για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή έχουν μια ισχυρή βάση στις θετικές επιστήμες, διατηρούν μια οπτική περιβαλλοντικών επιστημών και μια πολυεπιστημονική προσέγγιση, έχουν παγκόσμια κλίμακα αναφοράς και μακροπρόθεσμη προοπτική, αναπτύσσονται «από επάνω προς τα κάτω». Οι προσεγγίσεις για τη μείωση της διακινδύνευσης καταστροφής βασίζονται παραδοσιακά στη μηχανική και τις φυσικές επιστήμες, έχουν μάλλον βραχυπρόθεσμο ορίζοντα -παρότι τείνει να γίνει πιο μακροπρόθεσμος-, αναπτύσσονται συχνά «από κάτω προς τα πάνω», έχουν στραφεί προς την πρόληψη και την ετοιμότητα από την παροχή βοήθειας και την αποκατάσταση. Διατηρούν επίσης μια έμφαση σε πρωταρχικές κοινωνικοοικονομικές διαδικασίες που προκαλούν τρωτότητα και εξελίσσονται στο μακρο-επίπεδο.

Οι ακαδημαϊκές και επιστημονικές κοινότητες των πεδίων των καταστροφών και του περιβάλλοντος εξακολουθούν να είναι διαχωρισμένες, όπως διαφορετικά εξακολουθούν να είναι τα θεσμικά όργανα, οι μηχανισμοί χρηματοδότησης, τα όργανα υλοποίησης, τα μέσα επιστημονικού διαλόγου (συνέδρια, επιστημονικά περιοδικά κλπ.).

Ωστόσο τα σημάδια προσέγγισης είναι εμφανή, καθώς γνώση και συνειδητοποίηση από το πεδίο των καταστροφών διεισδύει στο θεματικό πεδίο των κλιματικών αλλαγών και οι καταστροφές γίνονται ζήτημα συζήτησης στο πεδίο της κλιματικής αλλαγής (Schirper and Pelling, 2006). Σε ένα βαθμό αυτό είναι αποτέλεσμα μιας καλύτερης τεκμηρίωσης της σχέσης των κλιματικών αλλαγών με τις καταστροφές που συνδέονται με αυτές.

Παρότι τα πεδία του περιβάλλοντος και της μείωσης των καταστροφών θεματικά τέμνονται -τουλάχιστον σε ό,τι αφορά στις καταστροφές με έναυσμα φαινόμενα που συνδέονται με κλιματικές αλλαγές- η προσέγγισή τους τόσο σε επιστημονικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο πολιτικών και εφαρμογής, είναι αργή και δύσκολη. Εξάλλου η πολυεπιστημονική και πολυτομεακή συγκρότηση τους -καταλύτης και προϊόν της αλληλεπίδρασής- δεν είναι ανεξάρτητη της εννοιολογικής σύγχυσης που επικρατεί, καθώς οι έννοιες έχουν διαφορετικό νόημα σε διαφορετικές επιστημονικές πειραρχίες και ερμηνευτικά πλαίσια, και οι σχέσεις μεταξύ των εννοιών παραμένουν ασαφείς (Klein et al., 2003).

Η ανάδειξη της σημασίας των πρωταρχικών διαδικασιών γένεσης τρωτότητας σε καταστροφές από την κοινότητα της μείωσης των καταστροφών, άνοιξε το δρόμο της συνδιαλλαγής με την κοινότητα των κλιματικών αλλαγών (Helmer and Hillhorst, 2006). Αρκεί η τελευταία να απεμπλακεί από την εστίασή της στο ρόλο του μεμονωμένου φορέα και ατόμου και να προσανατολιστεί προς τις δομικές συνθήκες που προσδιορίζουν την τρωτότητα (Thomalla, 2006: 43). Η ανάγκη για προσέγγιση των πεδίων των καταστροφών και του περιβάλλοντος και ιδίως της κλιματικής αλλαγής φαίνεται λοιπόν ότι έχει πλέον συνειδητοποιηθεί και εκτιμάται ότι μπορεί να αποβεί αμοιβαία επωφελής κάτω από αυτούς τους όρους.

### 3. Εν κατακλείδι

Στο σύγχρονο διεθνές πλαίσιο που χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητα και όπου η ασφάλεια (security) τίθεται ως προτεραιότητα, το πεδίο των καταστροφών ψάχνει να οριοθετηθεί σε

επίπεδο εννοιών, επιστημονικών κοινοτήτων, πολιτικών και πρακτικών. Η διάχυση και αλληλεπίδραση του με άλλες θεματικές –και ιδίως με αυτές του περιβάλλοντος, της ανάπτυξης και της ασφάλειας - είναι εμφανής σε όλα αυτά τα επίπεδα.

Θεωρούμε ότι η επιβίωσή του στηρίζεται στο να επιτύχει να αλληλεπιδράσει και να αξιοποιήσει όλες αυτές τις θεματικές διατηρώντας την αυτοτέλειά του. Η ένταξή του στη θεματική του περιβάλλοντος, και ειδικότερα στο πεδίο της κλιματικής αλλαγής, ενέχει τον κίνδυνο να οδηγήσει εν τέλει σε περιορισμό της δύσκολα κατακτημένης ευρύτητας του που πλέον επιτρέπει συνδυασμένη θεώρηση περιβαλλοντικών, τεχνολογικών, πολιτισμικών και κοινωνικοοικονομικών διαστάσεων.

## Βιβλιογραφία

Alexander, D., 2006: Globalisation of disasters: Trends, problems and dilemmas. *Journal of International Affairs*. Vol.59(2), 1-22.

Bankoff, G., Frenks, G., Hilhorst, D. 2004: *Mapping vulnerability: Disasters, development and people*. Earthscan, London-Sterling.

Beck, U., 1992: *Risk Society: Towards a new modernity*. London, Sage.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B., 1994: *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London-NY:Routledge.

Brauch, H.,G., 2005: *Threats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security*. SOURCE, Publication Series UNU-EHS, No.1/2005.

Britton, N.R., 2005: "What's a word? Opening up the debate". In: Perry, R.W. and Quarantelli, E.L., (eds), 2005: *New answers to old question*. Xlibris, USA, 60:78.

Burton, I., Kates, R.W., White, G.F., 1993: *The environment as hazard*. The Quilford Press, NY-London (2<sup>nd</sup> edition)

Comfort K.L., 2005: Risk, security, and disaster management. *Annual Review of Political Science*. Vol. 8, 335-356.

Cutter, S.L., 2005: Are we ask the same question?. In: Perry, R.W. and Quarantelli, E.L. (eds), 2005: *What is a disaster? New answers to old question*. Xlibris, USA, 35-48.

European Commission/DG Research/ Directorate Environment, 2006. *European research on natural hazards: Catalogue of selected FP5 and FP6 projects*. Vol. 1. EUR21936: Climate Change and Natural Hazard Research – Series 2. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg.

Helmer, M. and Hilhorst, D., 2006: Natural disasters and climate change. *Disasters*. 30(1),1-4.

Hewitt, K. (ed), 1983: *Interpretations of calamity: from the viewpoint of human ecology*. Allen and Unwin, London.

Janssen, M.A., Schoon, M.L., Ke, W., Borner, K., 2006: Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*. 16(3), 240-252.

Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Thomalla, F., 2003: Resilience: How useful is the concept? *Environmental Hazards*. 5(2003), 35-45.

Lagadec, P., 2005: *Crisis management in the 21st century: "Unthinkable" events in "inconceivable" contexts*". Cahier No 2005-003, Ecole Polytechnique- Centre National de la

Recherche Scientifique. [http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/PL\\_Unthinkable.pdf](http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/PL_Unthinkable.pdf)  
(9/8/2005)

Liverman, D.M., 2001: Vulnerability to global environmental change. In: Karperson, J.X. and Karperson, R.E. (eds), 2001. *Global environmental risk*. United Nations University Press, Tokyo- NY-Paris, 201-216.

Schipper, L., Pelling, M., 2006: Disaster risk, climate change and international development: Scope for, and challenges to, integration. *Disasters*. 30, 19-38.

Smith, K., 1991, *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge, London and NY, 3<sup>rd</sup> edition.

Thomalla, F., Downing, T., Spanger-Siefried, E., Han, G., Rockstrom, J., 2006: Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation. *Disasters*. 2006, 30(1), 39-48.

Vangelsten, B.V., 2007: *Natural hazards research in the 7<sup>th</sup> Framework Programme*. Presentation in LessLoss Final Workshop, Belgirate (Italy), 19-20 July 2007. <http://elsa.jrc.it/displaypdf.php?doc=/lessloss/sessions/2021.pdf> (στις 7/8/2007)

White, G.F., Kates, R.W., Burton, I., 2001: Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. *Environmental Hazards*. 3 (2001), 81-92.

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΝΑΥΠΛΙΟΥ

Δρακάτος Γ.<sup>1</sup>, Βαλαδάκη – Πλέσσα Α.<sup>2</sup>, Γαϊτανάκης Π.<sup>3</sup>, Σώκος Ε.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Γ.Ι.-Ε.Α.Α.)

<sup>2</sup> Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)

<sup>3</sup> Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)

<sup>4</sup> Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Πατρών

### Περίληψη

Σύμφωνα με τις νέες αντιλήψεις, ο σχεδιασμός του χώρου για την ανάπτυξη ειδικών χρήσεων γης, συνδυάζεται με τον αντισεισμικό αστικό προγραμματισμό. Στα πλαίσια αυτά όλο και περισσότεροι ερευνητές προτείνουν μεθοδολογίες για την καλύτερη είτε για την ταχύτερη προσέγγιση του θέματος. Μια ανάλογη προσπάθεια πραγματοποιήθηκε για την ιστορική πόλη του Ναυπλίου. Στα πλαίσια αυτά έγινε κατ' αρχήν, λεπτομερής γεωλογική - γεωτεχνική χαρτογράφηση και διερεύνηση της σεισμικής επικινδυνότητας, δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου. Σύμφωνα με τους προηγούμενους ερευνητές, οι χάρτες εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας διακρίνουν την περιοχή μελέτης σε κατηγορίες βασισμένοι αποκλειστικά στα γεωλογικά και στα γεωτεχνικά στοιχεία της περιοχής. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την περιοχή του Ναυπλίου, για την εκπόνηση του χάρτη της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, εκτός των παραπάνω, ελήφθησαν υπόψη και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας αξιοποιήθηκε τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Η ίδια τεχνολογία, στη συνέχεια, έδωσε την δυνατότητα να συνδυασθούν τα χωρικά και περιγραφικά δεδομένα που περιλαμβάνονταν τόσο στον προηγούμενο χάρτη της σεισμικής επικινδυνότητας, όσο και στο χάρτη της σεισμικής τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος και να προκύψει ο τελικός χάρτης του σεισμικού κινδύνου για την ιστορική πόλη του Ναυπλίου.

### PRESENTATION OF THE METHODOLOGY FOR THE ESTIMATION OF SEISMIC RISK IN THE HISTORICAL CITY OF NAUPLIUM.

Drakatos G.<sup>1</sup>, Valadaki- Plessa A.<sup>2</sup>, Gaitanakis P.<sup>3</sup>, Sokos Euthimios<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Geodynamic Institute - National Observatory of Athens

<sup>2</sup>Ministry for Environment, Urban Planning and Public Works

<sup>3</sup>Institute of Geological and Mining Researches

<sup>4</sup>Geological Department of the University of Patras

### Abstract

According to new beliefs, during the recent years, the spatial planning for the development of special land use is combined with the antiseismic urban planning. For this matter many researchers propose different methodologies for better and/or faster approach to the subject of antiseismic planning. This is the presentation of the methodology used for the compilation of the seismic risk map of Nauplium. For this compilation, a detailed geological mapping and an investigation of seismic hazard took place. The data collected were used for the estimation of the seismic risk. According to previous researchers, the seismic hazard maps of the ground distinguish it to categories, as stated in Greek Antiseismic Regulation. Older reports are based exclusively in the geological and geotechnical data of the area of interest. In contrast to previous reports, this one takes into consideration older methodology, as well as the geomorphologic data of the studied area.

The process of the collected data for the city of Nauplium was made utilizing Geographical Information Systems (G.I.S.). Finally using this modern technique all the data collected from both the seismic hazard map of the ground and the map of seismic vulnerability were analyzed. Through this combination, the map of seismic risk of Nauplium was compiled.

**Λέξεις κλειδιά:** Σεισμική επικινδυνότητα, σεισμικός κίνδυνος, Γ.Σ.Π.

**Key words:** Seismic hazard, seismic risk, Geographical Information Systems.

## 1. Εισαγωγή

Το Ναύπλιο έχει μια συνεχή νεότερη ιστορία το λιγότερο δεκατεσσάρων αιώνων. Η πλούσια ιστορία του Ναυπλίου έχει αποτυπωθεί στον πολεοδομικό ιστό όπου περιλαμβάνονται σημαντικά ιστορικά κτίρια και μνημεία τα οποία αφενός μεν δίνουν τη μοναδική ομορφιά στην πόλη, αφετέρου δε απαιτούν αυξημένη φροντίδα και προστασία.

Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν στην εκπόνηση αναλυτικών γεωλογικών και σεισμολογικών ερευνών για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος στην πόλη του Ναυπλίου. Οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.) και ενώ αναφέρονται στην ευρύτερη περιοχή, εστιάσθηκαν στο ιστορικό τμήμα της πόλης.

Στην πορεία των παραπάνω εργασιών, έχοντας υπόψη τις ερευνητικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται διεθνώς για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου, και εφόσον ήταν διαθέσιμα τόσο το πλούσιο γεωλογικό και σεισμολογικό υλικό που είχε προκύψει από τις εργασίες της έρευνας, όσο και ο χάρτης τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος του ιστορικού κέντρου, οι εργασίες στράφηκαν προς την εκπόνηση ενός χάρτη που θα παρουσίαζε το σεισμικό κίνδυνο για την περιοχή μελέτης, ο οποίος θα μπορούσε να συνταχθεί εύκολα με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π. – G.I.S.). Στη διαδικασία αυτή και με την χρήση της ίδιας τεχνολογίας εκπονήθηκε επίσης με μεγαλύτερη πιστότητα, ο χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, η οποία προτείνεται ως μια προεργιστική μέθοδος για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου σε οικιστικές περιοχές, που μπορεί να αναπτυχθεί άμεσα και με ευκολία, σε κάθε ανάλογη περίπτωση, εφόσον είναι διαθέσιμα τα σχετικά στοιχεία.

## 2. Μεθοδολογία

Για τις ανάγκες της έρευνας κατ' αρχήν πραγματοποιήθηκε γεωμορφολογική αναγνώριση, από όπου προέκυψε ο χάρτης των μορφολογικών κλίσεων. Στη συνέχεια εξελίχθηκαν οι γεωλογικές έρευνες που περιλάμβαναν την πιστοποίηση και συμπλήρωση της γεωλογικής χαρτογράφησης και της τεκτονικής, ώστε να γίνουν σαφή τα ειδικά γεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών οι οποίοι δομούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί αξιολογήθηκαν ως προς την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά τους και ακολούθως συντάχθηκε ο τεχνικογεωλογικός χάρτης. Συγχρόνως στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη της σεισμικότητας και της σεισμικής επικινδυνότητας. Από το συνδυασμό των γεωλογικών, τεχνικογεωλογικών στοιχείων και των αποτελεσμάτων της εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας, προέκυψε ο χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

Στα πλαίσια της έρευνας σχεδιάσθηκε και αναπτύχθηκε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), όπου αποθηκεύθηκαν όλα τα χαρτογραφικά και περιγραφικά στοιχεία. Τελικά, από την επεξεργασία των δεδομένων και από τις χωρικές αναλύσεις (special analysis), στα πλαίσια του Γ.Σ.Π., προέκυψαν ο συνδυαστικός χάρτης της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας (Seismic Hazard), καθώς και ο χάρτης του σεισμικού κινδύνου (Seismic Risk).

### 3. Γεωμορφολογικά στοιχεία

Το Ναύπλιο αναπτύσσεται εντός του Αργολικού πεδίου, το οποίο αποτελεί μια ιζηματογενή λεκάνη που έχει πληρωθεί με μεταλλικά ιζήματα. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο, με χαμηλές γενικά κλίσεις, όπου αναπτύσσονται αρκετοί λόφοι, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται και εκείνοι του Παλαμηδίου και της Ακροναυπλίας, που αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της πόλης. Η μορφολογία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με τη λιθολογία και την τεκτονική της περιοχής. Το νοτιότερο τμήμα (νότιο τμήμα Ακροναυπλίας) της περιοχής μελέτης είναι κρημνώδες και ελέγχεται πλήρως από την τεκτονική της περιοχής.

Η γεωμορφολογία της περιοχής για τις ανάγκες της εργασίας αποτυπώθηκε στο χάρτη κλίσεων που δημιουργήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (D.E.M.), μέσω του Γ.Σ.Π.

### 4. Γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εντάσσεται στη γεωδυναμική ρηξιγενή τεκτονική, που έχει προσβάλει τον ευρύτερο χώρο της Αργολίδας με κατακόρυφες μεταπτώσεις, οι οποίες έχουν δημιουργήσει δομές με Horst (κέρατα) και Graben (τάφρους).

Ο λόφος της Ακροναυπλίας, όπου αναπτύσσεται και το μεγαλύτερο τμήμα του παραδοσιακού οικισμού, αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς και φλύσχη, σε δομή καλυμμάτων. Οι υποκείμενοι ασβεστόλιθοι έχουν υποστεί έντονη πτύχωση. Στη βάση του το τεκτονικό κάλυμμα φέρει έντονα τα στοιχεία των πιεστικών κινήσεων με τεκτονικά λατυποπαγή και πυκνό σύστημα διακλάσεων, κατατμήσεων αλλά και επιφάνειες ολίσθησης που δίνουν στο πέτρωμα δομή πάγκων, ενώ δεν απουσιάζουν οι διαγωνίσιες και ρομβοειδείς κατακλάσεις. Ανάλογα τεκτονικά χαρακτηριστικά παρουσιάζει και ο λόφος του Παλαμηδίου.

Τα μεταλλικά ιζήματα που αναπτύσσονται στην περιοχή του Ναυπλίου αποτελούνται από τεταρτογενείς αποθέσεις διαφόρων φάσεων.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής.



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ναυπλίου

## 5. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών

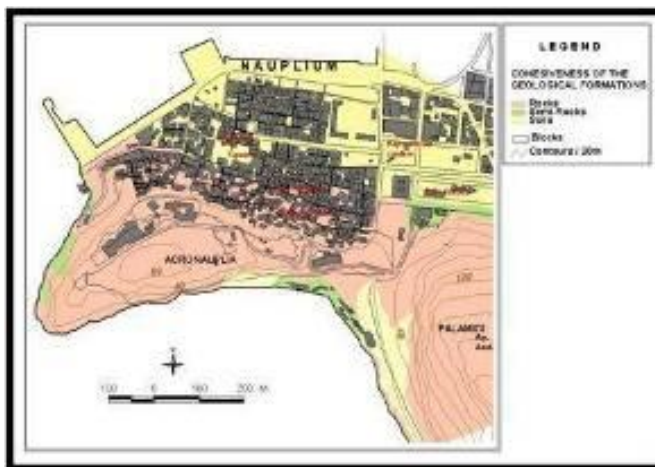
Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι συνέρχονται στη δομή της υπό μελέτη περιοχής, ανάλογα με τα γεωτεχνικά τους χαρακτηριστικά, διαχωρίζονται σε τρεις ενότητες:

Γεωτεχνική ενότητα I: Πλακώδεις παχυπλακώδεις – λεπτοπλακώδεις Ασβεστόλιθοι και Ψαμίτες (Φλύσχης). Κατατάσσονται στους «βραχώδεις» σχηματισμούς παρουσιάζοντας, γενικά, καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και μέσες έως υψηλές αντοχές.

Γεωτεχνική ενότητα II: Παλαιά πλευρικά κορήματα. Αποτελούνται από λατύπες διαφόρων μεγεθών με συνδεδετικό υλικό κυρίως αργιλικό. Πρόκειται για συνεκτικό σχηματισμό. Αναμένεται να εμφανίζει μέτριες τιμές αντοχής. Για το λόγο αυτό κατατάσσεται στους «ημίβραχους».

Γεωτεχνική ενότητα III: Σύγχρονα πλευρικά κορήματα και αλλουβιακές αποθέσεις. Τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα είναι χαλαρά έως συνεκτικά υλικά με λατύπες. Γενικά παρουσιάζουν μέτρια έως ασθενή μηχανικά χαρακτηριστικά και αναμένεται να εμφανίζουν μικρότερες σχετικά τιμές αντοχής. Για τον λόγο αυτό, οι σχηματισμοί αυτοί κατατάσσονται στους «εδαφικούς σχηματισμούς».

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, σε τρεις (3) ενότητες.



Σχήμα 2. Τεχνικογεωλογικός Χάρτης, όπως προέκυψε από τη γεωτεχνική έρευνα

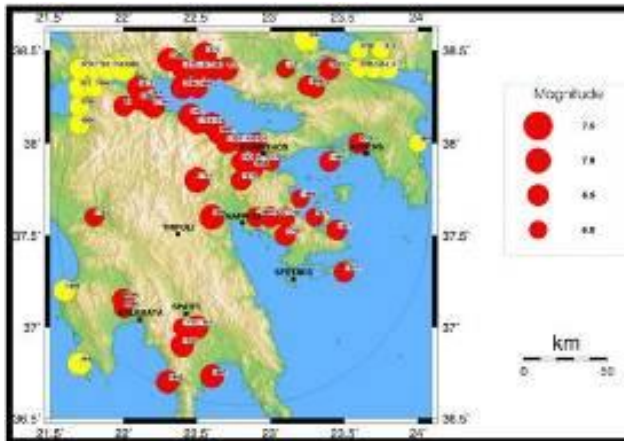
## 6. Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή του Ναυπλίου

Στην περιοχή ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής μελέτη σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας.

### 6.1 Σεισμική επικινδυνότητα

Για τη μελέτη της ιστορικής σεισμικότητας συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία που αφορούν την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν κατάλογοι ιστορικών σεισμών όπως των Parazachos και Parazachou 1989, Galanopoulos 1981, Parazachos και Comninakis 1982, Parazachos και Parazachou 1997, 2003, στους οποίους περιέχονται πληροφορίες από το 500 π.Χ. έως το 1900 μ.Χ. Τα αποτελέσματα από την

ανάλυση των ιστορικών σεισμών (Σχήμα 3) είναι τα εξής: 1) Το λιγότερο τέσσερις ισχυροί σεισμοί (>6.0) σημειώθηκαν κατά την ιστορική περίοδο πολύ κοντά στην πόλη του Ναυπλίου. Αυτοί οι σεισμοί μπορούν να δημιουργήσουν σημαντική μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στο υπέδαφος της πόλης. Οι ακριβείς τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης κυμαίνονται ανάλογα με τις σχέσεις εξασθένησης και οι αναμενόμενες τιμές είναι από 0.2g μέχρι και 0.5g., 2) Ενδεικτικά μέγιστα εδαφικής επιτάχυνσης αναμένονται από τρία σχετικά ισχυρά σεισμικά γεγονότα, ένα κοντά στην Τρίπολη (~7) με σχετικά μικρή επικεντρική απόσταση (~30km) από το Ναύπλιο (π.χ. 1898, 0.15g ή 0.5g). Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί είναι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους και από τη στιγμή που αυτά τα γεγονότα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά εξασθένησης από τους επιφανειακούς σεισμούς είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι τελικές επιπτώσεις χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις εξασθένησης. Παρόλα αυτά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και 3) Ο ισχυρότερος ιστορικός σεισμός ήταν το 1898 με μέγεθος 7.0 και επίκεντρο την περιοχή της Τρίπολης. Γενικότερα, από τα ιστορικά δεδομένα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι η περιοχή μελέτης έχει υψηλή σεισμικότητα με ισχυρούς σεισμούς σε μικρή απόσταση από την περιοχή του Ναυπλίου. Αν και δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός επίκεντρου και βάθους αυτών των γεγονότων, εντούτοις φαίνεται πως τα ισχυρότερα (~7) συσχετίζονται με εστίες σε μεγάλα βάθη, που έχουν άμεση σχέση με τη ζώνη υποβύθισης κάτω από την Πελοπόννησο.



Σχήμα 3. Επίκεντρα ιστορικών σεισμών σε απόσταση 1<sup>ο</sup> γύρω από το Ναύπλιο (Papazachos και Papazachou 2003).

Για τη μελέτη της ενόργανης σεισμικότητας, με στόχο να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, δημιουργήθηκε ένας κατάλογος από διάφορες πηγές και εφαρμόστηκαν κατάλληλες σχέσεις στις κλίμακες μεγέθους. Ο τελικός κατάλογος περιλαμβάνει δεδομένα από τρεις πηγές : α) 1900 – 1950 Makropoulos και Burton 1981, β) 1950 – 2000 Papanastasiou et al, 2001 και γ) 2000 – 2004 κατάλογος Γ.Ι.Ε.Α.Α. (<http://www.gein.noa.gr>). Τα συμπεράσματα από τη μελέτη της ενόργανης σεισμικότητας (Σχήμα 4) δείχνουν ότι: 1) Σε αντίθεση με τα ιστορικά δεδομένα δεν υπάρχει κανένας ισχυρός (>6) κοντά στην πόλη του Ναυπλίου, στον κατάλογο των πρόσφατων σεισμολογικών δεδομένων. Η σεισμικότητα συγκεντρώνεται στον Κορινθιακό κόλπο και στις δυτικές ακτές της Πελοποννήσου όπως επίσης και κοντά στην Καλαμάτα και τη Σπάρτη, 2) Μερικοί σεισμοί εντοπίζονται στον Αργολικό κόλπο, στα ανατολικά του Ναυπλίου στη Ξηρά και στο Σαρωνικό κόλπο, αλλά τα μεγέθη τους δεν είναι μεγάλα, 3) Ο ισχυρότερος σεισμός κοντά στην πόλη είναι αυτός του 1962 (28 Αυγούστου, h=95km, M=6.8) και 4) Το βάθος των σεισμών αυξάνει στα ανατολικά, σύμφωνα με την καταβύθιση κάτω από την Πελοπόννησο, κατά συνέπεια κοντά στο Ναύπλιο υπάρχουν μερικά επίκεντρα σεισμών ενδιάμεσου βάθους, όπως αυτό του 1962.





αναλύσεων της τοπικής σεισμικής απόκρισης του εδάφους. Οι εργασίες αυτές αποτελούν το κύριο μέρος μιας λεπτομερούς σεισμικής μικροζωνικής έρευνας, η οποία απαιτεί σχετικά μακρύ χρόνο εκπόνησης και μεγάλη δαπάνη. Γι' αυτό είναι χρήσιμο να αναπτυχθούν μεθοδολογίες, σύμφωνα με τις οποίες θα είναι δυνατόν να προκύψουν χάρτες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας, σε βραχύτερο χρονικό διάστημα και με μικρότερο κόστος.

Στο παρελθόν διάφορες ερευνητικές ομάδες, σε διαφορετικές περιοχές έχουν συντάξει χάρτες όπου οι εδαφικοί σχηματισμοί διακρίνονται με βάση την σεισμική επικινδυνότητά τους, σύμφωνα με την κατάταξη των εδαφών που περιλαμβάνονται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό. Σχετικά μπορούν να αναφερθούν οι χάρτες που συντάχθηκαν για το Ηράκλειο και την Θήβα στα πλαίσια των Μικροζωνικών Μελετών (AUTO-SEISMO-GEOTECH 2000), ο ανάλογος χάρτης για την πόλη της Μυτιλήνης (Makropoulos *et al.*, 2004), καθώς και ο χάρτης για την πληγείσα, από τους σεισμούς του 1999, περιοχή των Αθηνών (Marinos *et al.*, 2002).



Σχήμα 5. Χάρτης Ζωνών Εδαφικής Σεισμικής Επικινδυνότητας κατά Ε.Α.Κ. 2000, στην περιοχή του Ναυπλίου.

Ακολουθώντας τα βήματα των προηγούμενων ερευνητών και βασιζόμενοι στους λιθοστρωματογραφικούς χαρακτήρες, στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά (συνεκτικότητα, πυκνότητα, εκτιμώμενη δυσκαμψία), καθώς και στο πάχος των γεωλογικών σχηματισμών, σύμφωνα με τα δεδομένα της τεχνικογεωλογικής αναγνώρισης (Σχήμα 2), και επίσης στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, δημιουργήθηκε ο χάρτης του Σχήματος 5, όπου παρουσιάζονται οι ζώνες της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, στην περιοχή του Ναυπλίου, σύμφωνα με τις κατηγορίες του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000). Σύμφωνα με το χάρτη του Σχήματος 5, στην περιοχή του Ναυπλίου συναντώνται οι κατηγορίες των εδαφών (Α), (Β), και (Γ).

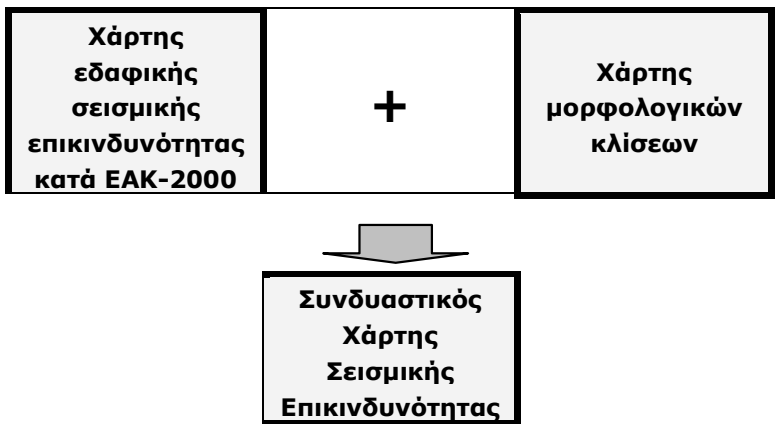
Ο χάρτης αυτός είναι ένα σημαντικό βοήθημα για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος στην περιοχή έρευνας, καθόσον είναι γενικής χρήσεως και μπορεί να αξιοποιηθεί σε κάθε είδους επιτελικό σχεδιασμό του χώρου, δίνοντας μια καλή εικόνα για τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και την αναμενόμενη συμπεριφορά τους σε περίπτωση σεισμού, προσφέροντας ένα ενιαίο υπόβαθρο πληροφόρησης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακολούθως και για τον προσδιορισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού.

Για τη σύνταξη του χάρτη του Σχήματος 5 ελήφθησαν υπόψη αποκλειστικά οι τοπικές γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες του εδάφους. Τα ρήγματα που διατρέχουν την περιοχή του Ναυπλίου απεικονίζονται στο γεωλογικό χάρτη.

Επειδή όμως, τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης στην επιφάνεια του εδάφους είναι

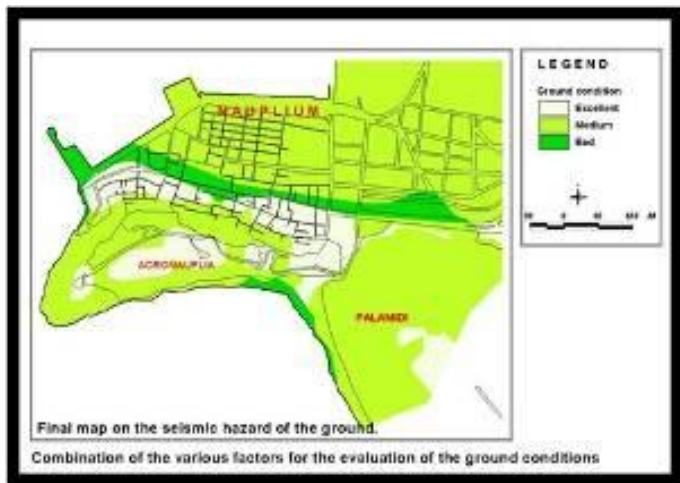
δυνατόν να διαφοροποιούνται τοπικά, όχι μόνο εξ αιτίας των εδαφικών συνθηκών, αλλά και λόγω της αλληλεπίδρασης της σεισμικής διέγερσης με τις γεωμορφολογικές συνθήκες, αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π., τα δεδομένα του χάρτη του Σχήματος 5 συνδυάστηκαν χωρικά με τα δεδομένα του χάρτη των μορφολογικών κλίσεων.

Η διαδικασία της χωρικής ανάλυσης (spacial analysis) που ακολουθήθηκε εμφανίζεται σχηματικά στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Διαδικασία χωρικής ανάλυσης (Spacial Analysis) με αξιοποίηση του Γ.Σ.Π. για την εκπόνηση του Συνδυαστικού Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ναυπλίου.

Η διάκριση των περιοχών σε συνθήκες «Πολύ καλές», «Μέτριες» και σχετικά «Δυσμενέστερες», από την άποψη της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, έγινε με βάση τον Πίνακα 2, ενώ ο χάρτης που προέκυψε δίνεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Συνδυαστικός Χάρτης Ζωνών Εδαφικής Σεισμικής Επικινδυνότητας, στην περιοχή του Ναυπλίου, όπου έχουν ληφθεί υπόψη οι συνθήκες των γεωλογικών σχηματισμών και οι γεωμορφολογικοί παράγοντες.

Πίνακας 2. Μήτρα συνδυασμού κριτηρίων, για την εκτίμηση της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (%)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		
	A	B	Γ
0-5	Πολύ καλή	Μέτρια	Μέτρια
5-15	Πολύ καλή	Μέτρια	Δυσμενής
15-25	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
25-35	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
35-45	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής
> 45	Μέτρια	Μέτρια	Δυσμενής

## 7. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου στην ιστορική πόλη του Ναυπλίου, διεξήχθησαν λεπτομερείς γεωλογικές – γεωτεχνικές έρευνες, καθώς και έρευνες για την εκτίμηση της σεισμικότητας – σεισμικής επικινδυνότητας. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύθηκαν σε Γ.Σ.Π., το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.
- Αξιοποιώντας τα δεδομένα των ερευνητικών εργασιών και χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π., συντάχθηκαν οι χάρτες της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας και του σεισμικού κινδύνου για την περιοχή μελέτης.
- Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δίνει καλύτερη εκτίμηση τόσο για την εδαφική σεισμική επικινδυνότητα, όσο και για το σεισμικό κίνδυνο και προτείνεται ως μια ταχεία προσεγγιστική μέθοδος για την εκτίμηση των παραμέτρων αυτών, σε οικιστικές περιοχές.
- Η μέθοδος που αναπτύχθηκε παραπάνω μπορεί να εφαρμοσθεί και με περισσότερα δεδομένα, καθόσον οι σχετικοί συνδυασμοί στα Γ.Σ.Π. έχουν πρακτικά απεριόριστες δυνατότητες. Επισημαίνεται δε ότι όσο περισσότερα και ακριβέστερα είναι τα διαθέσιμα στοιχεία, τόσο μειώνονται και τα τυχόν σφάλματα που οφείλονται στη στρωγγυλοποίηση των ποσοτικών παραγόντων, προκειμένου να προσεγγισθεί καλύτερα ο πιθανός κίνδυνος λόγω σεισμού.
- Τέλος, επισημαίνεται ότι τα στοιχεία που παρουσιάζονται στους χάρτες του σεισμικού κινδύνου, της εδαφικής σεισμικής επικινδυνότητας, καθώς και στο συνδυαστικό χάρτη της σεισμικής επικινδυνότητας για την περιοχή του Ναυπλίου έχουν το χαρακτήρα γενικών οδηγιών, είναι όμως ιδιαίτερος χρήσιμα για την αντιμετώπιση του θέματος «προστασία έναντι σεισμού» σε επίπεδο επιτελικού σχεδιασμού. Συγχρόνως παρέχουν σημαντικές πληροφορίες και προσφέρουν το βασικό υπόβαθρο για την εκπόνηση οποιωνδήποτε λεπτομερών Σεισμικών Μικροζωνικών Μελετών, με σκοπό το προσδιορισμό των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού των κατασκευών.

## Βιβλιογραφία

AUTO-SEISMO\_GEOTECH, 2000: Αυτοποιημένο Γεωτεχνολογικό Πρόγραμμα "Πρόληψης - μείωσης σεισμικού κινδύνου πόλεων υψηλής σεισμικότητας", ΕΚΒΑΝ #654 ΕΠΕΤ ΙΙ". Ημερίδα με θέμα "Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της Μικροζωνικής Μελέτης Ηρακλείου Κρήτης»,

ΤΕΕ – Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Ηράκλειο 22 Μαρτίου 2000.

Bender, B.K., και Perkins, D.M., 1987, SEISRISKIII -- A computer program for seismic hazard estimation.: U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 48 p.

Dandoulaki M., Valadaki A., Panoutsopoulou M., Plessas S., Drakatos G. 2006: Rapid low cost vulnerability and risk assessment for earthquake planning: An application to Rhodes city (Greece). Abstr. IDRC Davos 2006 August 27th – September 1st, 2006 Davos, Switzerland

Galanopoulos, A.G., 1981. The damaging shocks και the earthquake potential of Greece. Ann. Geol. Hellen., XXX/2, 647-724.

Earthquake Engineering Handbook (EEH) 2003, Wai-Fah Chen και Charles Scawthorn (Editors), CRC press.

Kijko A. και Sellevoll I.A., 1989. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I. Utilisation of extreme και complete catalogues with different threshold magnitudes. Bull. Seism. Soc. Am. 79, 645-654.

Makropoulos K., Kassaras I., Stournaras G., Kapourani E., Valadaki A., Plessas S. 2004: Results from a multidisciplinary microzonation study in the city of Mytelene (Lesvos Island, Greece). Proceedings of the 10th International Congress of the Geological Society of Greece, Thessaloniki, April 2004. (In Greek).

Makropoulos K.C. και Burton P.W. 1981. A catalogue of seismicity in Greece και adjacent areas. Geophys.J.R.astr.Soc. 65, 741-762.

Marinos P., Tsiambaos G., Boucouvalas G., Sambatakakis N., et al. 2002: Geological – Geotechnical Study of Athens Basin, Athens. Ministry for Environment, Physical Planning and Public Works. Earthquake Planning and Protection Organization (E.P.P.O.) (In Greek).

Papanastassiou D., Latoussakis J. και Stavrakakis G. 2001. A revised catalogue of earthquakes in the broader area of Greece for the period 1950-2000, Proceedings of the 9th International Congress of the Geological Society of Greece, Αθήνα, September 2001. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/4, 1563-1566, 2001.

Papazachos, B.C. και Comninakis, P.E. 1982. A catalogue of historical earthquakes in Greece και surrounding area, 479 B.C. - 1900 A.D., University of Thessaloniki, Geophys. Lab. Publ., No.5, Thessaloniki.

Papazachos, B. και Papazachou C., 1989. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki (In Greek)

Papazachos, B. και Papazachou C., 1997. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki.

Papazachos, B. και Papazachou C., 2003. The earthquakes of Greece, Editor Ziti, Thessaloniki (In Greek).

SISMA: Integrated System for Prevention of Risk and Protection of Historical Pattern. www.sismaproject.eu

Tselentis, G-A. 1997. Modern Seismology, Publ. Papanotiriou, Vol 1-2, pages 1300 (In Greek).

Valadaki – Plessa, A., 2001: Geological – Geomorphological research in the surround regions of the Euboean Gulf. Integrated applications ulizing G.I.S technique. Doctoral thesis, N.T.U.A. (In Greek).

## ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΡΟΚΥΨΟΥΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ – ΜΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Δρ. Μανούρης Γ., Μουζάκης Γ.

*Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων*

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται το θέμα των τεχνολογικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης, που μπορεί να προκύψουν από φυσικές καταστροφές, όπως σεισμούς, κατολισθήσεις, πλημμύρες κ.λ.π.

Η εξέταση του εν λόγω θέματος γίνεται κατά τρόπο συνθετικό, καθότι ένα τέτοιο τεχνολογικό ατύχημα, έχει επιπτώσεις που, όπως είναι ευνόητο, άπτονται του χώρου της τεχνικής, της οικονομικής και της νομικής επιστήμης.

Το εξεταζόμενο θέμα, έχει στενή σχέση και με το θεσμό της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αφού στις περισσότερες των περιπτώσεων φυσικών καταστροφών, οι επιπτώσεις που προκαλούνται στο περιβάλλον, αποτελούν «γενεσιουργά αίτια», τεχνολογικών ατυχημάτων μεγάλης έκτασης.

### TECHNOLOGICAL ACCIDENTS WHICH CAN BE CAUSED BY NATURAL DISASTERS – A SYNTHETIC APPROACH

Dr Manouris G., Mouzakis G.

*Hellenic Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works*

### Abstract

In this current paper there is a presentation of the topic of major technological accidents, which can be caused by natural disasters, like earthquakes, landslides, water floods, etc.

The examination of the above mentioned topic is completed with a synthetic way; as such an accident may have consequences related to the technical, economical and the law sciences.

The above-mentioned topic is in close collaboration with the law of environmental impact assessments, as the natural disasters can be considered as initiating events which can cause major technological accidents.

**Λέξεις κλειδιά :** τεχνολογικά ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

**Key words:** major technological accidents, natural disasters, environmental impact assessment.

### 1. Εισαγωγή

Τεχνολογικές καταστροφές σε εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες είναι δυνατόν να συμβούν και ως συνέπεια μιας φυσικής καταστροφής.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε περίπτωση πλημμύρας είναι δυνατόν από την παρουσία του νερού να παρασυρθεί ή και να γεμίσει με νερό κρίσιμος εξοπλισμός της εγκατάστασης.

Σημαντικές καταστροφές, προκαλούνται επίσης και σε περίπτωση σεισμού. Για το λόγο

αυτό, εκτός των άλλων, λαμβάνεται υπόψη ο αντισεισμικός κανονισμός της περιοχής που βρίσκεται η εγκατάσταση.

Είναι ευνόητο επίσης ότι κατά τη χωροθέτηση μιας εγκατάστασης παράγοντες όπως, η σταθερότητα του εδάφους λόγω κυρίως του κινδύνου κατολισθήσεων και μετατόπιση εξοπλισμού της εγκατάστασης, δεν μπορούν να αγνοηθούν

Όλα τα ανωτέρω, έχουν στενή σχέση με το πρόσθετο κόστος κατά τη κατασκευή της εγκατάστασης, με το χώρο, τη θέση και τον προστατευτικό εξοπλισμό που θα απαιτηθεί καθώς και με άλλους οικονομικούς παράγοντες. Με άλλα λόγια οι οικονομικές επιπτώσεις ενός μεγάλου τεχνολογικού ατυχήματος είναι ιδιαίτερα σημαντικές, τόσο αυτές που αφορούν την επιχείρηση, όσο και αυτές που αφορούν την κοινωνία γενικότερα. Στη δεύτερη περίπτωση οι «αρνητικές εξωτερικές οικονομίες» που θα δημιουργηθούν είναι ποικίλες και εκτεταμένες

## 2. Τεχνολογικά ατυχήματα που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές

Τα τεχνολογικά ατυχήματα είναι δυνατόν να συμβούν σε διάφορες περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται επικίνδυνες ουσίες. Μπορεί να συμβούν κατά την αποθήκευσή τους σε δεξαμενές και αποθήκες, καθώς και κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας στις διάφορες εγκαταστάσεις.

Τα ατυχήματα που μπορεί να συμβούν ταξινομούνται ανάλογα με το φυσικό φαινόμενο που κυριαρχεί κατά τη διάρκεια του ατυχήματος, σε έκρηξη, φωτιά ή και διαρροή τοξικών ουσιών.

Βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογικών ατυχημάτων είναι οι ποικιλότροπες επιπτώσεις τους στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Μεταξύ αυτών αναφέρονται:

- Οι σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (θάνατοι, τραυματισμοί, δηλητηριάσεις) που συμβαίνουν στους εργαζόμενους σε μία εγκατάσταση ή στους περιοίκους.
- Η ανάγκη εκκένωσης μίας περιοχής από το κοινό (κατοίκους, εργαζόμενους, διερχόμενους) ακόμη και σε μεγάλη απόσταση από το σημείο του ατυχήματος.
- Καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (βιότοποι, υδατικά συστήματα, γεωργικές εκτάσεις).
- Υλικές ζημιές στην εγκατάσταση και στις περιουσίες της ευρύτερης του ατυχήματος περιοχής.

Υπάρχει πλήθος αιτιών που μπορεί να προκαλέσουν τα εν λόγω ατυχήματα. Μεταξύ των αιτιών αυτών μπορεί να είναι η αστοχία του εξοπλισμού, τα εγκατεστημένα συστήματα ασφάλειας, το ανθρώπινο λάθος και άλλοι παράγοντες.

Επομένως κομβικό σημείο είναι ο προσδιορισμός του κινδύνου σε μια εγκατάσταση και η επισήμανση των διαφόρων αιτιών κινδύνου και η απάλειψή τους, ώστε η εγκατάσταση να λειτουργεί το ασφαλέστερο δυνατό (Μουζάκης 2000, 2001).

Λαμβάνοντας υπόψη τις διεργασίες που συμβαίνουν ή που είναι δυνατόν να συμβούν, καθώς και των επικίνδυνων ουσιών που υπάρχουν ή που είναι δυνατόν να υπάρξουν στην εγκατάσταση, προσδιορίζεται ο κίνδυνος στην εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι προς τούτο με πλέον δημοφιλείς τη μελέτη κινδύνου και λειτουργικότητας HAZOP (HAZardous and OPerability analysis), την ανάλυση "τι θα συμβεί εάν" (what if analysis), και τον κατάλογο ελέγχου (check list). Εντοπίζονται κατ' αυτό το τρόπο τα πλέον ευαίσθητα και επικίνδυνα σημεία της εγκατάστασης, προτείνονται τροποποιήσεις και βελτιώσεις στον

μηχανολογικό εξοπλισμό και στις ακολουθούμενες διαδικασίες. Προσδιορίζεται η ανάγκη και ενδεχομένως προτείνεται η εγκατάσταση ανιχνευτών τοξικών και εύφλεκτων αερίων στην ατμόσφαιρα, συστήματα συναγερμού και διάφοροι αυτοματισμοί. Προτείνονται ακόμη μέτρα ασφαλείας που πρέπει να ληφθούν για προστασία των εργαζομένων. Τελικός σκοπός όλων των προτάσεων είναι η μείωση της επικινδυνότητας της εγκατάστασης. Χρήσιμη είναι η αναδρομή σε τράπεζες δεδομένων για ατυχήματα που συνέβησαν σε παρόμοιες εγκαταστάσεις, από όπου μπορούν να αντληθούν μαθήματα και να γίνουν συγκρίσεις με την εξεταζόμενη εγκατάσταση.

Τεχνολογικές καταστροφές σε εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες είναι δυνατόν να συμβούν όμως και ως συνέπεια μιας φυσικής καταστροφής ή σε διάφορες περιπτώσεις, όπου συμβαίνουν ακραία καιρικά φαινόμενα. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί και να είναι οι ακόλουθες:

#### Περίπτωση κατολίσθησης

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη χωροθέτηση μιας εγκατάστασης, ιδιαίτερα αν αυτή πρόκειται να διαχειρίζεται επικίνδυνες ουσίες. Αν μία εγκατάσταση ή και τμήμα της, ευρίσκεται σε όχι σταθερά εδάφη και σε έδαφος με κλίση, υπάρχει κίνδυνος να συμβεί υποχώρηση των εδαφών, με αποτέλεσμα τη μετατόπιση και κατακρήμνιση κρίσιμου εξοπλισμού, τη θραύση σωληνώσεων με αποτέλεσμα τη διαφυγή εύφλεκτων και τοξικών αερίων, εκτεταμένες εκρήξεις και πυρκαγιές στους αντίστοιχους χώρους της εγκατάστασης.

#### Περίπτωση έντονης βροχόπτωσης και πλημμύρων.

Στην έντονη βροχόπτωση μπορεί να προκληθούν λίμνες από τα βρόχινα νερά. Τα νερά μπορεί να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα στο ηλεκτρικό δίκτυο, με αποτέλεσμα μονάδες παραγωγής να βγουν εκτός λειτουργίας, να σταματήσουν τη λειτουργία τους αντλίες και συμπιεστές με αποτέλεσμα να ανέβουν οι πιέσεις σε στήλες ή δοχεία πίεσης και να προκαλέσουν έτσι μικρά ή μεγαλύτερα προβλήματα που μπορεί να είναι από διαρροές εύφλεκτων και τοξικών αερίων μέχρι εκρήξεις και εκτεταμένες πυρκαγιές.

Άλλο πρόβλημα μπορεί να εστιαστεί σε εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών, όπου η αύξηση του υδραυλικού φορτίου μπορεί να οδηγήσει στους αποδέκτες μέρος των προς επεξεργασία αποβλήτων χωρίς επεξεργασία.

Το πρόβλημα μπορεί να επιταθεί αν υπάρχει κοντά κάποιο ποτάμι και εξ αιτίας της έντονης βροχόπτωσης η στάθμη των νερών να ανέβει πάνω από τα τοιχώματα και εν συνεχεία να κατακλύσει τους χώρους της εγκατάστασης.

#### Περίπτωση έντονης σεισμικής δραστηριότητας

Στη περίπτωση σεισμού υπάρχει κίνδυνος να γίνει κατάρρευση υψηλών πύργων, αντιδραστήρων, θραύση σωληνώσεων με αποτέλεσμα τη διαφυγή εύφλεκτων και τοξικών αερίων, εκτεταμένες εκρήξεις και πυρκαγιές στους αντίστοιχους χώρους της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό, στη φάση κατασκευής της εγκατάστασης, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη θεμελίωση όλου του μηχανολογικού εξοπλισμού και στον αντισεισμικό συντελεστή που λαμβάνεται υπόψη για τη στατική αντοχή όλων των κρίσιμων σημείων μιας εγκατάστασης.

#### Περίπτωση έντονου καύσωνα

Μολονότι ο καύσωνας ή και το έντονο ψύχος δεν είναι φυσικές καταστροφές αλλά ακραία καιρικά φαινόμενα, εξετάζονται επειδή είναι δυνατόν να υποβάλλουν τους εργαζόμενους σε ακραίες καταστάσεις εργασίας που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους και είναι δυνατόν να προκαλέσουν κάποιο ατύχημα.

Η περιβαλλοντική ευφορία είναι ένας σημαντικός παράγοντας εργασίας. Οποιαδήποτε δυσφορία που προκαλείται σε ένα χώρο εργασίας είναι πιθανό να μειώσει την απόδοση, να



προκαλείσει πρόωρη κούραση, αδιαφορία, απροσεξία που μπορεί να οδηγήσουν με την σειρά τους σε ανασφαλείς καταστάσεις και πρόκληση μεγάλων ή μικρότερων ατυχημάτων.

Είναι γεγονός ότι την περίοδο του θέρους υπάρχουν ημέρες με ιδιαίτερη καταπόνηση των εργαζομένων εξ' αιτίας του καύσωνα. Για την αντιμετώπιση της θερμικής αυτής καταπόνησης οι διάφορες εγκαταστάσεις λαμβάνουν τα απαραίτητα τεχνικά και οργανωτικά μέτρα, για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

#### Περίπτωση έντονου ψύχους και χιονόπτωσης

Στη περίπτωση αυτή υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διάφορες σωληνώσεις να παγώσουν και από τη διαστολή του πάγου να προκύψει θραύση των εν λόγω σωληνώσεων ή και δοχείων. Με την τήξη του πάγου, θα προκύψουν διαρροές εύφλεκτων, τοξικών ή και επικινδυνών ουσιών. Για το λόγο αυτό ελέγχονται σωληνώσεις, δοχεία και δεξαμενές όταν είναι σε by pass λειτουργία.

Η κάθε εταιρεία θα πρέπει να φροντίζει για την διαθεσιμότητα αλυσίδων για τα οχήματα της κάθε εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων των πυροσβεστικών οχημάτων και των ασθενοφόρων που θα πρέπει να κινηθούν στην έκτακτη ανάγκη.

Επειδή οι κύριοι οδοί πρόσβασης από και προς τις μονάδες και τις διοικητικές υπηρεσίες είναι βασικό να είναι ανοιχτοί, τοποθετείται ποσότητα αλατιού όπου απαιτείται.

Εάν το φαινόμενο της χιονόπτωσης είναι έντονο και έχει διάρκεια, τότε θα πρέπει να αναμένεται ότι οι οδοί πρόσβασης προς την εγκατάσταση πιθανόν να έχουν κλείσει με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολη η εναλλαγή των εργαζομένων σύμφωνα με τις προκαθορισμένες βάρδιες. Τούτο μπορεί να έχει επιπτώσεις στην εξασφάλιση ασφαλούς και συνεχούς λειτουργίας της εγκατάστασης με ικανό και ξεκούραστο προσωπικό για όλο το 24ωρο.

#### Περίπτωση δασικών πυρκαγιών

Με την υπερθέρμανση του πλανήτη και την αυξανόμενη ξηρασία, προκύπτουν αυξημένες δασικές πυρκαγιές, οι οποίες πέραν της καταστροφής του φυσικού περιβάλλοντος αποτελούν κίνδυνο για οικισμούς και μεμονωμένες κατοικίες καθώς και για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν επικίνδυνες εύφλεκτες και τοξικές ουσίες.

Πολλές φορές έχουν κινδυνεύσει εγκαταστάσεις αποθήκευσης εκρηκτικών δεδομένης της συχνά εμφανιζόμενης εγκατάστασής τους σε δασώδεις περιοχές, καθώς και εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγρών και αερίων καυσίμων σε απομακρυσμένες περιοχές. Συχνή είναι η αντιμετώπιση αποψίλωσης από εύφλεκτα χόρτα των περιοχών γύρω από τέτοιες εγκαταστάσεις.

### **3. Θεσμός εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων**

Με την εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ), επιχειρείται να εκτιμηθούν εκ των προτέρων, πάσης φύσεως επιδράσεις (θετικές-αρνητικές, μεγάλες-μικρές, άμεσες-έμμεσες, κ.λ.π) που προκαλούνται στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, από το σχεδιασμό και υλοποίηση έργων, δραστηριοτήτων και προγραμμάτων (Κασσιός Κ., 1991). Παρά το ότι ο εξεταζόμενος θεσμός αναφέρεται σε έργα, δραστηριότητες, σχέδια και προγράμματα, δηλαδή σε ανθρωπογενείς δράσεις, μπορεί ανάλογα να εφαρμοστεί και από την εκτίμηση των επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον που προκαλούνται από μεγάλες από φυσικές καταστροφές. Πέραν του ότι πολλές από τις φυσικές καταστροφές οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, η εκτίμηση των εν λόγω επιπτώσεων, αποτελεί προαπαιτούμενο για την αντιμετώπιση των τεχνολογικών ατυχημάτων, που θα προκληθούν στη συνέχεια, λόγω αυτών των καταστροφών.

Αν και ο θεσμός της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δεν περιορίζεται μόνο

στην εκπόνηση των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), εν τούτοις οι τελευταίες αποτελούν τον βασικό μηχανισμό της λειτουργίας του. Η πληρότητα, η αξιοπιστία αλλά και η σφαιρική προσέγγιση των επιδράσεων, μιας ΜΠΕ, είναι προφανές ότι οδηγούν στην ουσιαστικότερη εφαρμογή του θεσμού της ΕΠΕ. Βασικά στοιχεία που επηρεάζουν μεταξύ των άλλων την αξιοπιστία των μελετών αυτών, είναι η συνύπαρξη ποσοτικών και ποιοτικών μεταβλητών, η υποκειμενικότητα των κρίσεων, η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης, η οριοθέτηση του πεδίου μελέτης (scoping), κ.λ.π. (Μανούρης 2003)

#### 4. Μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης

Κατόπιν των προαναφερθεισών επισημάνσεων, καθίσταται προφανές ότι οι μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης που χρησιμοποιούνται, δεν μπορεί να χαρακτηρισθούν από τον ίδιο βαθμό καταλληλότητας για την εξεταζόμενη περίπτωση. Στα πλαίσια της ενότητας αυτής, επιχειρείται μία συγκριτική αξιολόγηση γνωστών μεθόδων και τεχνικών.

Η χρήση των «κλασικών» μεθόδων, είναι περιορισμένη και έχει κατά κανόνα συμπληρωματικό χαρακτήρα, διότι για τη χρήση των μεθόδων αυτών, επιβάλλεται να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το μη αβέβαιο περιβάλλον, το περιβάλλον εκλογικευμένης επιλογής και το στατικό περιβάλλον, προϋποθέσεις που ουδόλως ισχύουν στην περίπτωση των φυσικών καταστροφών. Σημαντικές ατέλειες των ιδίων μεθόδων είναι, μεταξύ άλλων, η αδυναμία ενσωμάτωσης διαφορετικών συντελεστών και η αδυναμία χειρισμού ποιοτικών δεδομένων, ζήτημα ιδιαίτερα σημαντικό για τους οπτικούς πόρους.

Οι μέθοδοι «πολυκριτηριακής» *ανάλυσης*, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κλασσικές κυρίως διότι,

α) μπορεί να αναπτυχθούν σε αβέβαιο περιβάλλον,

β) το περιβάλλον μπορεί να είναι μη στατικό, με αποτέλεσμα ο σχεδιασμός να διαμορφώνεται στο πλαίσιο μιας διαρκούς διάδρασης σκοπών και μέσων,

γ) τα αποτελέσματα των εν λόγω μεθόδων μπορούν να σχετίζονται με διαφορετικές διαβαθμίσεις, εναλλακτικά ως προς κάποια κριτήρια, με διαφορετικές προτεραιότητες (ειδικά βάρη κριτηρίων). Επίσης, δίδεται δυνατότητα χειρισμού ποιοτικών δεδομένων, διότι στις πολυκριτηριακές προσεγγίσεις, είναι δυνατός ο χειρισμός μητρώων μικτών η και αποκλειστικά μητρώων ποιοτικών δεδομένων (αριθμητικές/η και τακτικές κλιμακώσεις τιμών στα κριτήρια). Για τους λόγους αυτούς, κρίνονται κατ' αρχήν κατάλληλες για την εκτίμηση των επιπτώσεων από φυσικές καταστροφές.

Τα πολυκριτηριακά μοντέλα λήψης περιβαλλοντικών αποφάσεων, θεωρούνται κατ' αρχήν κατάλληλα για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές. Μια σειρά όμως λόγω περιορίζουν αυτή την καταλληλότητα, όπως είναι ο λόγος ύπαρξης θεωρητικών δυσχερειών για την κατασκευή των μοντέλων ή η έλλειψη επαρκών ποσοτικά και ποιοτικά στοιχείων

Η συστημική μέθοδος, από τη φύση της παρουσιάζει καταλληλότητα αφού η έννοια του «συστήματος» στις περιπτώσεις φυσικών καταστροφών είναι ιδιαίτερα σημαντική .

Πολλά όμως προβλήματα μπορεί να ανακύψουν και στην υπόψη περίπτωση. Τα εν λόγω προβλήματα, μπορεί επί παραδείγματι να οφείλονται στην έλλειψη γνώσης του πλήρους εύρους των στοιχείων του φυσικού περιβάλλοντος και των αλληλεπιδράσεων αυτών. Το γεγονός επίσης ότι κατά την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου, όλα τα φαινόμενα, θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν κατά τάξη η πλήθος, όπως είναι ευνόητο, δημιουργεί εξαιρετικά σημαντικά προβλήματα.

Οι πιο κατάλληλες είναι οι μέθοδοι που στηρίζονται στην *ανάλυση αποφάσεων*.

Η θεωρία των αποφάσεων, δίδει το κατάλληλο πλαίσιο για τη λήψη αυτών σε συνθήκες επικινδυνότητας, διότι παρέχει την δυνατότητα αποτίμησης και των ανεπιθύμητων συνεπειών, που είναι αποτέλεσμα αστοχίας των υπό ανάλυση αποφάσεων. Η ανάπτυξη και επίλυση μοντέλων προσομοίωσης των φυσικών φαινομένων που λαμβάνει χώρα, οδηγεί στον υπολογισμό των πιθανοτήτων αστοχίας, ενώ σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα της εν λόγω μεθόδου, έναντι κυρίως της κλασικής κόστους/οφέλους, είναι ότι δίδεται η δυνατότητα αποτίμησης συνεπειών και επιπτώσεων που δεν μεταφράζονται εύκολα σε χρήμα.

Εξάλλου, στα πλαίσια αυτών των μεθόδων, εξετάζονται και φαινόμενα τύπου «ντόμινο», θέμα που ενδιαφέρει ιδιαίτερα τόσο την περίπτωση των φυσικών καταστροφών, όσο και την διαχείριση των κινδύνων που προέρχονται από την πρόκληση τεχνολογικού ατυχήματος μεγάλης έκτασης που θα οφείλεται σε μια φυσική καταστροφή

Βεβαίως και πάλι μπορεί να εμφανισθούν ανάλογα με τα αναφερόμενα στις άλλες μεθόδους και τεχνικές προβλήματα. Σε κάθε όμως περίπτωση, η εξεταζόμενη μέθοδος είναι προσηγορότερη από τις λοιπές.

Τέλος επισημαίνεται ότι ιδιαίτερα για την εξεταζόμενη περίπτωση, θα πρέπει κατά κανόνα , να επιχειρείται η εφαρμογή ενός συνδυασμού κατάλληλων μεθόδων και τεχνικών, για την επίτευξη όσο το δυνατόν πρόσφορου εκτιμητικού αποτελέσματος ( Lee N. - Wood C, 1977).

## 5. Οικονομική παράμετρος

Από τη μέχρι τούδε εξέταση του θέματος, προκύπτει σαφώς, ότι η οικονομική παράμετρος παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην εξεταζόμενη εκτίμηση.

Κατ' αρχάς, καταδεικνύεται σαφώς ότι θα απαιτηθεί ότι θα πρέπει να υπάρξει, εκτός των άλλων, ένα πρόσθετο κόστος που σχετίζεται με την κατασκευή της εγκατάστασης, το χώρο, τη θέση και τον προστατευτικό εξοπλισμό που θα απαιτηθεί καθώς και με άλλους οικονομικούς παράγοντες. Με άλλα λόγια οι οικονομικές επιπτώσεις ενός μεγάλου τεχνολογικού ατυχήματος είναι ιδιαίτερα σημαντικές, τόσο αυτές που αφορούν την επιχείρηση, όσο και αυτές που αφορούν την κοινωνία γενικότερα. Στη δεύτερη περίπτωση οι «αρνητικές εξωτερικές οικονομίες» που θα δημιουργηθούν είναι ποικίλες και εκτεταμένες.

Επιπλέον των προαναφερθέντων, θέματα που πρέπει να εξετασθούν είναι, εκτός των άλλων, η δυνατότητα «εσωτερικοποίησης» του εξωτερικού κόστους, η δυνατότητα χρήσης των πλέον πρόσφορων, κατά περίπτωση, οικονομικών μέσων, ο προσδιορισμός της κοινωνικής ευημερίας που προκαλείται από τον σχεδιασμό και υλοποίηση των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων που κινδυνεύουν από την πρόκληση τεχνολογικού ατυχήματος μεγάλης έκτασης, ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των «οικονομιών κλίμακας» και των «εξωτερικών οικονομιών» ( μόλυνση, ρύπανση και υποβάθμιση του περιβάλλοντος) , καθώς και η αδυναμία πλήρους λογιστικής απεικόνισης ωφελειών και κόστους, ιδιαίτερα στους ποιοτικούς παράγοντες (Coase K., 1960)

Ιδιαίτερη αναφορά, θα πρέπει να λάβει χώρα, για το είδος των προβλημάτων που δημιουργούνται, λόγω της αδυναμίας της οικονομικής επιστήμης να συμπεριλάβει στους διαφόρους «Εθνικούς» και άλλους λογαριασμούς, την περιβαλλοντική συνιστώσα ιδίως στην περίπτωση των ποιοτικών μεταβλητών, με αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, ούτε κατάλληλη «εσωτερικοποίηση» του εξωτερικού κόστους να είναι δυνατόν να επιτευχθεί, ούτε επίσης επιλογή των πλέον πρόσφορων εναλλακτικών λύσεων. Η εν λόγω δυσκολία, καθίσταται μεγαλύτερη, όταν υπάρχουν πιθανότητες πρόκλησης σοβαρών τεχνολογικών ατυχημάτων, όπως αυτά που καλύπτονται από τις Οδηγίες Seveso I,II, διότι στην προκειμένη περίπτωση, η «εσωτερικοποίηση» θα πρέπει να επιχειρηθεί , υπό καθεστώς αβεβαιότητας πρόκλησης σημαντικού τεχνολογικού ατυχήματος. Καθίσταται κατανοητή, η προκύπτουσα ωφέλεια, όταν η λήψη μέτρων περιορίζει σε σημαντικό βαθμό τη πιθανότητα πρόκλησης σημαντικού ατυχήματος, με αποτέλεσμα να μην συμπεριληφθεί στις επιπτώσεις το κόστος του και φυσικά

να μην επιχειρηθεί η «εσωτερικοποίησή» του.

## 6. Νομοθεσία

Η σχετική νομοθεσία για τα εξεταζόμενα ζητήματα, χωρίζεται στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. στη σχετική με την πρόκληση των φυσικών καταστροφών
2. στη νομοθεσία για τα τεχνολογικά ατυχήματα μεγάλης έκτασης στα πλαίσια των οδηγιών Seveso
3. στην αφορώσα τη διαδικασία ΕΠΕ και τις ΜΠΕ.

Καμία όμως από τις τρεις αυτές κατηγορίες δεν συσχετίζεται ουσιαστικά με τις υπόλοιπες δύο, με αποτέλεσμα να μην απέχει της πραγματικότητας ή άποψη, ότι δεν υπάρχει κατάλληλη νομοθεσία που να αντιμετωπίζει το θέμα της πρόκλησης ατυχήματος μεγάλης έκτασης που προκαλείται έπειτα από μια φυσική καταστροφή. Η άποψη αυτή ενισχύεται ακόμη περισσότερο, εάν ληφθεί υπόψη και το γεγονός της ύπαρξης σημαντικών ατελειών, σε κάθε μια κατηγορία από τις αναφερόμενες, ακόμη και στο στενό ρυθμιστικό πεδίο εκάστης

## 7. Συμπεράσματα - Επισημάνσεις

Από την προαναφερθείσα ανάλυση του θέματος, μπορεί να διατυπωθούν, μεταξύ άλλων, τα ακόλουθα συμπεράσματα και επισημάνσεις :

α) ένα τεχνολογικό ατύχημα μεγάλης έκτασης μπορεί να προκληθεί και από μια φυσική καταστροφή, γεγονός που επιβάλλει, εκτός των άλλων, τη λήψη τόσο προληπτικών, όσο και κατασταλτικών μέτρων, για την αντιμετώπισή του

β) Ιδιαίτερη σημασία για την αντιμετώπιση ενός τέτοιου ατυχήματος και τον περιορισμό των δυσμενών συνεπειών του, έχει ο θεσμός της ΕΠΕ, προσαρμοσμένος στην επίπτωση των φυσικών καταστροφών και όχι των έργων/δραστηριοτήτων/σχεδίων και προγραμμάτων, χωρίς βεβαίως να αποκλείεται η φυσικά καταστροφή, να αποτελεί απόρροια ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Η εν λόγω εκτίμηση προϋποθέτει, εκτός των άλλων, την εκπόνηση καταλλήλων ΜΠΕ, στα πλαίσια των οποίων πρέπει να συνεξετασθούν και να συναξιολογηθούν ποσοτικοί με ποιοτικούς παράγοντες και μεταβλητές. Οι ενδεδειγμένες για την υπόψη περίπτωση μέθοδοι και τεχνικές εκτίμησης, είναι αυτές που στηρίζονται στην ανάλυση αποφάσεων, αν και η πράξη όμως έχει επανειλημμένα δείξει ότι πολλές φορές, θα πρέπει να αναζητείται και να εφαρμόζεται κατάλληλος συνδυασμός μεθόδων και τεχνικών και όχι αποκλειστικά μία μόνο μέθοδος και τεχνική

γ) Ιδιαίτερα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η οικονομική συνιστώσα, που σχετίζεται με το εξεταζόμενο θέμα, όπως τα προβλήματα «εσωτερικοποίησης» του εξωτερικού κόστους, δημιουργίας οικονομικών κλίμακας και αποφυγής δημιουργίας αρνητικών εξωτερικών οικονομικών, οικονομικής αποτίμησης ποιοτικών μεταβλητών, καθώς και της αδυναμίας ενσωμάτωσης της περιβαλλοντικής συνιστώσας, στα κόστη και τα οφέλη

δ) Η νομοθεσία που συνδέεται άμεσα η έμμεσα με το εξεταζόμενο θέμα, δεν παρουσιάζει την απαιτούμενη πληρότητα και ευελιξία, ενώ διακρίνεται από έντονη αποσπασματικότητα.

ε) για να υπάρξει βελτίωση της κατάστασης, επιβάλλεται, εκτός των άλλων, τα σχετικά μέτρα που θα ληφθούν να κινηθούν προς την κατεύθυνση:

1) της βελτίωσης των μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κυρίως αυτών που αναπτύσσονται υπό καθεστώς αβεβαιότητας

2) της συνεκτίμησης της οικονομικής συνιστώσας του θέματος και ειδικότερα της οικονομικής αποτίμησης των αναφερομένων επιπτώσεων και της εσωτερικοποίησης του

εξωτερικού κόστους

3) της λήψης υπόψη των θέσεων της νομολογίας κυρίως σε θέματα ΕΠΕ και περιβάλλοντος γενικότερα

4) της διαμόρφωσης καταλλήλου για τον επιδιωκόμενο στόχο νομοθετικού και εν γένει κανονιστικού πλαισίου

## Βιβλιογραφία

Coase K., (1960): « *The problem of Social Cost* », Journal of Law and Economics, October, 1960.

Κασσιός Κ. (1991). «Σημειώσεις επιπτώσεων στο περιβάλλον από τεχνικά έργα και προγράμματα», ΕΜΠ, Αθήνα.

Κοντός Ι- Ζευγώλης Μ. «Μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας των μεταλλουργικών εγκαταστάσεων», *Τεχνικά χρονικά 1/2000*, σελ. 106 επ.

Lee N. - Walsh. (1992). «*Strategic environmental assessment*», *EIA Leaflet series No 13*, Manshester.

Λέκκας Ε. (1996), «Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές», Αθήνα.

Μανούρης Γ. (2003), «Εκτίμηση Περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διαχείριση επικινδυνότητας (Seveso I, II)», ημερίδα ΤΕΕ, Νοέμβριος 2003, Αθήνα.

Μουζάκης Γ. (2001) «Μεγάλα Τεχνολογικά Ατυχήματα» Σημειώσεις για το Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης.

Μουζάκης Γ. (2000) «Η εφαρμογή της Οδηγίας Seveso II στην Ελλάδα. Τι έχουμε πετύχει μέχρι σήμερα και τι πρόκειται να γίνει στο άμεσο μέλλον». *Plant management* τεύχος 160.

Παπάζογλου Ι. (1999). «Ποσοτικός καθορισμός επικινδυνότητας και ορθολογικής διαχείριση της ασφάλειας βιομηχανικών εγκαταστάσεων», *Τεχνικά χρονικά 1/2000*, σελ. 47 επ.

## **ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟ 2006 ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ**

Μουστεράκη Κ.<sup>1</sup>, Συμεωνίδης Γ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Πολιτικός μηχανικός, Προϊσταμένη Τμήματος Αποκατάστασης Ζημιών της Υ.Α.Σ.Β.Ε.

<sup>2</sup>Πτυχ. Επιστήμης Υπολογιστών Πανεπιστήμιο Κρήτης

### **Περίληψη**

Στην εργασία αυτή αρχικά γίνεται αναφορά στον ρόλο της Υπηρεσίας Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων Βορείου Ελλάδας (Υ.Α.Σ.Β.Ε.) από το 1978 μέχρι σήμερα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται πρόσφατα περιστατικά φυσικών καταστροφών του 2006 που χειρίστηκε η Υ.Α.Σ.Β.Ε. και τα οποία είναι:

1. Οι πλημμύρες του Μαρτίου 2006 στον Νομό Έβρου
2. Οι πυρκαγιές στις 21-23 Αυγούστου στον Ν. Χαλκιδικής.
3. Οι πλημμύρες του Οκτωβρίου 2006 στους Νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής.

Αναλυτικότερα εξετάζονται οι περιπτώσεις 2 και 3. Αναφέρονται κατά το δυνατόν, αρχικές εκτιμήσεις για την εκδήλωση των συμβάντων. Γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα του ελέγχου που έγινε από μηχανικούς της ΥΑΣΒΕ στα κτίρια που υπέστησαν ζημιές. Η αναφορά συνοδεύεται από μια τυπολογία των βλαβών. Γίνεται συνοπτική περιγραφή του θεσμικού πλαισίου που διέπει τις εργασίες αποκατάστασης της περιοχής, εξετάζονται η πορεία και τα προβλήματα που έχουν προκύψει μέχρι τον Ιούνιο του 2007 και εξάγονται συμπεράσματα.

### **EXPERIENCE FROM DAMAGE ASSESSMENT AND RECONSTRUCTION PROCESSES FOLLOWING NATURAL DISASTERS IN 2006 IN CENTRAL MACEDONIA**

Mousteraki K.<sup>1</sup>, Symeonidis G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Civil Engineer, Head of Damage Restoration Dpt. of YASVE

<sup>2</sup>Graduate of Computer Science, University of Crete

### **Abstract**

The paper initially refers to the role of the Agency for Earthquake Reconstruction in Northern Greece (YASVE) from 1978 to date. Then presents briefly the natural disasters of 2006 in which the Agency dealt with. These are:

1. The March 2006 floods in the Prefecture of Evros
2. The August 21-23 fires in the Prefecture of Halkidiki.
3. The October 2006 floods in the Prefectures of Thessaloniki and Halkidiki.

Finally the paper focuses on natural disasters 2 and 3 above that occurred in the Prefectures of Thessaloniki and Halkidiki in Central Macedonia. It presents when possible, the situation regarding the initial phase of the disaster. It shows the results of the inspections performed by YASVE engineers on damaged buildings as well as the damage typology. It briefly describes the institutional framework concerning the reconstruction in the region, it examines the progress of the reconstruction and highlights difficulties until June 2007 and finally attempts to draw some conclusions regarding the reconstruction process.

**Λέξεις κλειδιά:** Πυρκαγιά, Πλημμύρα, Κτίσμα, Ζημιές, Αποκατάσταση.

**Key words:** Fire, Flood, Building, Damage, Restoration.

## 1. Εισαγωγή

Η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμοπλήκτων Βορείου Ελλάδας (Υ.Α.Σ.Β.Ε.) είναι μία Υπηρεσία του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., που ιδρύθηκε αμέσως μετά τον σεισμό της 20<sup>ης</sup> Ιουνίου 1978 στη Θεσσαλονίκη αποτελώντας παράδειγμα αποκέντρωσης. Έχει μεγάλο έργο στην αποκατάσταση από σεισμούς. Σήμερα ασχολείται επίσης με την αποκατάσταση από άλλες καταστροφές, όπως πλημμύρες, καθιζήσεις, κατολισθήσεις και πυρκαγιές.

Από τη μελέτη των εμπειριών της Υ.Α.Σ.Β.Ε καταγράφονται προβλήματα τα οποία ανακύπτουν συστηματικά σχεδόν σε κάθε φυσική καταστροφή όπως βλάβες σε κτίρια, καταρρεύσεις κτιρίων από «ευτελή» υλικά κ.λ.π. Ωστόσο, σχεδόν σε κάθε φυσική καταστροφή προκύπτουν και ιδιαίτερης μορφής προβλήματα τα οποία προκαλούν ενδιαφέρον για παραπέρα μελέτη, επιβάλλουν τη λήψη ειδικών μέτρων και δίνουν τα χαρακτηριστικά κάθε περιστατικού ξεχωριστά.

Τα περιστατικά φυσικών καταστροφών του 2006 στην Κεντρική Μακεδονία είναι:

- οι πυρκαγιές στο Νομό Χαλκιδικής και
- οι πλημμύρες στους Νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής

Η πιο ζεστή μέρα του 2006, η 21 Αυγούστου συνδέθηκε με την πυρκαγιά στην Χαλκιδική και μια εφιαλτική νύχτα. Η πυρκαγιά έκαιγε για δύο μέρες, τις 21-23 Αυγούστου, και έκαψε ένα από τα ωραιότερα δάση της Ελλάδας, πολλά κτίρια στους οικισμούς Χανιώτη, Πολύχρονο, Πευκοχώρι, Νέα Σκιάνη του Δήμου Παλλήνης και λιγότερα στις περιοχές Αγίας Παρασκευής και Κασσανδρινού. Υπήρχε ένας νεκρός και ανεξακρίβωτος αριθμός τραυματιών.

Τον Οκτώβριο του 2006 έντονη πλημμύρα έπληξε περιοχές των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Ιδιαίτερα επλήγη το χωριό Μελισσουργός του νομού Θεσσαλονίκης όπου το ύψος του νερού ξεπέρασε τα τρία μέτρα. Επίσης πολλά κτίρια έπαθαν ζημιές στα χωριά Βρασανά, Σταυρός, Ολυμπιάδα και λιγότερα στα χωριά Ιερισσός Στρατώνι, Αρναία, Παλαιοχώρι, Νεοχώρι, Βαρβάρια και άλλα.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής γίνεται ανάλυση κατά το δυνατόν των δύο συμβάντων, των λόγων που συνέβαλαν στην εμφάνιση τους. Γίνεται κατανομή των βλαβών, παρουσιάζεται τυπολογία βλαβών, αναφορά στα αίτια που συνέβαλλαν στην πρόκληση μεγαλύτερων ζημιών στα κτίρια της περιοχής και στις συνέπειες των δύο συμβάντων στο περιβάλλον. Δίδεται το θεσμικό πλαίσιο και η πορεία αποκατάστασης των ζημιών των κτιρίων.

## 2. Πυρκαγιές Αυγούστου 2006 στον Νομό Χαλκιδικής.

### 2.1 Αποτελέσματα ελέγχου κτισμάτων

Μηχανικοί της Υ.Α.Σ.Β.Ε βρέθηκαν στην περιοχή στις 24 Αυγούστου, ενώ υπήρχαν ακόμη εστίες φωτιάς. Έγιναν αιτήσεις για έλεγχο και αποτίμηση ζημιών, που αφορούσαν ξενοδοχεία, καταστήματα, κατοικίες, αποθήκες, κατοικίες υπό ανέγερση, κ.ά.. Τις επόμενες ημέρες πραγματοποιήθηκε από την Υ.Α.Σ.Β.Ε.- με στήριξη από τον Δήμο Παλλήνης,- άμεση αποτίμηση ζημιών. Πολλά κτίρια είχαν καεί ολοσχερώς και άλλα είχαν σοβαρές ζημιές. Ένα σχολείο υπέστη μικρές ζημιές. Επίσης πολλές ζημιές υπέστησαν δύο κατασκηνώσεις.



Σχήμα 1. Οικισμοί με πληγέντα κτίσματα από την πυρκαγιά Αυγούστου 2006

Συντάχθηκαν εκθέσεις ελέγχου από διμελείς επιτροπές μηχανικών. Προέκυψε ότι 32 κτίσματα δεν ήταν αντικείμενο της Υπηρεσίας – ήταν παραπήγματα ή κιόσκια ή άλλα από ευτελή υλικά που δεν εμπίπτουν στις σχετικές αποφάσεις-.Κρίθηκαν επισκευάσιμα 102 κτίσματα και είχαν καταστραφεί ολοσχερώς 71 κτίσματα, όπως φαίνεται στον πίνακα 1. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η κατανομή των κτισμάτων ανάλογα με την χρήση τους. Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται η κατανομή κτισμάτων με ζημιές ανά οικισμό και όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε καταστράφηκαν πολλά κτίσματα στους οικισμούς του Δήμου Παλλήνης.

Πίνακας 1. Αυτοψίες κτισμάτων για ζημιές από πυρκαγιές

	Αριθμός Αιτήσεων	Πραγματ. Αυτοψίες	Μη αντικείμενο Υ.Α.Σ.Β.Ε.	Αντικείμενο Υ.Α.Σ.Β.Ε. αιτήσεις	Αριθμός κτισμάτων	Επισκευάσιμα	Ολοσχερώς κατεστραμμένα
	1	2	3	4	5	6	7
Σύνολο	180	180	32	148	173	102	71

Πίνακας 2. Είδος κτισμάτων που επλήγησαν από πυρκαγιές

	Κατοικ. σε λειτουργία	Κατοικ. υπό ανέγερση	Αποθήκες	Κατάστήματα	Επαγγ. Χώροι	Σούπερ Μάρκετ	Ξενοδοχεία	Ενοικ Δωμάτια	Σχολεία	Χώροι στάθμευσης	Στάβλοι	Κατάσκη-νώσεις
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Επισκευές	49	10	26	1	2	1	2	3	1	1	5	2
Ανακατασκευές	17	-	33	-	3	-	-	-	-	4	13	-
Σύνολο	66	10	59	1	5	1	2	3	1	5	18	2



Πίνακας 3. Κτίσματα που έπαθαν ζημιές από πυρκαγιές, ανά οικισμό

Δήμος	Οικισμός (Δημοτικό Διαμέρισμα)	Χαρακτηρισμός κτιρίων		Σύνολο κτισμάτων
		Επισκευάσιμα	Κατεστραμμένα	
1	2	3	4	5
Παλλήνης	Ν. Σκιώνη	13	15	28
	Πευκοχώρι	27	7	34
	Πολύχρονο	23	16	39
	Χανιώτη	29	38	67
	Αγ. Παρασκευή	4	1	5

## 2.2 Αρχική εκτίμηση -Άμεση αντιμετώπιση

Οι πυρκαγιές είναι ένας κίνδυνος που απειλεί γενικά τις Μεσογειακές χώρες. Η συγκεκριμένη φωτιά ξέσπασε απόγευμα. Όπως ανακοινώθηκε, αεροπλάνα ήταν στην κατάσβεση άλλης φωτιάς και ο χρόνος μέχρι να νυχτώσει ήταν λίγος για ρίψεις νερού από αεροπλάνα. Κατά μαρτυρίες υπήρχε κίνηση στο δρόμο προς τη φωτιά στην πορεία των πυροσβεστικών από την Θεσσαλονίκη. Στον Δήμο δεν υπήρχε αυτοκίνητο για κατάσβεση φωτιάς. Αρκετοί ιδιοκτήτες διαμαρτύρονταν για την μη συμμετοχή του Δασαρχείου στην κατάσβεση πυρκαγιάς σε δασικές εκτάσεις.

Και οι 4 οικισμοί που έχουν πολλές βλάβες έχουν αναπτυχθεί κατά μήκος της παραλίας και υπάρχει κεντρικός δρόμος Χαλκιδικής. Οι ζημιές ήταν κυρίως σε κτίρια πάνω από τον δρόμο. Στην Χανιώτη όμως έγιναν ζημιές κάτω από το δρόμο σε κατοικίες και σε ένα σούπερ μάρκετ, η φωτιά έφτασε στην αυλή του Δημαρχείου Παλλήνης, αλλά ευτυχώς σβήστηκε. Όμως πολλά αυτοκίνητα του Δήμου μεταξύ αυτών και απορριματοφόρα καταστράφηκαν. Καταστράφηκαν ακόμη πολλά αυτοκίνητα και γεωργικά μηχανήματα κατοίκων. Δύο κατασκηνώσεις στην Ν. Σκιώνη υπέστησαν ζημιές. Υπήρξαν μεγάλες δυσκολίες στη διαχείριση της κατάστασης γιατί φιλοξενούσαν παιδιά κατασκηνωτές και μάλιστα ιδιαίτερα στην μία που φιλοξενούσε παιδιά από το εξωτερικό.

Ο Δήμος Παλλήνης ήταν σε επιφυλακή τόσο κατά τη διάρκεια, όσο και μετά την πυρκαγιά. Χρησιμοποιήθηκε ως κέντρο στήριξης για υπηρεσίες που εμπλέκονταν στην πυρκαγιά ή σε προγράμματα αρωγής. Η Πυροσβεστική έκανε αγώνα για την κατάσβεση της πυρκαγιάς.

Πολλοί κάτοικοι κινδύνεψαν στην προσπάθειά τους να προστατεύσουν τις κατοικίες τους. Υπάρχει ανεξакρίβωτος αριθμός τραυματιών και ένας νεκρός που έπαθε ανακοπή στην προσπάθειά του να απομακρύνει την οικογένειά του με βάρκα. Είναι ευτύχημα, δεδομένης της έκτασης της φωτιάς, ότι δεν υπήρχαν άλλοι νεκροί. Μεγάλο πρόβλημα στην διαχείριση της κρίσης δημιούργησε η διακοπή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και η διακοπή νερού την ώρα της πυρκαγιάς. Υπήρχαν ιδιοκτήτες που είχαν νερό σε δεξαμενές και δεν μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν.

Τις πρώτες ημέρες μετά την πυρκαγιά μια ομάδα εθελοντών καθάρισε τους δρόμους, έβαψε κάποια τοιχία στους δρόμους και έδωσε πραγματικά μια αισιοδοξία στους οικισμούς. Λίγες ημέρες μετά την πυρκαγιά και ενώ εξακολουθούσαν οι έλεγχοι από μηχανικούς, μια καταρρακτώδης βροχή έδειξε άμεσα τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς καθώς σχηματίστηκαν ασημένιοι χείμαρροι που φθάνοντας στην παραλία παρέσυραν αυτοκίνητα.

Οι περισσότερες κατοικίες που έπαθαν ζημιές ήταν παραθεριστικές και έτσι δεν δημιουργήθηκαν μακροχρόνια άστεγοι. Η Νομαρχία έδωσε κάποιες παροχές στους μόνιμους κατοίκους, αλλά αυτό έγινε αρκετά αργότερα.

2.3 Τυπολογία και αίτια βλαβών, κατηγορίες κτισμάτων.

Μεγάλο ποσοστό των κτιρίων που έπαθαν ζημιές ήταν σε περιοχή εκτός σχεδίου και αυτό δυσχέραινε την κατάσβεση της φωτιάς. Ιδιαίτερα οι αποθήκες ήταν σχετικά μικρές και διάσπαρτες σε εκτός σχεδίου περιοχές. Οι περισσότερες από αυτές είχαν στέγη από αμιαντολαμαρίνες, οπότε δημιουργείται ένα ακόμη πρόβλημα με την καύση του αμιάντου.

Οι περισσότερες κατοικίες ήταν παραθεριστικές. Για το λόγο αυτό είχαμε λιγότερους άστεγους. Ένα σχολείο έπαθε μικρές ζημιές στη στέγη. Δύο κατασκήνωσεις έπαθαν ζημιές Μεγάλη ζημιά έπαθε γνωστό σουπερ μάρκετ στην Χανιώτη στο ισόγειο και στον όροφο. Δύο ξενοδοχεία και χώροι ενοικιαζομένων δωματίων έπαθαν ζημιές.

Η πυρκαγιά αναδεικνύει μια σειρά προβλημάτων και ερωτήσεων πάνω στην κατασκευή και στο δομημένο περιβάλλον. Το κυριότερο είναι η γενική χωροθέτηση. Κατοικίες διάσπαρτες σε δάσος, είτε έχουν νόμιμα ανεγερθεί είτε παράνομα, απαιτούν πολύ δυσκολότερα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης πυρκαγιών από ότι ένας οργανωμένος οικισμός.

Τα κτίρια που έπαθαν ζημιές χωρίστηκαν ήδη στους παραπάνω πίνακες, ανάλογα με τον οικισμό που βρίσκονται και ανάλογα με τη χρήση που είχαν. Έχει ίσως σημασία και η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με τα υλικά κατασκευής σε:

Φέρουσα τοιχοποιία, ξύλινη στέγη με επικεράμωση.

Σκελετός οπλ. Σκυροδέματος, ξύλινη στέγη επικεράμωση χωρίς πλάκα οροφής.

Σκελετός οπλ. Σκυροδέματος, ξύλινη στέγη με πλάκα οροφής οπλ. Σκυροδέματος

Αποθήκες με φέρουσα τοιχοποιία-οπτοπλινθοδομή ή τσιμεντόλιθοι-στέγη με επικάλυψη από ελενίτ.

Αποθήκες με φέρουσα τοιχοποιία – ξύλινη στέγη με επικεράμωση.

Ποιμνιοστάσια – Ορνιθοτροφεία, Φέρουσα τοιχοποιία, τσιμεντόλιθοι, ξύλινη στέγη, επικάλυψη με κεραμίδια ή αμιάντο-λαμαρίνες.

Ξύλινα κίосκια, χώροι στάθμευσης, ξύλινα κτίσματα με ξύλινη κεραμοσκεπή στέγη, τροχόσπιτα.

Οι βλάβες λόγω πυρκαγιάς επηρεάζονται και από το είδος του κτιρίου. Έτσι στα κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία και ξύλινη στέγη με επικεράμωση, εφόσον καίγονταν η στέγη καίγονταν και το εσωτερικό του κτιρίου. Επίσης στα κτίρια από οπλισμένο σκυροδέμα είχε σημασία για το μέγεθος των βλαβών η διάρκεια της φωτιάς στο κτίριο. Ορισμένα κτίρια που υπέστησαν ζημιές ήταν υπό ανέγερση.

2.4 Θεσμικό πλαίσιο αποκατάστασης από τις πυρκαγιές

Για την αποκατάσταση των ζημιών από τις πυρκαγιές του Αυγούστου 2006 στο Ν. Χαλκιδικής εκδόθηκαν οι παρακάτω Υπουργικές Αποφάσεις: 13-10-2006 Κ.Υ.Α 6257/Α32(ΦΕΚ 1-11-2006) \_ 11-12-2006 (ΥΑΣ 7520/Α321) \_ 12-12-2006 (ΥΑΣ 7561/5200Π06Α) \_ 02-01-2007 (ΥΑΣ 45/5200Π06Α). Με τις αποφάσεις γίνεται οριοθέτηση της περιοχής, καθορίζονται οι διαδικασίες και το τιμολόγιο για τις επισκευές.

Το έργο παρακολούθησης της αποκατάστασης ανατίθεται στην Υ.Α.Σ.Β.Ε. Οι άδειες επισκευής και έγκριση στεγαστικής συνδρομής για επισκευή εκδίδονται από την ΥΑΣΒΕ, ενώ οι άδειες ανακατασκευής σε περίπτωση που το αρχικό κτίριο κρίνεται με κάποιες διαδικασίες ως κατεδαφιστέο, εκδίδονται από την Πολεοδομία και η έγκριση στεγαστικής συνδρομής για ανακατασκευή εκδίδεται από την ΥΑΣΒΕ.

### 2.5. Πορεία αποκατάστασης πληγείσας περιοχής από πυρκαγιές

Σύμφωνα με το θεσμικό πλαίσιο για την ανακατασκευή κτιρίων που είχαν καταστραφεί, οι ιδιοκτήτες δικαιούνται να τύχουν στεγαστικής συνδρομής με ποσό 450 ευρώ ανά τ.μ. κατεδαφιστέου κτίσματος. Το ένα τρίτο του ποσού είναι δωρεάν κρατική αρωγή και τα δύο τρίτα είναι άτοκο δάνειο. Για την έγκριση στεγαστικής συνδρομής απαιτείται αίτηση στην ΥΑΣΒΕ με δικαιολογητικά και άδεια νέας οικοδομής που έχει εκδοθεί από την Πολεοδομία. Μέχρι τον Ιούνιο 2007 υποβλήθηκαν 5 αιτήσεις για ανακατασκευή, έχουν γίνει 4 προεγκρίσεις στεγαστικής συνδρομής, δεν έχει όμως κατατεθεί καμία άδεια οικοδομής.

Για την επισκευή κτιρίων, την έκδοση άδειας επισκευής και την έγκριση στεγαστικής συνδρομής απαιτείται υποβολή αίτησης, δικαιολογητικών και μελέτη από ιδιώτη μηχανικό σύμφωνα με τους όρους της Υπουργικής Απόφασης. Οι άδειες επισκευής εκδίδονται από την Υ.Α.Σ.Β.Ε. Το ένα τρίτο του ποσού είναι δωρεάν κρατική αρωγή και τα δύο τρίτα χορηγούνται ως άτοκο δάνειο. Μέχρι τον Ιούνιο 2007 είχαν υποβληθεί 12 αιτήσεις για επισκευή από πυρκαγιά και είχαν εκδοθεί 6 άδειες επισκευής.

Το θεσμικό πλαίσιο είναι αρκετά καλό, όμως η εφαρμογή του παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα.

Η ολοκλήρωση αυτού του πλαισίου περίπου πέντε μήνες μετά το συμβάν επέδρασε στην καθυστέρηση αποκατάστασης της πληγείσας περιοχής

Οι τιμές μονάδος που δίδονται στο τιμολόγιο επισκευής έχουν πολύ μικρή αύξηση από το τιμολόγιο που ίσχυε για το σεισμό Λευκάδας (2003) και τον σεισμό στα Λουτρά Ν. Έβρου (2.004), και είναι μικρότερες από τις αυτές που πραγματικά ισχύουν στην πληγείσα περιοχή. Το ίδιο ισχύει και για την ανακατασκευή κτιρίων. Σημειώνεται ότι δεν χορηγείται επιπλέον ποσό για το κόστος της μελέτης και της επίβλεψης από μηχανικό και των ασφαλιστικών εισφορών που προκύπτουν. Το γεγονός αυτό μεγεθύνει ακόμη περισσότερο την πραγματική διαφορά μεταξύ των δύο τιμών. Ιδιαίτερα αποθαρρύνονται οι ιδιοκτήτες που έχουν λιγότερες ζημιές λόγω πυρκαγιάς.

*Πίνακας 4. Αποτελέσματα πορείας αποκατάστασης πληγείσας περιοχής από πυρκαγιές*

	Αιτήσεις	Προέγκριση στεγαστικής συνδρομής	Έκδοση άδειας	Έγκριση στεγαστικής συνδρομής
	1	2	3	4
Επισκευές	12	-	6	6
Ανακατασκευές	6	4	0	0

## **3. Πλημμύρες Οκτωβρίου 2006 στους Νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής.**

### 3.1 Αποτελέσματα ελέγχου κτισμάτων

Οι πλημμύρες του Οκτωβρίου 2006 έπληξαν τους Νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Ζημιές έγιναν στους οικισμούς Αρναία, Βαρβάρα, Βρασνά, Ιερισσό, Νεοχώρι, Ολυμπιάδα, Σταυρό, Στρατονίκη, Στρατώνι, και άλλους. Οι περισσότερες και εντονότερες ζημιές παρουσιάστηκαν στο χωριό Μελισσουργός όπου το ύψος του νερού ξεπέρασε τα τρία μέτρα και καταστράφηκαν το ισόγειο και ο όροφος σε δώροφα κτίρια. Δύο γέφυρες κατέρρευσαν στην περιοχή, μια τρίτη είχε ζημιές στα βάθρα, πιθανόν λόγω στροβιλισμού του νερού. Καταστράφηκε τμήμα οδοστρώματος της Εγνατίας οδού.



Σχήμα 2. Οικισμοί με πληγέντα κτίσματα από πλημμύρες Οκτωβρίου 2006

Έγινε άμεση καταγραφή των ζημιών από μηχανικούς της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Θεσσαλονίκης. Στην συνέχεια έγιναν έλεγχοι από την ΥΑΣΒΕ μετά από αιτήσεις και κρίθηκε η καταλληλότητα των κτιρίων. Συντάχθηκαν εκθέσεις ελέγχου από διμελείς επιτροπές μηχανικών. Προέκυψε ότι 11 κτίσματα δεν ήταν αντικείμενο της Υπηρεσίας – ήταν παραπήγματα ή άλλα μικρά κτίσματα που δεν εμπίπτουν στις σχετικές αποφάσεις ή δεν είχαν ζημιές. Κρίθηκαν επισκευάσιμα 142 κτίσματα και κατεδαφιστέα 7, όπως φαίνεται στον πίνακα 5. Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται η κατανομή των κτισμάτων ανάλογα με την χρήση τους. Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η κατανομή κτισμάτων με ζημιές ανά οικισμό. Παρατηρείται ότι ποσοστό 50% των κτισμάτων βρίσκονται στο χωριό Μελισσουργός.

Πίνακας 5. Αυτοψίες κτιρίων για ζημιές από πλημμύρες

	Αριθμός Αιτήσεων	Πραγματοποιηθ. αυτοψίες.	Μη αντικείμενο Υ.Α.Σ.Β.Ε	Αντικείμενο Υ.Α.Σ.Β.Ε.	Αριθμός κτισμάτων	Επισκευάσιμα	Κατεδαφιστέα
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Σύνολο</b>	155	145	11	134	149	142	7

Πίνακας 6. Είδος κτισμάτων που επλήγησαν από πλημμύρες

	Κατοικίες σε λειτουργία	Κατοικίες υπό ανέγερση	Αποθήκη	Καταστήματα	Στάβλοι	Ξενοδοχεία	Επαγγελμα. χωροι	Εκκλησίες
	1	2	3	4	6	7	8	9
Επισκευές	103	1	29	1	3	1	3	1
Ανακατασκευές	7	-	-	-	-	-	-	-
<b>Σύνολο</b>	110	1	29	1	3	1	3	1

Πίνακας 7. Κτίσματα που έπαθαν ζημιές από πλημμύρες, ανά οικισμό

Δήμος	Οικισμός (Δημοτικό Διαμέρισμα)	Χαρακτηρισμός κτισμάτων		Σύνολο κτισμάτων
		Επισκευάσιμα	Κατεστραμμένα	
1	2	3	4	5
Απολλωνίας	Μελισσουργός	69	6	75
Αρναίας	Αρναία	1		1
	Βαρβάρα	5		5
	Νεοχώρι	1		1
	Παλαιοχώρι	12		12
	Στανός	1		1
Ασκού	Ανοιξιά	1		1
Αγίου Γεωργίου	Ασπροβάλα	1		1
	Βρασνά	23	1	24
Αρέθουσας	Λευκούδα	2		2
Παλλήνης	Αγ. Παρασκευή	1		1
Σταγίρων-Ακάνθου	Ιερισσός	2		2
	Ολυμπιάδα	14		14
	Στρατονίκη	2		2
	Στρατώνι	1		1
Νέων Μουδανιών	Νέα Μουδανιά	1		1
Ρεντίνας	Σταυρός	4		4
Κασσάνδρας	Φούρκα	1		1

### 3.2 Αρχική εκτίμηση - Άμεση αντιμετώπιση

Τα χωριά τα οποία επλήγησαν βρίσκονται στους νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Η γεωμορφολογία της περιοχής ευνοεί για πλημμύρες. Απορρέουν νερά από ορεινούς όγκους όπως στον Σταυρό υπάρχουν κοιλάδες και ρέματα. Ορισμένοι οικισμοί έχουν πλημμυρίσει σε προηγούμενα χρόνια και εκκρεμούν δάνεια λόγω πλημμυράς για τις ίδιες κατοικίες. Το κάτω τμήμα του χωριού Μελισσουργός το οποίο πλημμύρισε, βρίσκεται στην έξοδο ενός ρέματος που σε μια θέση έχει ένα στένωμα εμπόδισε τη ροή του νερού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τελευταία ζητήθηκε και δόθηκε επέκταση σχεδίου προς το ρέμα για την ανοικοδόμηση κατοικίας η οποία βρέθηκε πλημμυρισμένη. Στο ίδιο τμήμα είχε γίνει μεγάλη πλημμύρα πριν πολλά χρόνια. Επίσης κατά τις πλημμύρες υπήρξε εκχύλιση των βόθρων και εμφάνιση αρουραίων με συνέπεια τον κίνδυνο μολύνσεων.

Η πλημμύρα έγινε βράδυ. Ακούγοντας το θόρυβο του νερού κάποιοι πρόλαβαν να φύγουν, ενώ κάποιοι άλλοι εγκλωβίστηκαν. Το μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργήθηκε στο χωριό Μελισσουργός. Υπήρχαν άνθρωποι που έμειναν επάνω σε δέντρα και κληματαριές περίπου τέσσερις ώρες. Οι δυνάμεις της Πυροσβεστικής τους απεγκλώβισαν με βάρκες και με σωσίβια. Υπήρχε βοήθεια από το Δήμο και τη Νομαρχία στην αρχική προσπάθεια. Οι κατοικίες, οι αποθήκες και οι δρόμοι είχαν γεμίσει λάσπη. Πολλοί κάτοικοι μαζί με τη λάσπη άδειαζαν και όλο τον οικιακό εξοπλισμό ενώ η ροή του νερού είχε παρασύρει πολλά κουφώματα. Μηχανήματα της Νομαρχίας καθάρισαν τους δρόμους από τη λάσπη.

Λόγω της πλημμύρας υπήρχαν άστεγοι, επειδή οι περισσότεροι ιδιοκτήτες ήταν μόνιμοι κάτοικοι. Από τη Νομαρχία ενοικιάστηκαν αρχικά ξενοδοχεία για αρκετούς πληγέντες, ενώ συνεχίστηκε η ενοικίαση δωματίων στα λουτρά Ν. Απολλωνίας για τρεις οικογένειες για πέντε μήνες. Επίσης δόθηκε βοήθεια από τη Νομαρχία αρκετούς μήνες μετά και μόνο για τους πληγέντες μόνιμους κατοίκους της περιοχής.

### 3.3 Τυπολογία και αίτια βλαβών από πλημμύρες

Για τα περισσότερα κτίρια που έπαθαν ζημιές θεωρείται περισσότερο υπεύθυνη η θέση του οικοπέδου και λιγότερο η μορφή του κτιρίου. Στο χωριό Μελισσουργός ισχύει η παραπάνω άποψη για όλα τα κτίρια. Επιπλέον αναφέρουμε ότι όλα τα κτίρια ήταν εντός σχεδίου, όπως δε αναφέρθηκε κοντά σε έξοδο ρέματος. Σε άλλες περιοχές επίσης υπάρχουν κατοικίες εντός σχεδίου και εκτός σχεδίου που έχουν πάθει ζημιές. Επικίνδυνες από άποψη πλημμύρας είναι οι περιοχές κοντά σε ρέματα και παραθαλάσσια κοντά σε εκβολές ρεμάτων.

Σε ορισμένες περιοχές, εκεί που το ύψος της στάθμης του νερού δεν ήταν ψηλό, έχει σημασία η κατασκευή του κτιρίου.

Έχουν λιγότερες ζημιές οι υπερυψωμένες κατασκευές και οι κατασκευές στις οποίες προστατεύονται τα ημιυπόγεια

Σε πολλές περιπτώσεις όμως παρασύρθηκαν τα τοίχια περίφραξης..

Οι κατοικίες και αποθήκες από ωμοπλίνθους ήταν περισσότερο ευπαθείς.

Παρουσιάζονται προβλήματα σε τμήματα σκελετού όπου υπήρχε αποκάλυψη οπλισμού.

### 3.4 Θεσμικό πλαίσιο αποκατάστασης από τις πλημμύρες

Για την αποκατάσταση των ζημιών από τις πλημμύρες του Οκτωβρίου 2006 στους Νομούς Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής εκδόθηκαν οι παρακάτω Υπουργικές Αποφάσεις: 07-02-2007 (ΚΥΑ 633/Α32/ΦΕΚ/250/Β/27-2-2007), 23-6-2007 (ΥΑΣ1762/2100Λ06Α/5200Λ06Α). Με τις αποφάσεις γίνεται οριοθέτηση της περιοχής, καθορίζονται οι διαδικασίες και το τιμολόγιο για τις επισκευές. Το έργο παρακολούθησης της αποκατάστασης ανατίθεται στην ΥΑΣΒΕ. Η ολοκλήρωση του θεσμικού πλαισίου έγινε αρκετούς μήνες μετά τις πλημμύρες. Οι άδειες επισκευής και έγκριση στεγαστικής συνδρομής για επισκευή εκδίδονται από την ΥΑΣΒΕ ενώ οι άδειες ανακατασκευής σε περίπτωση που το αρχικό κτίριο κρίνεται με κάποια μορφή κατεδαφιστέο εκδίδονται από την Πολεοδομία και η έγκριση στεγαστικής συνδρομής για ανακατασκευή εκδίδεται από την ΥΑΣΒΕ.

Στην αποκατάσταση από τις πλημμύρες 2006 υπάρχουν αλλαγές στον τρόπο αντιμετώπισης σε σχέση με προηγούμενα συμβάντα. Για τις περιπτώσεις κατεδαφιστέου κτίσματος η αντιμετώπιση είναι ίδια. Στους ιδιοκτήτες που το κτίσμα τους κατέρρευσε ή κρίθηκε κατεδαφιστέο δίδεται στεγαστική συνδρομή 450 €/ανα τμ με τους ίδιους όρους που αναφέρεται στην περίπτωση πυρκαγιάς.

Στις περιπτώσεις όμως επισκευής κτιρίων το ύψος του δανείου είναι ανεξάρτητο του είδους και της έκτασης των ζημιών και εξαρτάται από το εμβαδόν του κτιρίου που έπαθε ζημιές. Χορηγείται άδεια επισκευής μικρής κλίμακας. Εάν οι ζημιές είναι σχετικά ελαφρές χορηγείται η άδεια από την Υπηρεσία χωρίς να απαιτείται μελέτη από ιδιώτη μηχανικό, εάν είναι σοβαρές απαιτείται μελέτη από ιδιώτη μηχανικό χωρίς να δίδεται πρόσθετη στεγαστική συνδρομή για την αμοιβή μηχανικού. Το ποσόν που δίδεται για την αποκατάσταση από τις πλημμύρες αυτές είναι 55€/τ.μ. για κατοικία μέχρι και 120τ.μ. για κάθε ιδιοκτησία και 40€/τ.μ. για αποθήκες. Δεν δίνεται στεγαστική συνδρομή στις περιπτώσεις καταστροφής τοιχίων περίφραξης ή αντιστήριξης.

### 3.5 Πορεία αποκατάστασης πλημύσεων περιοχής από πλημμύρες

Είχαν υποβληθεί στην Υ.Α.Σ.Β.Ε αιτήσεις για έλεγχο κτίσματος, έγινε έλεγχος και

συντάχθηκαν εκθέσεις αυτοψίας. Εκκρεμούν 10 αιτήσεις που υποβλήθηκαν τελευταία.

Δεν έχουν υποβληθεί αιτήσεις για έγκριση στεγαστικής συνδρομής για ανακατασκευή. Για τα κτίρια που κρίθηκαν επισκευάσιμα το πλαίσιο είναι διαφορετικό απ' ό,τι στην περίπτωση της πυρκαγιάς ή του σεισμού. Έχουν γίνει 15 αιτήσεις για άδεια επισκευής και έχουν εκδοθεί 7 άδειες επισκευής. Υπάρχει προθεσμία για κατάθεση νέων αιτήσεων και εκτιμάται ότι θα εκδοθούν οι εγκρίσεις ανακατασκευής και αρκετές εγκρίσεις επισκευής κτισμάτων. Στον πίνακα 8 φαίνεται η πορεία αποκατάστασης.

Οι αλλαγές στις αποφάσεις έγιναν για να μειωθούν τα έξοδα των πληγέντων όμως στην πράξη υπάρχουν κάποια προβλήματα στις περιπτώσεις με σοβαρότερες βλάβες. Το ποσό της στεγαστικής συνδρομής που δίδεται είναι πολύ μικρό για τα κτίσματα που είχαν πολλές ζημιές. Στο ποσό αυτό συμπεριλαμβάνονται οι οφειλές προς τους ασφαλιστικούς φορείς και η αμοιβή μηχανικού όταν απαιτείται μελέτη. Οι ιδιοκτήτες είναι επιφυλακτικοί λόγω των οφειλών που δημιουργούνται προς τους ασφαλιστικούς φορείς.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα πορείας αποκατάστασης πληγείσας περιοχής από πλημμύρες

	Αιτήσεις	Προέγκριση στεγαστικής συνδρομής	Έκδοση άδειας	Έγκριση στεγαστικής συνδρομής
	1	2	3	4
Επισκευές	15	-	7	7
Ανακατα-σκευές	0	0	0	0

#### 4. Συμπεράσματα

Οι πυρκαγιές του Αυγούστου 2006 είχαν πολλές ζημιές σε κτίσματα στους οικισμούς Πευκοχώρι, Πολύχρονο, Χανιώτη Νέα Σκίωνη και Αγία Παρασκευή του Νομού Χαλκιδικής.

Από τις πλημμύρες του Οκτωβρίου 2006 καταγράφηκαν ζημιές σε κτίσματα σε 18 οικισμούς των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Το μεγαλύτερο ποσοστό κτισμάτων που επλήγησαν ήταν στο χωριό Μελισσουργός Νομού Θεσσαλονίκης. Η γεωμορφολογία των οικισμών και οι ιδιαίτερες εδαφικές συνθήκες φαίνεται ότι επέδρασαν στην ενίσχυση των βλαβών.

Από τα στοιχεία προκύπτει ότι η τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο για ανακατασκευή κτισμάτων και στα δύο συμβάντα, οι τιμές μονάδος για την επισκευή κτισμάτων στην περίπτωση πυρκαγιάς και η τιμή ανά τετραγωνικό μέτρο για επισκευή κτίσματος στην περίπτωση πλημμύρας, είναι μικρότερες από τις τρέχουσες τιμές που ισχύουν στην περιοχή. Επιπλέον υπάρχουν έξοδα για την έκδοση αδειάς και τις ασφαλιστικές εισφορές. Το γεγονός αυτό οδηγεί εν τέλει σε μικρή ενίσχυση των ιδιοκτητών, σύμφωνα με δική τους εκτίμηση. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, αρκετοί ιδιοκτήτες αποφεύγουν να υλοποιήσουν τις διαδικασίες που προβλέπονται από το θεσμικό πλαίσιο για την αποκατάσταση των ζημιών, με συνέπεια να καθυστερεί η αποκατάσταση της πληγείσας περιοχής..

Στις δύο φυσικές καταστροφές στις οποίες αναφέρεται η εργασία, φαίνεται η εμπλοκή των διαφόρων φορέων, αναδεικνύεται πόσο έντονη και οργανωμένη χρειάζεται να είναι η παρουσία του Δήμου αλλά και των τοπικών κοινωνιών στα σχέδια πολιτικής προστασίας, σε συντονισμό με τους άλλους φορείς. Απαιτείται χρηματοδότηση, αλλά και μηχανισμός ελέγχου των διαδικασιών. Έχουν καταγραφεί ιδιαίτερα προβλήματα σχετικά με τη γεωγραφία των περιοχών, με τη χωροθέτηση, την τρωτότητα των οικισμών και των κτιρίων για πυρκαγιές και πλημμύρες και καταδεικνύεται η ανάγκη αλλαγής της φιλοσοφίας στον τομέα της πρόληψης.

Οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες είναι κίνδυνοι για την Ελλάδα όπως ο κίνδυνος των

σεισμών και πρέπει να αντιμετωπίζονται με σοβαρότητα, ιδιαίτερα μετά τις κλιματικές αλλαγές που συμβάλλουν στην συχνότερη και εντονότερη εμφάνιση τους.

### Ευχαριστίες

Η αντιμετώπιση των συμβάντων και η αποκατάσταση των ζημιών γίνεται από όλη την Υπηρεσία και το Τμήμα Αποκατάστασης Ζημιών ειδικότερα. Έτσι η εργασία αντιπροσωπεύει την προσπάθεια όλων. Ιδιαίτερα συνέβαλε σε στοιχεία η κ. Γιώτα Ιορδανίδου Πολιτικός Μηχανικός, επίσης προσέφερε βοήθεια ο κ. Στέφανος Συμεωνίδης.



*Πευκοχώρι εκτός σχεδίου καταστροφή κατοικίας*



*Πολύχρονο κατοικία υπό ανέγερση*



*Μελισσουργός στάθμη νερού στον όροφο*



*Μελισσουργός απεγκλωβισμός κατοίκων*



## ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ

Νιβολιανίτου Ζ.<sup>1</sup>, Συνοδινού Β.<sup>1</sup>, Παραλίκας Α.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», Ινστιτούτο Πυρηνικής Τεχνολογίας-Ακτινοπροστασίας  
60228, Αγία Παρασκευή, Αττική

<sup>2</sup> Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Διεύθυνση Εκπαίδευσης,  
Μουρούζη 4, 10176, Αθήνα.

### Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην ενεργοποίηση της κοινωνίας των πολιτών κατά τα τελευταία χρόνια που συνετέλεσε στην ίδρυση όλο και περισσότερων εθελοντικών ομάδων πολιτικής προστασίας. Η συμμετοχή τους, ιδιαίτερα σε τοπικές καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, αλλά και σε ευρύτερο πλαίσιο, μπορεί να είναι αποφασιστική για την αντιμετώπιση κρίσιμων περιστατικών. Γίνεται μια απόπειρα μελέτης των παραμέτρων που επηρεάζουν την επιτυχή έκβαση των επεμβάσεων με σκοπό τη δημιουργία ενός προσομοιωτή/εργαλείου (simulator), που θα «αξιολογεί» κατά ένα τρόπο την επιτυχία της επέμβασης σε μια επαπειλούμενη φυσική καταστροφή, λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν, όπως ανθρώπινο δυναμικό, υπάρχοντα σχεδιασμό, μέσα, ενημέρωση πολιτών κλπ.

### IMPORTANT INDICATORS IN THE ANALYSIS OF EMERGENCY PLANNING SITUATIONS

Nivolianitou, Z.<sup>1</sup>, Synodinou, B.<sup>1</sup>, Paralikas, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NCSR "DEMOKRITOS", Institute of Nuclear Technology-Radiation Protection,  
60228 Aghia Paraskevi, Attiki.

<sup>2</sup>Greek Fire Brigade Headquarters, Education division, 4, Mourouzi str., 10176 Athens.

### Abstract

The present study deals with the activation of community groups during the last period, which has led to the creation of a growing number of volunteer's organisations in civil protection. Their participation in emergency situations, both at local and broader level, can be decisive in their successful treatment. In the present work an attempt has been made to study the parameters that definitively influence the successful outcome of interventions, together with the creation of a "simulator", which could validate in a certain way the success rate of an intervention in a potential natural hazard before its actual occurrence, taking into consideration all parameters that may affect it, such as human factors, existing planning and intervention means, civilians preparedness etc.

**Λέξεις κλειδιά:** καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, φυσικές καταστροφές, δείκτες.

**Key words:** emergency situations, natural hazards, indicators.

### 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ενεργοποίηση της κοινωνίας των πολιτών συνετέλεσε στην ίδρυση όλο και περισσότερων εθελοντικών ομάδων πολιτικής προστασίας. Η συμμετοχή τους, ιδιαίτερα σε τοπικές καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, αλλά και σε ευρύτερο πλαίσιο, μπορεί να είναι αποφασιστική για την αντιμετώπιση κρίσιμων περιστατικών.

Στην προσπάθεια να μελετηθούν οι παράμετροι που επηρραάζουν την επιτυχή έκβαση των επεμβάσεων η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στην αναλυτική διευρεύνησή τους μέσω του προγράμματος Pre-Emergencies. Ο στόχος του προγράμματος είναι μεταξύ άλλων και η δημιουργία ενός προσομοιωτή/εργαλείου (simulator), που θα «αξιολογεί» κατά ένα τρόπο την επιτυχία της επέμβασης σε μια επαπειλούμενη φυσική καταστροφή, λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν, όπως ανθρώπινο δυναμικό, υπάρχοντα σχεδιασμό, μέσα, ενημέρωση πολιτών κλπ.

Η Ομάδα του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» με βάση τις συνεντεύξεις που πήρε από τις Εθελοντικές Οργανώσεις Αντιμετώπισης Φυσικών καταστροφών ή/και κρίσεων, οργάνωσε έναν κατάλογο με πιθανούς δείκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ποσοτικοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου. Αρκετοί από αυτούς τους δείκτες είναι κοινói σε όλες τις καταστάσεις, εκτάκτων αναγκών, άλλοι είναι ειδικόί για κατηγορίες καταστάσεων. Επιπλέον, στα πλαίσια του προγράμματος διοργανώθηκε ημερίδα, στην οποία υπήρξε ενδιαφέρουσα ανταλλαγή απόψεων και εμπειριών με εκπροσώπους των αντίστοιχών οργανώσεων.

Στη συνέχεια του άρθρου παρουσιάζονται, οι δείκτες που προσδιορίστηκαν για δυο καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, τις δασικές πυρκαγιές και πλημμύρες.

## 2. Μεθοδολογία ανάπτυξης των δεικτών

### 2.1 Γενικά

Η Ομάδα του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» που συμμετέχει στο πρόγραμμα Pre-Emergencies, με βάση τις συνεντεύξεις που πήρε από τις ομάδες Εθελοντών (και όχι μόνο) Αντιμετώπισης Φυσικών καταστροφών ή/και κρίσεων, οργάνωσε έναν κατάλογο με πιθανούς δείκτες οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην ποσοτικοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιήθηκε και σε άλλα προγράμματα, όπως στο project του ΟΟΣΑ «Chemical Accidents Program».

Στόχος εκεί ήταν η επινόηση μιας 'μεθοδολογίας' για την ανάπτυξη ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ στη χημική βιομηχανία. Περιλαμβανε, όμως, δείκτες που αφορούσαν όλους τους εμπλεκόμενους φορείς-stakeholders (Βιομηχανία, κυβερνητικές οργανώσεις, τοπική αυτοδιοίκηση, εργαζόμενους, εθελοντές, κ.α.). Η μελετη του ΟΟΣΑ διακρίνει τους Δείκτες ανά κατηγορία stakeholder, αλλά και σε καθέναν από αυτούς διακρίνει πεδία δραστηριοτήτων / τομέων (πχ πολιτική ασφάλειας, συστήματα ασφάλειας κλπ.). Τέλος διακρίνει τους δείκτες σε δυο κατηγορίες: στους ποσοτικούς (με κλίμακα- μετρήσιμοι), και στους ποιοτικούς (ναι/οχι).

Μια ανάλογη προσέγγιση προτάθηκε και στην ανάπτυξη του προσομοιωτή στο Προγραμμα Pre-Emergencies, δηλαδή:

α) να εντοπιστούν οι βασικοί ή όλοι οι stakeholders στους τομείς εκτάκτων αναγκών που ασχολείται το πρόγραμμα.

β) να καθοριστούν τα πεδία/ αντικείμενα των δραστηριοτήτων τους / παραμέτρων τους που πρέπει να μετρηθούν και

γ) να αναπτυχθεί μια κλίμακα μέτρησης για καθένα από αυτά (απλή ή ασαφούς λογικής-fuzzy).

Έτσι κάθε stakeholder θα μπορεί να παρακολουθεί την επίδοση του ανά έτος στους επιμέρους τομείς που θεωρούνται σημαντικοί.

Συνθέτοντας, με συντελεστές βαρύτητας, τις επιμέρους παραμέτρους για κάθε δείκτη, σε ένα εργαλείο, μπορούμε να πάρουμε μια συνολική εκτίμηση των επιδόσεων του κάθε δείκτη

και τελικά του όλου του συστήματος ανταπόκρισης στην έκτακτη ανάγκη (πολυκριτηριακή ανάλυση-multi-criteria analysis).

Αρκετοί από αυτούς τους δείκτες είναι κοινοί σε όλες τις καταστάσεις, άλλοι είναι ειδικοί για κατηγορίες καταστάσεων. Προσδιορίστηκαν, αξιολογήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν οι δείκτες για κάθε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης που προκύπτει από φυσικές καταστροφές ή ανθρώπινη ενέργεια, σε ειρηνική περίοδο, όπως δασικές πυρκαγιές και πλημμύρες. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί, ότι σύμφωνα με στοιχεία του Κέντρου Επιχειρήσεων της Γ.Γ. Πολιτικής Προστασίας, οι πλημμύρες αποτέλεσαν την συχνότερη αιτία για την κήρυξη περιοχών της χώρας μας σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης κατά το έτος 2006. Επιπλέον, αποτελούν για τη χώρα μας τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή μετά τις δασικές πυρκαγιές, σύμφωνα με εκτιμήσεις της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΕΑ), οι ακραίες πλημμύρες αποτελούν το συνηθέστερο τύπο φυσικών καταστροφών σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

## 2.2 Δείκτες που αφορούν Δασικές Πυρκαγιές

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τόσο οι γενικές κατηγορίες των δεικτών, που λαμβάνονται υπ' όψη, όσο και οι επι μερους και αφορούν Δασικές Πυρκαγιές. Οι γενικές είναι: 1)Τύπος οργάνωσης, 2)Περιγραφή ρόλου οργάνωσης, 3)Επικοινωνία με την οργάνωση, 4)Περιγραφή δράσης, 5)Ανθρώπινοι παράγοντες, 6)Εκπαίδευση, 7) Πρωτόκολλα δράσης, 8)Επικοινωνία με πολίτες, 9)Κρίσιμες στιγμές επέμβασης. Παραθέτεται, ακόμη, ένα παράδειγμα κατάταξης των δεικτών στην δεξιά στήλη του.

## 2.3 Δείκτες που αφορούν Πλημμύρες

Παρόμοιος είναι και ο Πίνακας που παρουσιάζει τις κατηγορίες δεικτών, που αφορούν Πλημμύρες. Επειδή η πλειονότητα των δεικτών που αφορούν οργανωτικά θέματα είναι κοινοί και στις δυο καταστάσεις, με μικρή διαφοροποίηση ανα ειδική κατηγορία καταστάσεων, δεν παρατίθεται ο Πίνακας αυτός.

Πίνακας 1. Δείκτες που προσδιορίστηκαν από τις συνεντεύξεις με εθελοντικές οργανώσεις που δραστηριοποιούνται στην κατάσβεση Δασικών Πυρκαγιών.

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΤΥΠΟΣ	ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
Τύπος οργάνωσης			
Προφίλ οργάνωσης	Ποιοτικός	Χαμηλό, μέτριο, υψηλό	8
Τύπος οργάνωσης	Ποιοτικός	Εθελοντική, Κρατικός φορέας	8
Μέγεθος	Ποιοτικός	Μικρό, μέτριο, μεγάλο	6
Τύπος παρερχομένης βοήθειας	Ποιοτικός	Διασώστες, Νοσηλεία	10
Περιγραφή ρόλου οργάνωσης			
Περιγραφή ρόλου	Ποιοτικός	Ανεπαρκής, επαρκής εξαιρετικός	8
Διαθεσιμότητα	Ποιοτικός	Ελλιπής, μερική, πλήρης	8
Ικανότητα	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	10
Σπουδαιότητα	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	10
Τύπος επέμβασης	Ποιοτικός	Αυθόρμητος, κατόπιν πρόσκλησης	9
Μέσα	Ποιοτικός	Ανεπαρκή, επαρκή	10
Οδηγίες	Ποιοτικός	ΝΑΙ, ΟΧΙ	8
Βαθμός συνεργασίας	Ποιοτικός	Χαμηλός μέτριος, υψηλός	8
Επικοινωνία με οργάνωση			
Πέρασμα πληροφορίας (βαθμός)	Ποιοτικός	Χαμηλός μέτριος, υψηλός	10
Ανάδραση στην πληροφορία	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	10
Επικοινωνία μέσω των ΜΜΕ	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	7
Εργαλεία επικοινωνίας	Ποιοτικός	Ραδιοσυχνότητες, VHF	10

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΤΥΠΟΣ	ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
Τύπος αντίδρασης	Ποιοτικός	Καθυστερημένος, έγκαιρος πρωθύστερος	9
Χρόνος αντίδρασης	Ποιοτικός	Καθυστερημένος, έγκαιρος πρωθύστερος	9
Σχέσεις με τα ΜΜΕ	Ποιοτικός	Ανεπαρκής, επαρκής εξαιρετικός	6
Έγκαιρο πέρασμα της πληροφορίας	Ποιοτικός	ΝΑΙ, ΟΧΙ	7
Περιγραφή δράσης			
Αριθμός ανθρώπων	Ποιοτικός	Χαμηλός, μέτριος, υψηλός	8
Βαθύτερη γνώση του αντικειμένου	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	8
Ταυτότητα της οργάνωσης	Ποιοτικός	Ευ-αναγνωρίσιμη, μη αναγνωρίσιμη	8
Αναγνωσιμότητα θυμάτων	Ποιοτικός	Εύκολη, δύσκολη	8
Εμμονές λόγω εμπειρίας	Ποιοτικός	Χαμηλή, μέτρια, υψηλή	8
Ανθρώπινοι παράγοντες			
Έτη εμπειρίας	Ποιοτικός	Λίγα, πολλά	8
Φύλο ομάδας			
Αδιάλειπτη προσοχή	Ποιοτικός	ΝΑΙ, ΟΧΙ	9
Ρυθμός εργασίας	Ποιοτικός	Χαμηλός, υψηλός	9
Χρονική πίεση	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	8
Κίνητρα	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	10
Καθαρότητα ρόλου	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	10
Κόπωση	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Stress	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	10
Ικανότητα αντίληψης	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Μνήμη	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Κακή διάθεση	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Επιφόρτιση εργασίας	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	8
Εκπαίδευση			
Κοινή εκπαίδευση	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	10
Βαθμός συνεργασίας	Ποιοτικός	Χαμηλός, υψηλός	8
Συχνότητα εκπαίδευσης	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Τύπος εκπαίδευσης	Ποιοτικός	Τυχαίος/οργανωμένος	10
Πρωτόκολλα δράσης			
Ύπαρξη πρωτοκόλλου	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Πολλαπλές αρμοδιότητες	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Μοίρασμα εξοπλισμού	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	8
Παράκαμψη της επίσημης οδού	Ποιοτικός	Κακός/καλός	9
Διαπροσωπικές διενέξεις	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	8
Προτιμώμενοι συνεργάτες	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Αρχηγός Επέμβασης	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	10
Διαδικασία λήψης απόφασης	Ποιοτικός	Κλειστή, ανοικτή	10
Σεβασμός πρωτοκόλλου	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	10
Επίπεδο συνεργασίας	Ποιοτικός	Χαμηλό, υψηλό	9
Παράμετροι οργάνωσης	Ποιοτικός	Ανεπαρκείς, επαρκείς	10
Χρήση κωδικών	Ποιοτικός	Ανεπαρκής, επαρκής	10
Επικοινωνία με πολίτες			
Ευκολία εντοπισμού του θύματος	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	8
Αυτοσυγκράτηση θύματος	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	8

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΤΥΠΟΣ	ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ
Κατάσταση θύματος	Ποιοτικός	Κακή/αποδεκτή	9
Διαφορετικές ανθρώπινες ομάδες	Ποιοτικός	Ανάπηροι, παιδιά, ηλικιωμένοι, κ.α.	10
Κρίσιμες στιγμές επέμβασης			
Ταχύτητα μεταφοράς	Ποσοτικός	χλμ/ώρα	10
Διαθεσιμότητα μέσων.	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	10
Κρατικοί υπάλληλοι ανεκπαίδευτοι	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Διαθεσιμότητα προσωπικού	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Απόκριση πολιτών στην Εκτ. Ανάγκη	Ποιοτικός	Ανεπαρκής, επαρκής, εξαιρετική	9
Διαφοροποιήσεις συμπεριφοράς	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Σύγκρουση πρωτοκόλλων,	Ποιοτικός	ΝΑΙ/ΟΧΙ	9
Αποδοχή εθελοντών	Ποιοτικός	Χαμηλή, υψηλή	9
Ενδείξεις αποτυχίας	Ποιοτικός	Ανεπαρκείς, επαρκείς	9
Άλλο			

Η μεθοδολογία της ανάλυσης για την ανάπτυξη των παραπάνω δεικτών, βασίστηκε σε πρότυπο ανάλυσης συμπεριφορών και δράσης, που προτάθηκε μετά από βιβλιογραφική έρευνα και έρευνα πεδίου που διενεργήθηκε από το Τμήμα Ψυχολογίας του Πανεπιστημίου του Τορίνο, στα πλαίσια του προγράμματος.

### 3. Στατιστική επεξεργασία των δεικτών

Επιχειρήθηκε μια πρώτη αξιολόγηση των προτεινομένων δεκτών από εκπροσώπους εθελοντικών(κυρίως) οργανώσεων και των δυο κατηγοριών που παραχώρησαν συνεντεύξεις στην ομάδα του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Ζητήθηκε από τους εκπροσώπους να αξιολογήσουν κάθε δείκτη σε μια κλίμακα 1-10, ανάλογα με τη σπουδαιότητα που πιστεύουν ότι έχει για μια επιτυχημένη επέμβαση.

Οι γενικές διαπιστώσεις από την αξιολόγηση αυτή είναι οι παρακάτω, παρουσιάζοντας τις κατηγορίες που είναι οι πιο σημαντικές στην κατάταξη των δεικτών με φθίνουσα σημασία:

1. Τύπος παρερχομένης βοήθειας (π.χ. Νοσηλεία, Πυρόσβεση κλπ.)
2. Ικανότητα του προσωπικού
3. Διαθεσιμότητα μέσων
4. Δυνατότητα επικοινωνίας
5. Κίνητρα
6. Ύπαρξη πρωτοκόλλου επέμβασης, και
7. Βαθμός συνεργασίας μεταξύ των οργανώσεων.

Με βάση την παραπάνω καταγραφή των δεικτών και την αξιολόγηση αυτή, προχωράει ήδη σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο του Μιλάνο και το Πανεπιστήμιο του Τορίνο η διαδικασία ανάπτυξης τους Simulator, του εργαλείου που θα «αξιολογεί» κατά ένα τρόπο την επιτυχία της επέμβασης σε μια επαπειλούμενη φυσική καταστροφή, λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν, όπως ανθρώπινο δυναμικό, υπάρχοντα σχεδιασμό, μέσα, ενημέρωση πολιτών κλπ. Η δομή του, η οποία ακόμα δεν έχει ολοκληρωθεί πλήρως, βασίζεται σε εργαλεία πολυκριτηρίας ανάλυσης αποφάσεων για την συνεκτίμηση όλων αυτών των παραμέτρων που εμπλέκονται στην επιτυχή διαχείριση σύνθετων καταστάσεων όπως η περίπτωση των εκτάκτων αναγκών.

#### 4. Συμπεράσματα

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιτυχή έκβαση των επεμβάσεων έκτακτης ανάγκης οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να προχωρήσει στην αναλυτική διερεύνηση τους μέσω του προγράμματος Pre-Emergencies. Ο στόχος του προγράμματος είναι μεταξύ άλλων και η δημιουργία ενός προσομοιωτή/εργαλείου (simulator), που θα «αξιολογεί» κατά ένα τρόπο την επιτυχία της επέμβασης σε μια επαπειλούμενη φυσική καταστροφή, λαμβάνοντας υπ' όψη όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν.

Η Ομάδα του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» με βάση τις συνεντεύξεις που πήρε από τις Εθελοντικές Οργανώσεις Αντιμετώπισης Φυσικών καταστροφών ή/και κρίσεων, οργάνωσε έναν κατάλογο με πιθανούς δείκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ποσοτικοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου. Αρκετοί από αυτούς τους δείκτες είναι κοινί σε όλες τις καταστάσεις, άλλοι είναι ειδικί για κατηγορίες καταστάσεων. Παρουσιάστηκαν, οι δείκτες που προσδιορίστηκαν για δυο καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, τις δασικές πυρκαγιές και τις πλημμύρες.

#### Βιβλιογραφία

<http://www.cri.piemonte.it/progetti/pre-emergencies/>

[http://www.ncsr.gr/anakoinoseis\\_det.asp?anak\\_id=54](http://www.ncsr.gr/anakoinoseis_det.asp?anak_id=54)

OECD, 2003. Safety Performance Indicators. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris. <http://www2.oecd.org/safetyindicators/>

Γ.Γ.Π.Π., 2007. Απολογισμός του Κέντρου Επιχειρήσεων (ΚΕΠΠ) της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας για το έτος 2006. Γ.Γ.Π.Π., Αθήνα. <http://www.civilprotection.gr/>

ΕΕΑ, 2005. ΕΕΑ briefing 1, 2005. Μεταβολή του κλίματος και υπερχειλίση ποταμών στην Ευρώπη. European environmental agency, Κοπεγχάγη.

## ΤΑ ΑΔΙΕΞΟΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΗΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Σαπουντζάκη Κ.

*Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου*

### Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει τα αδιέξοδα και τις αστοχίες της ορολογίας διαχείρισης των κινδύνων, αυτές που ευθύνονται για τις δυσκολίες επικοινωνίας μεταξύ των ξεχωριστών επιστημονικών πεδίων που εμπλέκονται στη διαχείριση κινδύνων, μεταξύ των επιστημόνων και διοικητικο-πολιτικών αρμοδίων καθώς και όλων αυτών με την Κοινωνία των Πολιτών. Η εργασία αναζητεί τις αφετηρίες αυτής της ορολογικής «Βαβέλ» και προβληματίζεται για την αναγκαιότητα ενός μετα-επιστημονικού πεδίου από την όσμωση των μονο-κινδυνικών και μονο-επιστημονικών τομέων γνώσης αλλά και των τελευταίων με τις κοινωνικές / πολιτικές πρακτικές στους σχεδιασμούς αντιμετώπισης των κινδύνων. Η προσδοκία από αυτό το νέο πεδίο είναι να αποκρυστογραφεί τις επιστημονικές φαλκιδεύσεις των πολιτικών αποφάσεων και τις λανθάνουσες πολιτικές παραδοχές των επιστημονικών συμβουλών.

### FAILURES AND IMPASSES OF CURRENT TERMINOLOGY OF RISK MANAGEMENT

Sapountzaki K.

*Assistant Professor, Harokopio University, Department of Geography*

### Abstract

The present work presents and analyses the inconsistencies and incompatibilities of current terminology in the field of risk management; those incompatibilities that account for communication difficulties among the scientific strands engaged in risk management, between the experts and the political /administrative competent officials, also among the latter communities and the civil society. The author searches for the causal origins of this "Babel" and adheres to a meta-scientific field as a product of the encounter of mono-risk and mono-science knowledge sectors with each other and particularly with the social / political knowledge and practice in everyday planning for risk protection.

**Λέξεις κλειδιά:** Ορολογία διαχείρισης κινδύνων, κοινωνία του κινδύνου, αποδεκτό επίπεδο κινδύνου, πολυ-κινδυνικές προσεγγίσεις.

**Key words:** Risk management terminology, risk society, acceptable risk, multi-risk assessment.

### 1. Εισαγωγική τοποθέτηση: Οι διαφορετικές γλώσσες στη διαχείριση των κινδύνων

Η εργασία αυτή εκκινεί από τα συμπεράσματα μιας προηγούμενης της συγγραφέως, που παρουσιάστηκε στο Βόλο, πριν από ένα χρόνο περίπου (12-14 /5/2006), σε Συνέδριο με τίτλο Πόλεις της Μεσογείου μετά από Σεισμούς. Σε εκείνη την παρουσίαση σχολιάστηκε και κριτικαρίστηκε ο παραδοσιακός, ελληνικός τρόπος χάραξης και εφαρμογής πολιτικής αντισεισμικής προστασίας. Οι διαπιστώσεις που παρουσιάστηκαν, αν και ανησυχητικές, ωστόσο πέρασαν απαρατήρητες:

- Το ελληνικό σύστημα αντισεισμικής προστασίας ταλανίζεται από προβλήματα έλλειψης κοινής γλώσσας μεταξύ των αρμόδιων ειδικών επιστημόνων (μηχανικών, επιστημόνων

της γης, πολεοδόμων, κοινωνιολόγων, ειδικών της επιχειρησιακής έρευνας κλπ.), προβλήματα έλλειψης συντονισμού μεταξύ των αρμοδίων, συνεννόησης και επικοινωνίας με το κοινό.

- Οι επιστήμονες, οι επαγγελματίες, οι πολιτικοί, τα διοικητικά στελέχη που σε πολλές περιπτώσεις αφιερώνουν μια ολόκληρη ζωή στην υπόθεση της σεισμικής ασφάλειας –ο καθένας από τη δική του οπτική γωνία ωστόσο - συχνά δεν καταφέρνουν να συνεννοηθούν και να συνεργαστούν ούτε μεταξύ τους, ούτε με το σώμα της Κοινωνίας των Πολιτών.

Η ασυνεννοησία μεταξύ των αρμόδιων ειδικών δεν είναι προνόμιο των σεισμών. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο προσπαθειών δι-επιστημονικής συνεργασίας ακαδημαϊκών σε θέματα κινδύνων (πλημμύρες, δασικές πυρκαγιές, ρύπανση, ερημοποίηση, κλιματικές αλλαγές, τεχνολογικά ατυχήματα κλπ) που καταλήγουν να τους εκθέτουν. Πριν από μερικούς μήνες η συγγραφέας διετέλεσε μέλος εξεταστικής επιτροπής μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας με τίτλο Προσδιορισμός επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με τη χρήση ΣΓΠ – Οι περιπτώσεις του Πόρτο-Χελίου και της Ερμιόνης. Η επιτροπή τότε (αποτελούμενη από ακαδημαϊκούς των κλάδων της Γεωλογίας και των Κοινωνικών Επιστημών) είχε τη δυνατότητα να διαπιστώσει ότι λειτουργούσε ως «ακαδημαϊκή Βαβέλ», αφού όταν οι γεωλόγοι αναφέρονταν στην επικινδυνότητα (hazard), οι κοινωνικοί επιστήμονες αντιλαμβάνονταν κίνδυνο (Risk) ή τρωτότητα (Vulnerability) και αντιστρόφως. Η πλευρά μάλιστα των κοινωνικών επιστημόνων επιχείρησε τότε να αποκαταστήσει τη συνεννόηση μεταξύ των ξεστατών τουλάχιστον στη βασική ορολογία. Τα επιχειρήματα που πρόβαλε αυτή η πλευρά ήταν του τύπου:

«Για να ξεχωρίσουμε μια για πάντα τις έννοιες της επικινδυνότητας από αυτές της τρωτότητας και του κινδύνου πρέπει προηγουμένως να κάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στην πηγή του κινδύνου και τους δέκτες των επιπτώσεων του, ανάμεσα στην απειλή και τα απειλούμενα στοιχεία. Χρειάζεται όμως προσοχή, καθώς η απειλή, ο γενεσιουργός παράγοντας, η επικινδυνότητα δηλαδή, μπορεί να είναι ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο ανεξάρτητο από τον άνθρωπο (στις περιπτώσεις ηφαιστείων, σεισμών κλπ), μπορεί όμως και να πρόκειται για απειλητική συνθήκη από το εξωτερικό περιβάλλον η οποία έχει προκύψει από την ανθρώπινη δραστηριότητα (πχ. περιβαλλοντικοί κίνδυνοι)».

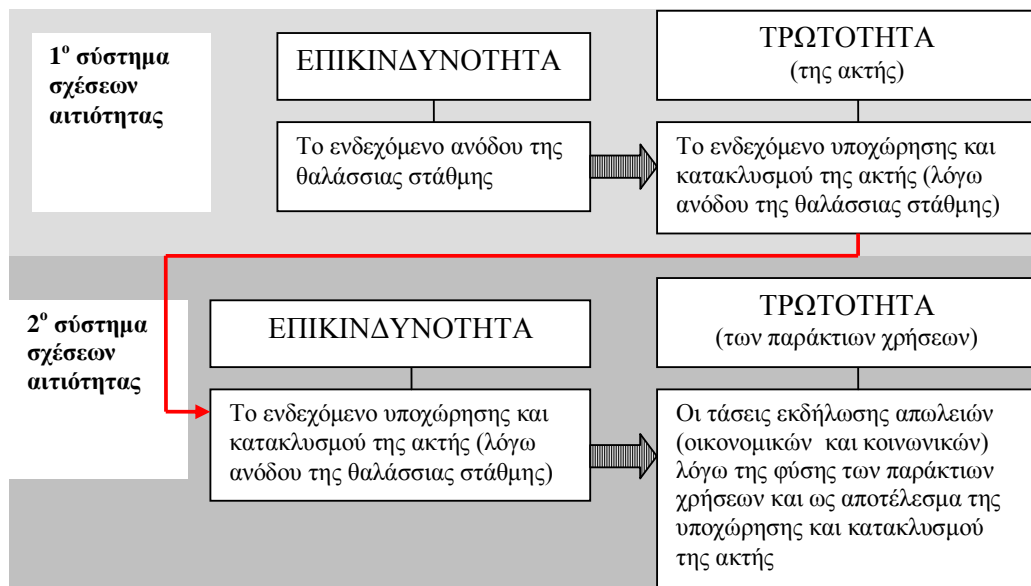
Ωστόσο η πλευρά των κοινωνικών επιστημόνων δεν έπεισε την άλλη πλευρά. Αυτή η έλλειψη πειστικότητας είχε να κάνει με το γεγονός ότι από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μέχρι το ενδεχόμενο καταστροφών από τον κατακλυσμό των παράκτιων χρήσεων γης μεσολαβούν δύο διαδοχικά και διαφορετικά ζευγάρια πηγών κινδύνου και δεκτών των επιπτώσεων τους, δηλαδή δύο συστήματα σχέσεων επικινδυνότητας-τρωτότητας. Στο σχήμα που ακολουθεί δείχνονται τα δύο διακριτά και διαδοχικά συστήματα σχέσεων αιτιότητας.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, το ενδεχόμενο υποχώρησης και κατακλυσμού της ακτής υπάρχει και στα δύο (νοητά διαχωρισμένα) στάδια και συστήματα σχέσεων αιτιότητας, μόνο που στο πρώτο αντανακλά την τρωτότητά της (καθώς εξαρτάται από τα ιδιωματικά / δομικά γεωλογικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της ακτής), ενώ στο δεύτερο στάδιο το ίδιο ενδεχόμενο γίνεται απειλή για τις παράκτιες χρήσεις και οικονομικές δραστηριότητες, άρα επικινδυνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτών των χρήσεων (ένταση οικοδομικής ανάπτυξης, εργαζόμενοι, παραγόμενα εισοδήματα κλπ.) διαμορφώνουν «την προδιάθεση» τους για απώλειες εφ' όσον κατακλυστούν.

Αξίζει να γίνει αναφορά σε ένα ακόμη παράδειγμα ασυμφωνίας στην ορολογία διαχείρισης κινδύνων που αυτή τη φορά δημιουργεί προβλήματα στην επικοινωνία της ακαδημαϊκής κοινότητας με το πολιτικο-διοικητικό σύστημα και τα στελέχη του. Ο επισκέπτης της ιστοσελίδας της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας διαβάζει για τον κίνδυνο και την επικινδυνότητα δασικής πυρκαγιάς:



«Ο όρος κίνδυνος πυρκαγιάς είναι αρκετά σύνθετος και χρησιμοποιείται για να εκφράσει μια εκτίμηση σχετικά με (α) την ευκολία ανάφλεξης, (β) το ρυθμό εξάπλωσης, (γ) τη δυσκολία ελέγχου, (δ) τις επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς. Από την άλλη πλευρά η πιθανότητα για έναρξη μιας πυρκαγιάς ως αποτέλεσμα της παρουσίας και δράσης των γενεσιουργών αυτής αιτίων ορίζεται ως επικινδυνότητα».



Σχήμα 1. Επικινδυνότητες και τρωτότητες σε ενδεχόμενα συμβάντα παράκτιων καταστροφών από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Ωστόσο, η πυρική επικινδυνότητα στην Ευρωπαϊκή ερευνητική γλώσσα έχει διαφορετικό περιεχόμενο και σημασία από την επικινδυνότητα της ΓΓΠΠ. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι η σημασία που αποδίδεται στην επικινδυνότητα από το Ευρωπαϊκό ερευνητικό Auto-Hazard Pro. Εκεί συνδέεται με την καύσιμη ύλη, άρα την ευκολία / δυσκολία / εξάπλωσης της φωτιάς και όχι με τα ανθρωπογενή αίτια της πυρκαγιάς. Στα πλαίσια μάλιστα αυτού του προγράμματος προτείνεται ένα σύστημα διαβάθμισης του κινδύνου πυρκαγιάς με την έννοια κίνδυνος να αντιστοιχεί στον αγγλικό όρο Danger και όχι στο συνήθη όρο Risk.

Οι διαφορετικές γλώσσες ή καλύτερα οι διαφορετικές σημάνσεις των όρων της διαχείρισης των κινδύνων από τους επιστήμονες αφ' ενός και τους διοικητικούς αρμόδιους αφ' ετέρου αλλά και οι ορολογικές διαφορές μεταξύ των χωριστών επιστημονικών ειδικοτήτων δεν εξαντλούν το θέμα της γλωσσικής «Βαβέλ» στην αντίληψη και τη διαχείριση των κινδύνων (πόσο μάλλον των πολύ-κινδυνικών καταστάσεων). Το ζήτημα των παρανοήσεων και παρεξηγήσεων μεταξύ ειδικών και κοινού είναι μια ακόμη διάσταση των αδιεξόδων της τρέχουσας ορολογίας. Ένα καλό παράδειγμα είναι ο όρος «αντισεισμικό κτίριο». Ο μέσος πολίτης αντιλαμβάνεται ως τέτοιο την οικοδομή που αντέχει τους σεισμούς εν γένει. Ωστόσο, οι μηχανικοί γνωρίζουν καλά ότι τα κτίρια που ικανοποιούν τον αντισεισμικό κανονισμό είναι καλυμμένα από κάποια μόνο σεισμικά γεγονότα (όχι από όλα), αυτά που τα χαρακτηριστικά τους δεν είναι δυσμενέστερα από κάποια «κατώφλια» που έχουν τεθεί από τους ειδικούς. Αντιστοίχως, είναι γνωστό ότι η αντιπλημμυρική προστασία που προσφέρουν τα έργα αντιπλημμυρικής μηχανικής δεν είναι πανάκεια. Αυτά τα έργα προστατεύουν τις πλημμυροπαθείς ζώνες από την πλημμύρα που συμβαίνει μια φορά στα 100 χρόνια, όχι όμως και από εκείνη που συμβαίνει μια φορά στα 1000 χρόνια.

## 2. Η πρόκληση της όσμωσης της επιστημονικής με την κοινωνική γνώση και πρακτική

Η βιβλιογραφία της Διακυβέρνησης των Κινδύνων θεωρεί ολισθήμα την πεποίθηση του ειδικού ότι κατέχει την αλήθεια και ότι αυτό που συμβαίνει είναι ένας πόλεμος της επιστήμης ενάντια στις παραπλανημένες απόψεις του κοινού. Ισχύει πράγματι ότι οι τεχνικοί επιστήμονες με δικά τους κριτήρια και με οδηγό τα στατιστικά εμπειρικά δεδομένα (που για ορισμένες μάλιστα απειλές τις τελευταίες δεκαετίες δείχνουν ανατροπή των προ-υφιστάμενων τάσεων) αποφάσισαν για τα αποδεκτά και μη επίπεδα κινδύνου (μετέτρεψαν δηλαδή μια πολιτική απόφαση σε τεχνική), η πολιτική όμως διάσταση των συνεπειών αυτών των αποφάσεων είναι σήμερα ορατή περισσότερο από ποτέ (τεχνικά έργα που δεν παρέχουν προστασία έναντι των νέων ενισχυμένων απειλών, οικοδομικές κατασκευές αυθαίρετες ή που δεν τηρούν τους αντισεισμικούς κανονισμούς κλπ). Επί πρόσθετα ο κάθε ειδικός περιορίζεται στον «κλωβό» του κινδύνου του ενδιαφέροντός του και ονειρεύεται τη δική του κοινωνική πραγματικότητα αυτή που ταιριάζει στη μέθοδο και τη φάση διαχείρισης στην οποία ειδικεύεται. Ετσι οι προγραμματιστές (planners) οραματίζονται και πιέζουν για την κοινωνία της απόλυτης πρόληψης, οι διαχειριστές έκτακτων κρίσεων ένα “ανυπέρβλητο” μηχανισμό λήψης αποφάσεων που αξιοποιεί την τελευταία λέξη της υπολογιστικής τεχνολογίας και οι ασφαλιστές μια κοινωνία που σπεύδει συλλληβδην να ασφαλιστεί έναντι των κινδύνων. Ωστόσο, είναι σοβαρό ενδεχόμενο οι μη ειδικοί πολίτες να έχουν ευρύτερη αντίληψη για τους κινδύνους («να βλέπουν» δηλαδή με συγκριτική και ιεραρχική θεώρηση πολλούς κινδύνους ταυτόχρονα), αντίληψη διαφορετική από εκείνη των επιστημόνων, ποιοτική και σύνθετη, που ενσωματώνει την αβεβαιότητα, τη δυνατότητα ελέγχου των πολλών αυτών κινδύνων αλλά και το μέρος τους που αφορά στις μελλοντικές γενιές.

Ας παρακολουθήσουμε τους συλλογισμούς ενός τεχνικού επιστήμονα ή ενός διοικητικού υπεύθυνου στον τομέα της διαχείρισης φυσικών κινδύνων. Αν δεν υπάρχουν αξιόπιστες προβλέψεις η ορθολογική δράση του περιορίζεται σε ακραίες, ακριβές και ριζικές λύσεις, όπως είναι η καθολική απαγόρευση της ανάπτυξης πλημμυροπαθών περιοχών ή η μετεγκατάσταση οικισμών από σεισμοπαθείς περιοχές, ή τέλος λύσεις απόλυτης προσαρμοστικότητας (πχ. εξαιρετικά αντισεισμικές κτιριακές κατασκευές). Αυτές οι λύσεις δεν είναι βέλτιστες καθώς η καθολική απαγόρευση ανάπτυξης συνδέεται με ψηλά κόστη ευκαιρίας και η απόλυτη προσαρμοστικότητα οδηγεί σε υπερπροστασία.

Προκειμένου λοιπόν να επιτύχουν εξισορρόπηση του κόστους προστασίας με το αναμενόμενο κόστος ζημιών, οι διοικητικοί αρμόδιοι και οι τεχνικοί επιστήμονες χρειάζονται εκτιμήσεις κινδύνου δηλαδή υπολογισμό των πιθανοτήτων που αφορούν σε συγκεκριμένους τύπους απωλειών. Όταν έχει πλέον προσδιοριστεί αυτή η κατανομή πιθανοτήτων, η βέλτιστη προστασία κατά τους τεχνικούς επιστήμονες επιτυγχάνεται όταν εξισώνονται τα κόστη επένδυσης για κάποιο σύστημα προστασίας με τα κόστη αποζημιώσεων των απωλειών πολλαπλασιασμένα με τις πιθανότητες εκδήλωσής τους. Ετσι για παράδειγμα, το μέγεθος πλημμύρας που συμβαίνει μια φορά στα 100 χρόνια μπορεί να χρησιμοποιείται ως το «κατώφλι» μεταξύ αποδεκτού και μη αποδεκτού πλημμυρικού κινδύνου για την επένδυση σε ένα σύστημα προστασίας. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν συμβαίνουν μεγαλύτερες πλημμύρες από αυτές που καλύπτει το σύστημα προστασίας, σημαίνει απλά ότι είναι τόσο σπάνιες που το απαιτούμενο κόστος προστασίας σήμερα ξεπερνάει το κόστος αποζημίωσης των βλαβών όταν αυτές συμβούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η μέθοδος προσδιορισμού του «αποδεκτού κινδύνου» αξιοποιείται επίσης και για τις επιλογές μεταξύ συστημάτων προστασίας. Για παράδειγμα, μια περιφέρεια μπορεί να αποφασίσει την ενίσχυσή της σε νοσοκομειακά κρεβάτια, τόσα που να καλύπτουν τις ανάγκες του σεισμόπληκτου πληθυσμού από πολύ σπάνιους και δυνατούς σεισμούς, αντί να επιβάλλει την εφαρμογή ενός εξαιρετικά δαπανηρού αντισεισμικού κανονισμού για την απόλυτη θωράκιση των κατασκευών έναντι δονήσεων που μπορεί να μη συμβούν κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής αυτών των κατασκευών (Jaeger et al., 2006).

Από την άλλη πλευρά, ο κάθε πολίτης, ή ευρύτερα η κάθε κοινωνική ομάδα είναι αντιμέτωπη όχι με ένα κίνδυνο αλλά με ολόκληρο «χαρτοφυλάκιο» κινδύνων, όπου μάλιστα κάποιοι από αυτούς τους είναι εκούσιοι. Αν πιστέψουμε τους ισχυρισμούς των Giddens (1991, 1994, 1998, 1999) και Beck (1992), καθώς ζούμε στην Κοινωνία του Κινδύνου του ύστερου μοντερνισμού οι κίνδυνοι και οι ευκαιρίες είναι συνέχεια μπροστά μας και έχουμε αναπτύξει μια κουλτούρα και μια καθημερινή συμπεριφορά ατομικού σχεδιασμού και συγκριτικής αξιολόγησης κινδύνων αλλά και ευκαιριών. Στην εποχή της εξατομίκευσης οι κίνδυνοι βρίθουν. Με την κατάρρευση πολλών παραδοσιακών βεβαιοτήτων που στηρίζονταν σε κοινωνικές δομές και θεσμούς σχετικές/ους με την κοινωνική τάξη, το φύλο, την ηλικία κλπ, παράγεται μια πληθώρα νέων κινδύνων (πχ. ανεργία και υποαπασχόληση, κατάρρευση της πυρηνικής οικογένειας και αστάθεια έγγαμου βίου, κίνδυνοι κοινωνικού αποκλεισμού και περιθωριοποίησης, πτώχευσης και υπερχρέωσης, κίνδυνοι της υγείας, των εργατικών ατυχημάτων, της μετανάστευσης κοκ). Όλα αυτά σημαίνουν ότι για τις διάφορες κοινωνικές ομάδες τα μη αποδεκτά επίπεδα φυσικών και περιβαλλοντικών κινδύνων μπορεί να είναι πολύ διαφορετικά από εκείνα της Πολιτείας, επειδή απλούστατα εκείνοι με τις περιορισμένες οικονομικές και άλλες δυνατότητες πρέπει να οχυρωθούν έναντι πολλών κινδύνων που δεν είναι μόνο φυσικοί και περιβαλλοντικοί αλλά επίσης κοινωνικοί, οικονομικοί, υγείας κλπ, με διαφορετικό χρονικό ορίζοντα και πιθανότητα εκδήλωσης ο καθένας. Μπορεί η Πολιτεία και η επιστήμη να μην ονοματίζουν τα αρνητικά μελλοντικά ενδεχόμενα στις ατομικές και συλλογικές βιογραφίες ως κινδύνους, στην πραγματική όμως ζωή η προστασία των ατομικών και συλλογικών υποκειμένων από αυτά τα ενδεχόμενα μπαίνει στην ίδια ζυγαριά με την προστασία από τους φυσικούς και περιβαλλοντικούς κινδύνους.

Ίσως να έγινε φανερό από όλα όσα προηγήθηκαν ότι η παλαιάς καταγωγής ορολογία στο γνωστικό πεδίο των φυσικών και περιβαλλοντικών κινδύνων προδίδει τις σημερινές ανάγκες διαχείρισης κινδύνων. Δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες επικοινωνίας μεταξύ των ειδικών για τους κινδύνους, δεν ανταποκρίνεται επίσης στις ανάγκες συνεννόησης επιστημόνων από τη μια και διοικητικών στελεχών από την άλλη και ούτε των παραπάνω κοινοτήτων με το ευρύ κοινό. Αυτή η «Βαβέλ» έχει τις παρακάτω αφετηρίες:

- Η ορολογία κάθε επιστημονικού κλάδου αντανακλά μεταξύ άλλων και τη «φιλοσοφία» που κυριαρχεί στο δεδομένο κλάδο (Λέκκα, 2004). Όπως όμως είναι γνωστό οι «φιλοσοφίες» και τα «επιστημονικά παραδείγματα» των χωριστών κλάδων διαφέρουν, συμβαίνουν μάλιστα μεταβολές και μέσα στον ίδιο επιστημονικό κλάδο από εποχή σε εποχή. Κατά συνέπεια μπορεί ο όρος «τρωτότητα» να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από τεχνολόγους και κοινωνιολόγους, υποδηλώνει όμως διαφορετικές έννοιες και οντότητες σε κάθε περίπτωση και γι' αυτό αποκτά πολυσημία και διαφορούμενο περιεχόμενο.
- Αρκετοί όροι του γνωστικού πεδίου της διαχείρισης κινδύνων χρησιμοποιούνται επίσης ευρύτατα στην κοινή καθημερινή γλώσσα. Όμως οι σημασίες και οι έννοιες που υποδηλώνονται στις δύο αυτές χρήσεις δεν συμπίπτουν και δεν είναι καθόλου βέβαιο ότι η επιστημονική χρήση αυτών των όρων αποδίδει έννοιες πιο γενικές ή με μεγαλύτερο βάθος και πλάτος από ότι η κοινή καθημερινή τους χρήση. Μπορεί να ισχύει και το αντίστροφο. Επί πλέον ισχύει ότι οι όροι στον κόσμο της δράσης και της πολιτικής έχουν ενεργοποιητικό / πρακτικό περιεχόμενο ενώ στον κόσμο της επιστήμης θεωρητικό / ερμηνευτικό.
- Επιχειρείται συχνά η χρήση της παλιάς ορολογίας για νέα φαινόμενα. Όμως οι όροι σηματοδοτούν νοητικές κατασκευές που με τη σειρά τους προκύπτουν από υπαρκτά φαινόμενα/ερεθίσματα. Όταν τα τελευταία αλλάξουν αλλάζουν και οι νοητικές κατασκευές για την πρόσληψη τους, άρα οι παλιοί όροι χάνουν την αξία τους.
- Η ελληνική ορολογία προκύπτει σε μεγάλο βαθμό από μεταφραστικές αποδόσεις της αγγλικής ορολογίας. Όμως οι γλωσσικές δυνατότητες για σηματοδότηση εννοιολογικών ταξινομήσεων ή διαφοροποιήσεων αλλάζουν από γλώσσα σε γλώσσα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι όροι "risk" και "danger" όπου ο πρώτος έχει την έννοια αβέβαιου

ενδεχόμενου καλού ή κακού για τον εκτεθειμένο, ενώ ο δεύτερος οπωσδήποτε κακού και ανεξέλεγκτου από τον εκτεθειμένο. Ελληνικές αντίστοιχες λέξεις που να αποδίδουν αυτή την αντιδιαστολή δεν μπορούν να βρεθούν, εκτός αν χρησιμοποιηθεί ο όρος «ρίσκο» που δεν είναι ελληνικός.

- Τέλος ο σχεδιασμός της διαχείρισης κινδύνων είναι μια διαδικασία που αναλαμβάνεται τόσο στο χώρο της επιστήμης όσο και σε αυτόν της κοινωνίας με διαφορετικά όμως σε κάθε περίπτωση υποκείμενα, πρότυπα και παραδοχές. Ετσι «το κατώφλι» ανάμεσα στο αποδεκτό και μη επίπεδο πλημμυρικού κινδύνου, από την επιστημονική οπτική γωνία, μπορεί να ορίζεται από το στατιστικά διαπιστωμένο μέγεθος πλημμύρας με επίπεδο επανάληψης τα 100 έτη. Τα νοικοκυριά όμως αποφασίζουν σε ατομική βάση για το δικό τους μη αποδεκτό επίπεδο πλημμυρικού κινδύνου με κριτήριο τα οικονομικά και άλλα μέσα που τους απομένουν αφού προηγουμένως έχουν δαπανήσει (ή προβλέψει τις αναγκαίες δαπάνες) για την προστασία τους από τους άλλους σημαντικότερους γι' αυτούς οικονομικούς ή άλλους κινδύνους που τους απειλούν (και ίσως με την υπόθεση ότι το αποδεκτό επίπεδο πλημμυρικού κινδύνου που απομένει θα καλυφθεί από την Πολιτεία). Αρα, το «αποδεκτό» επίπεδο κινδύνου παρουσιάζει ρευστότητα και διακυμάνσεις.

Πώς λοιπόν παρακάμπτονται τα πολλαπλά αδιέξοδα της ανεπίκαιρης σήμερα και ξεπερασμένης ορολογίας; Μήπως υπάρχει ανάγκη ενός συνθετικού, μετα-επιστημονικού πεδίου πολύ-κινδυνικής διαχείρισης που δεν εξυπηρετείται από το άθροισμα της ορολογίας των σημερινών επιστημονικών «τεμαχίων»; Μήπως χρειάζονται νέοι όροι-γέφυρες για σφαιρικές δια-κινδυνικές και πολύ-παραγοντικές θεωρήσεις; Καθώς μάλιστα η διαχείριση κινδύνων είναι ένας χώρος συνάντησης της επιστήμης με την κοινωνία και την πολιτική, μήπως θα πρέπει αυτοί οι νέοι μετα-επιστημονικοί όροι να αποκρυπτογραφούν και όχι να συγκαλύπτουν τις επιστημονικές φαλκιδεύσεις των πολιτικών αποφάσεων και τις λανθάνουσες πολιτικές παραδοχές των επιστημονικών συμβουλών; Πράγματι οι βιβλιογραφικές επισημάνσεις συνηγορούν για ένα νέο πεδίο μακριά από το μοντέλο της περιχαρακωμένης επιστήμης αλλά και εκείνο της αγνωστικιστικής πολιτικής που οφείλει να δεισδύσει στην ορολογία της κοινωνικής πρακτικής στη διαχείριση των κινδύνων και να την φέρει σε αντιπαράθεση με τις μονο-επιστημονικές ή μονο-κινδυνικές ερευνητικές και ακαδημαϊκές πρακτικές. Τα ζητούμενα από αυτή την όσμωση είναι: (α) Η κοινωνική γνώση να «ποτίσει» και να εμπλουτίσει την επιστημονική γνώση, (β) οι πολιτικές παραδοχές των επιστημονικών λύσεων να επιστρέψουν στη φυσική τους κοίτη και να κριθούν από τα πολιτικο-κοινωνικά υποκείμενα, (γ) να λυθούν τα αδιέξοδα του επιστημονικού πατριωτισμού και της εσωστρέφειας των «επιστημονικών φέουδων» και (δ) να ικανοποιηθεί το αίτημα για πληροφορημένες διαχειριστικές αποφάσεις των νοικοκυριών, των κοινωνικών ομάδων, των κοινοτήτων. Αν δεν εξέλθουμε από τον κατακερματισμένο κόσμο της ειδικευσης και της μονο-γλωσσικότητας θα εξακολουθήσουμε να βιώνουμε ένα αίσθημα άγνοιας και αδυναμίας που υποβάλλεται από τη «Βαβέλ» που μας περιβάλλει.

## Βιβλιογραφία

- Beck U. (1992). *Risk Society: Towards a New Modernity*. Sage, London.
- Giddens A. (1991). *Modernity and Self-Identity*. Polity Press, Cambridge.
- Giddens A. (1994). Living in a post-traditional society. In Beck, U., Giddens, A. and Lash, S. *Reflexive Modernization: Politics, Tradition and Aesthetics in the Modern Social Order*. Polity Press, Cambridge, pp. 56-109.
- Giddens A. (1998). Risk society: the context of British Politics. In Franklin, J. (ed.) *The Politics of Risk Society*, Cambridge, Polity Press, pp. 23-34.
- Giddens A., (1999). The Reith Lectures: Risk [BBC News Online]. Available: [http://news.bbc.co.uk/reith\\_99](http://news.bbc.co.uk/reith_99)

Jaeger C., Renn, O., Rosa, E. & Webler, Th. (2006). Risk, Uncertainty, and Rational Action, Second edition. London, Earthscan.

Λέκκα Β. (2004). Επιστημονικός Λόγος: Η Επικοινωνιακή Διάσταση. Στο βιβλίο των Κατσογιάννου, Μ. και Ευθυμίου, Ε. (επιμ.) Ελληνική Ορολογία: Έρευνα και Εφαρμογές. Εκδόσεις Καστανιώτη ΑΕ, Αθήνα.

Σαπουντζάκη Κ. (2006). Η Θεωρητική Στροφή από τη Διαχείριση στη Διακυβέρνηση των Κινδύνων και το Ελληνικό Παράδειγμα Πολιτικής Αντισεισμικής Προστασίας. Παρουσίαση στο Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο Πόλεις της Μεσογείου μετά από Σεισμούς – 50 χρόνια από τους καταστρεπτικούς σεισμούς στη Θεσσαλία, Βόλος, 12-14 Μαΐου 2006.

## **ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΘΕΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΣΕΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ**

Συνοδινού Β., Νιβολιανίτου Ζ.

*ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», Ινστιτούτο Πυρηνικής Τεχνολογία-Ακτινοπροστασίας*

### **Περίληψη**

Η προστασία της ζωής, της υγείας και της περιουσίας των πολιτών από οποιοδήποτε είδος φυσικών ή άλλων καταστροφών, σε ειρηνική περίοδο, είναι κυρίαρχο μέλημα της Πολιτικής Προστασίας σε κάθε χώρα. Η Πολιτική Προστασία ασκείται σε μεγάλο βαθμό με τις κρατικές δυνάμεις. Ωστόσο, οι εθελοντικές οργανώσεις, που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό, διεκδικούν, ολοένα και διευρυνόμενη συμμετοχή στην πρόληψη και αντιμετώπιση οποιοδήποτε είδους εκτάκτων καταστάσεων, μικρού ή μεγάλου εύρους, από τροχαία ατυχήματα ως σεισμούς, φωτιές και πλημμύρες. Η συμμετοχή αυτή και η παροχή βοήθειας στους πληγέντες μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζονται οι παράμετροι που έχουν σημασία στην αντιμετώπιση καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης. Οι παράμετροι αυτές προσδιορίστηκαν κατόπιν συνεντεύξεων, που λήφθηκαν από εθελοντικές οργανώσεις πολιτικής προστασίας στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος Pre-Emergencies. Σκοπός του προγράμματος είναι η παραγωγή ενός υπολογιστικού κώδικα/προσομειωτή για την υποβοήθηση της ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου μοντέλου διαχείρισης εκτάκτου ανάγκης που οφείλεται σε φυσικές καταστροφές ή σε ανθρωπογενείς δράσεις.

Εξετάζονται, επίσης τα κυριότερα προβλήματα, που οι οργανώσεις αντιμετωπίζουν κατά την επέμβαση τους, με γνώμονα τη βελτίωση της προσφοράς τους στο κοινωνικό σύνολο.

### **PARTICIPATION OF CIVIL PROTECTION VOLUNTARY ORGANIZATIONS TO THE PREVENTION AND TREATMENT OF EMERGENCY SITUATIONS**

Synodinou B., Nivolianitou Z.

*Nuclear Research Centre "Demokritos", Institute of Nuclear Technology and Radiation Protection*

### **Abstract**

Peoples' life, health and property protection against any type of natural or other catastrophes, on peace time, is the prevalent care of the Civil Protection of any country. Civil Protection is by great degree practiced by state authorities. However, the voluntary organizations, acting in this sector, assert an increasingly broaden participation in the prevention and treatment of any type emergencies, big or small, from car accidents to earthquakes, fires and floods. This participation and assistance offered to injured people could be particularly substantial.

In the present work the important parameters for emergency situations treatment are considered. These parameters have been identified from interviews, taken by civil protection voluntary organizations in the frame of the European Program Pre-Emergencies. The aim of the program is the preparation of a computer code/simulator used to support an integrated administration emergency model. The emergency situations are due to natural catastrophes or human actions.

The main problems that the organizations encounter during their interventions are

discussed, so as to improve their services to the society.

**Λέξεις κλειδιά:** εθελοντικές οργανώσεις, έκτακτη ανάγκη, φυσικές καταστροφές.

**Key words:** voluntary organizations, emergency, natural catastrophes.

## 1. Εισαγωγή

Ανέκαθεν, σε περιπτώσεις ατυχημάτων ή φυσικών καταστροφών, οι τοπικές κοινωνίες, αντιδρούσαν βοηθώντας συλλογικά τα μέλη τους να σώσουν τη ζωή, την περιουσία ή το κοινό φυσικό περιβάλλον τους.

Με την πάροδο των ετών δημιουργήθηκαν εθελοντικές οργανώσεις με σκοπό αρχικά να βοηθήσουν τα θύματα πολεμικών συρράξεων και κατόπιν, χρησιμοποιώντας την εμπειρία τους, τους πληγέντες από μεγάλες φυσικές καταστροφές. Ιδιαίτερα, τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον και η ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με θέματα που άπτονται της διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος και της αλληλεγγύης μεταξύ των μελών της κοινωνίας. Σύν τω χρόνω, οι ενδιαφερόμενοι συνειδητοποίησαν ότι όσο πιο προγραμματισμένη, οργανωμένη, ίσως και εξειδικευμένη είναι η βοήθεια, τόσο καλύτερα αποτελέσματα έχει. Έτσι, στο εξωτερικό και στην Ελλάδα, πλήθυναν οι οργανωμένες, εκπαιδευμένες εθελοντικές οργανώσεις πολιτικής προστασίας με σκοπό την πρόληψη, τη δράση για την αντιμετώπιση ατυχημάτων ή φυσικών και άλλων καταστροφών, την παροχή βοήθειας στα θύματα και τέλος την αποκατάσταση. Δρουν συμπληρωματικά, υποβοηθώντας τις κρατικές υπηρεσίες στο έργο τους. Και στην Ελλάδα αρκετές από αυτές έχουν αποκτήσει γνώσεις, μεγάλη εμπειρία, υποδομές, εξοπλισμό, φροντίζουν για την εκπαίδευση των μελών τους σε επαγγελματικό επίπεδο και για την ενημέρωση του πληθυσμού. Λαμβάνοντας υπ' όψη τη διάθεση για προσφορά στο συνάνθρωπο, με την οποία εμφορούνται τα μέλη των οργανώσεων αυτών, αντιλαμβανόμαστε το μέγεθος της υποστήριξης που μπορεί να παρέχουν σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Στην Ελλάδα, από το 2001, με τη δημιουργία Μητρώου Εθελοντικών Οργανώσεων Πολιτικής Προστασίας, αρκετές από αυτές τις εθελοντικές οργανώσεις ευρίσκονται υπό την αιγίδα της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ). Οι οργανώσεις αυτές καλούνται από την Πολιτική Προστασία να προσφέρουν αρωγή, πολλές φορές εξειδικευμένες υπηρεσίες, σε έκτακτα περιστατικά ή εκτεταμένες φυσικές καταστροφές. Τον Ιούνιο 2007 οι οργανώσεις αυτές ανέρχονταν σε 189. Μέρος των οργανώσεων του μητρώου έχει λάβει οικονομικές ενισχύσεις για την αγορά εξοπλισμού.

Ο Νόμος 3013/2002 «Περί αναβάθμισης Πολιτικής Προστασίας» διέπει τις οργανώσεις του Μητρώου, προσδιορίζει τις προϋποθέσεις, τα ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια για την ένταξη στο Μητρώο, τη διαδικασία ένταξής τους στα Συντονιστικά Νομαρχιακά Όργανα (ΣΝΟ) και τη δραστηριοποίησή τους στο πλαίσιο των οργάνων αυτών.

Λόγω του αυξανόμενου αριθμού των εθελοντικών οργανώσεων στον τομέα Πολιτικής Προστασίας γίνεται, διεθνώς, προσπάθεια αξιολόγησης και βέλτιστης αξιοποίησης των οργανώσεων αυτών. Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Pre-Emergencies σκοπό έχει τη δημιουργία ενός υπολογιστικού κώδικα-προσομοιωτή που θα αξιολογεί την επιτυχία μιας επέμβασης σε μια επαπειλούμενη φυσική καταστροφή. Η αξιολόγηση αυτή στηρίζεται στον εντοπισμό μιας σειράς παραμέτρων που θα εισάγονται στον κώδικα και είναι οι κυριότερες παράμετροι, που κάνουν μια οργάνωση να έχει την επιθυμητή ανταπόκριση σε μια κινητοποίηση, έτσι ώστε η αντιμετώπιση του περιστατικού να θεωρηθεί επιτυχής.

Στην παρούσα εργασία, θα μελετήσουμε τη συμμετοχή των οργανώσεων, προσδιορίζοντας τις σημαντικές παραμέτρους που επιδρούν στο αποτέλεσμα της επέμβασης των οργανώσεων αυτών. Οι παράμετροι αυτές αφορούν: τον τύπο της οργάνωσης, τους παράγοντες που επιδρούν στην ανταπόκριση της οργάνωσης στα διάφορα συμβάντα, τον

τρόπο αντιμετώπισης των περιστατικών. Θα γίνει προσπάθεια να εντοπισθούν οι αιτίες μερικής ή ολικής αποτυχίας στην επέμβαση, οι κρίσιμες στιγμές στην εξέλιξη ενός συμβάντος και τα δυνατά σημεία στη διαχείριση των περιστατικών. Τέλος θα συζητηθούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι οργανώσεις κατά τη διαχείριση περιστατικών.

## 2. Παράμετροι

Οι παράμετροι προσδιορίστηκαν βάσει συνεντεύξεων. Δεν στάθηκε δυνατόν να λάβουμε συνεντεύξεις από το σύνολο των οργανώσεων του Μητρώου και πολύ περισσότερο από όλες τις οργανώσεις που ασχολούνται με ζητήματα πολιτικής προστασίας. Προσπαθήσαμε να έχουμε συνεντεύξεις από οργανώσεις αντιπροσωπευτικές του συνόλου των ελληνικών οργανώσεων. Λάβαμε, επίσης συνεντεύξεις από κρατικούς φορείς για να έχουμε όσο το δυνατό πληρέστερη εικόνα της οπτικής με την οποία βλέπουν το αντικείμενο οι Υπηρεσίες και οι εθελοντικές οργανώσεις. Οι συνεντεύξεις καλύπτουν περίπου το 15% του συνόλου των οργανώσεων του Μητρώου και παραχωρήθηκαν από άτομα έμπειρα, υψηλά στην ιεραρχία των οργανώσεων, με άμεση και σφαιρική γνώση της λειτουργίας των οργανώσεων και των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν.

Οι παράμετροι αυτές είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες:

- α) τύπος και ρόλος της οργάνωσης.
- β) παράγοντες που επιδρούν στην ανταπόκριση.
- γ) τρόπος δράσης της οργάνωσης.

### 2.1. Τύπος και ρόλος της οργάνωσης

Μελετώνται ο τύπος της οργάνωσης, ο αριθμός και το επάγγελμα των μελών, οι υπηρεσίες που προσφέρει η οργάνωση, οι δραστηριότητες σε κανονικές και εκτάκτου ανάγκης συνθήκες.

Άλλες από τις οργανώσεις είναι τοπικής, άλλες εθνικής (με παραρτήματα) και ορισμένες διεθνούς εμβέλειας και εμπειρίας. Ο αριθμός τους ποικίλει ανά γεωγραφική περιφέρεια. Αρκετές οργανώσεις είναι αμιγώς εθελοντικές, λίγες εργάζονται με τους κρατικούς φορείς και άλλες είναι συνδεδεμένες με τους δήμους, αποτελώντας κατά κάποιο τρόπο παραρτήματα των δήμων, από τους οποίους λαμβάνουν προσωπικό και μέσα.

Λόγω των συχνών πυρκαϊών στη χώρα μας, ένα μεγάλο μέρος των εθελοντικών οργανώσεων εργάζονται στην πρόληψη, την αποτροπή και την κατάσβεση πυρκαϊών. Συχνά ασχολούνται και με άλλες δράσεις όπως: αντιμετώπιση συνεπειών σεισμών, πλημμυρών ή ατυχημάτων. Αρκετές είναι οι ομάδες που κάνουν διάσωση και μάλιστα εξειδικευμένα σε ορεινές και δύσβατες περιοχές, σπήλαια, ποταμούς, θάλασσα κλπ. Άλλες προσφέρουν ιατρονοσηλευτική περίθαλψη. Οι περισσότερες διαθέτουν τμήμα Πρώτων Βοηθειών με ειδικευμένα μέλη. Κάποιες οργανώσεις προσφέρουν μέριμνα και διοικητική υποστήριξη των άλλων οργανώσεων που δρουν στο χώρο των περιστατικών.

Στις οργανώσεις που προσεγγίσαμε περιλαμβάνονται οι μεγάλες, όπως ο Ερυθρός Σταυρός (ΕΣ) με τα τρία του τμήματα και το Εθελοντικό Σώμα Ελλήνων Πυροσβεστών Αναδασωτών (ΕΣΕΠΑ), με σταθερό προσωπικό, πολλές χιλιάδες εθελοντών και πολλά παραρτήματα, οι μεσαίες όπως ο Όμιλος Φίλων του Δάσους (120 άτομα), και οι μικρές όπως η Λέσχη 4x4 Έβρου (50). Ο αριθμός των μελών, συνολικός αλλά κυρίως των ενεργών μελών, είναι σημαντικός για την κάλυψη εκτεταμένων περιστατικών λόγω δυνατότητας ύπαρξης εφεδρείας. Η εφεδρεία είναι σημαντική, γιατί όταν κουραστούν οι πρώτες ομάδες υπάρχουν άλλες ξεκούραστες, έτοιμες να αναλάβουν δράση, η εργασία δεν σταματά και οι εθελοντές δεν ωθούνται στα όριά τους, με συνέπεια μικρότερη πιθανότητα ατυχημάτων. Η εφεδρεία είναι σημαντική για όλες τις οργανώσεις, κυρίως, όμως, για εκείνες που ασχολούνται με τη δασοπυρόσβεση.

Επί πλέον οι μεγάλες οργανώσεις έχουν, συνήθως, μεγαλύτερη και πιο οργανωμένη



πρόσβαση στα ΜΜΕ, άρα περισσότερη διαφήμιση, με επακόλουθη μεγαλύτερη πιθανότητα προσέλκυσης νέων εθελοντών. Ο τελευταίος είναι ένας τομέας στον οποίο πάσχουν οι περισσότερες οργανώσεις. Ασφαλώς μεγάλο ρόλο στην προσέλκυση νέων εθελοντών παίζει ο τομέας με τον οποίο ασχολείται η οργάνωση. Οργανώσεις, όπως η Ελληνική Ομάδα Διάσωσης (ΕΟΔ), ελκύει νέα άτομα έμπειρα σε χειμερινά σπορ, στην ορειβασία, που γνωρίζουν το βουνό σε οποιεσδήποτε συνθήκες. Άλλες, που ασχολούνται με ιατρική και παραϊατρική φροντίδα ελκύνουν το ανάλογο προσωπικό.

Οι εθελοντές ανήκουν σε κάθε ομάδα της κοινωνίας. Είναι ελευθεροεπαγγελματίες, φοιτητές, δημόσιοι υπάλληλοι, συνταξιούχοι. Εκείνο που ωθεί τον εθελοντή στο να ενταχθεί σε μια οργάνωση και να βοηθήσει συστηματικά τους συνανθρώπους του είναι η υψηλή αίσθηση κοινωνικής ευθύνης, αλtruισμού, η οικολογική τους συνείδηση και, συχνά, η ενασχόλησή τους, κατά τον ελεύθερο χρόνο τους με ορισμένους τομείς ασυνήθιστους για τον πολύ κόσμο, πράγμα που τους κάνει πολύτιμους, με ιδιαίτερες γνώσεις. Π.χ. οι ορειβάτες που αναφέραμε πριν, οι ραδιοερασιτέχνες, οι οποίοι, με τις Ομάδες Εκτάκτου Ανάγκης Ελλήνων Ραδιοερασιτεχνών (ΟΕΑΕΡ), σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης συμπληρώνουν ή και υποκαθιστούν τη λειτουργία των τηλεφωνικών δικτύων που μπορεί να έχουν καταρεύσει, οι σύλλογοι κυνηγών και ψαράδων, που γνωρίζουν βουνά και ποτάμια, τα αγαπούν, τα προφυλάσσουν και είναι σε θέση να βοηθήσουν σε καταστάσεις θεομηνιών ή ανευρέσεων προσώπων, γιατί γνωρίζουν τον τόπο τους σπιθαμή προς σπιθαμή.

Σε κανονικές συνθήκες, συνήθως, γίνονται εκπαιδεύσεις, συντήρηση εξοπλισμού, ενημέρωση και παρακολούθηση εθνικών και διεθνών συνθηκών και νέου εξοπλισμού. Οι οργανώσεις που ως υπηρεσία τους έχουν των πρόληψη φροντίζουν ανάλογα, π.χ. βάρδια στα πυροφυλάκεια.

Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης οι οργανώσεις κινητοποιούνται και συνδράμουν την Πολιτεία ανάλογα με το καταστατικό, την εμπειρία και τα μέσα τους.

## 2.2. Παράγοντες που επιδρούν στην ανταπόκριση της οργάνωσης

Οι παράγοντες αυτοί αφορούν την εμπειρία και την εκπαίδευση, τον εξοπλισμό και την επικοινωνία και την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα. Αυτός ο τελευταίος μπορεί να είναι σχετικός:

- με την αποστολή: σχεδιασμό διαδικασιών, τήρηση πλάνων, πολλαπλές αρμοδιότητες,
- με εξατομικευμένους ανθρώπινους παράγοντες: απόδοση, κούραση, άγχος, φόβος, αντίληψη, μνήμη κ.ά.,
- με διαπροσωπικούς και ομαδικούς παράγοντες: επαγγελματισμό, οργανωτικότητα, έλεγχο και εποπτεία της διαδικασίας.
- γνώσεις σχετικές με τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των θυμάτων.

### 2.2.1. Εμπειρία και εκπαίδευση

Οι οργανώσεις ασφαλώς περιλαμβάνουν έμπειρα και μη άτομα. Στις ομάδες αντιμετώπισης περιστατικών οι περισσότεροι είναι άτομα με πολυετή εμπειρία. Τα νέα μέλη, με τη βασική εκπαίδευση, διεκπεραιώνουν βοηθητικές εργασίες. Οι συντονιστές της ομάδας είναι οι πλέον έμπειροι και με γνώση των τοπικών συνθηκών.

Η εκπαίδευση είναι βασικό μέλημα των οργανώσεων και πάγιο αίτημά τους είναι η πιστοποίησή της. Αν και η πολιτεία δεν έχει θέσει ακόμα επίσημα στάνταρ για την εκπαίδευση των μελών των οργανώσεων, οι περισσότερες οργανώσεις ακολουθούν στην εκπαίδευσή τους διεθνείς κανονισμούς και πρότυπα.

Η αρχική εκπαίδευση περιλαμβάνει θεωρητικά και πρακτικά μαθήματα που καλύπτουν

ευρύ φάσμα θεμάτων: μελέτη κανονισμών και πλάνων δράσης, χρήση εξοπλισμού, πρώτες βοήθειες, ψυχολογική στήριξη θυμάτων, πρακτική εξάσκηση κλπ. Διαρκούν πολλές δεκάδες ώρες. Περιοδικά γίνονται ασκήσεις ώστε τα μέλη να είναι πάντα ετοιμοπόλεμα.

Με τις ασκήσεις οι εθελοντές ανανεώνουν την εμπειρία τους, μαθαίνουν να ελέγχουν και να καταπολεμούν αισθήματα όπως ο φόβος, ασκούνται στην ομαδική εργασία και στην πειθαρχία, υπακούοντας στις εντολές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα νέα μέλη που χρειάζεται να τιθασεύσουν τη φυσική τους ορμή. Σε περίπτωση ανυπακοής, π.χ. στη δασοπυρόσβεση, ο εθελοντής είναι δυνατό να αποκοπεί από την υπόλοιπη ομάδα, να κινδυνεύσει, ακόμα και να χάσει τη ζωή του. Το λιγότερο θα καθυστερήσει τη δράση της υπόλοιπης ομάδας που θα τρέξει να τον εντοπίσει και συνδράμει. Έτσι το πρώτο ζητούμενο από τις εθελοντικές ομάδες είναι η διαφύλαξη της ζωής και της ακεραιότητας των μελών και δεύτερον η πειθαρχία στους κανονισμούς ασφαλείας και στις εντολές.

Εξάσκηση γίνεται, επίσης, με την άφιξη νέων εργαλείων ή εφαρμογή νέων μεθόδων.

### 2.2.2. Εξοπλισμός και Επικοινωνία

Ο εξοπλισμός είναι ανάλογος με το είδος υπηρεσιών τις οποίες προσφέρει η οργάνωση. Οι ασχολούμενες με τη δασοπυρόσβεση και τις πλημμύρες έχουν πλήρη εξοπλισμό για αντιμετώπιση πυρκαϊών, αντλίες κλπ. Για επέμβαση στο δάσος χρειάζονται πυρίμαχες στολές που λίγες ομάδες διαθέτουν. Για ορεινές διασώσεις διαθέτουν ειδικά οχήματα και αναρριχητικό εξοπλισμό.

Συνήθως τα μέλη διαθέτουν τον ατομικό τους εξοπλισμό. Οι οργανώσεις που συνεργάζονται ή ανήκουν στους δήμους κάνουν χρήση υδροφόρων και βυτίων που ανήκουν στους δήμους. Στον εξοπλισμό ανήκουν επίσης τα κινητά τηλέφωνα, οι ασύρματοι, υπολογιστές και φαξ.

Ο τρόπος επικοινωνίας και ιδιαίτερα ο τρόπος γνωστοποίησης του περιστατικού, μπορεί να είναι σημαντικός για το χρόνο κινητοποίησης. Η επικοινωνία μεταξύ των μελών γίνεται με προσωπική επαφή, σταθερά και κινητά τηλέφωνα, διαδίκτυο, ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών VHF, σπανίως TETRA. Το τελευταίο χρησιμοποιείται από την Πυροσβεστική Υπηρεσία (Π.Υ.) και μόνο σε περιπτώσεις δασοπυρόσβεσης χορηγείται σε ορισμένες ομάδες.

Τα ΜΜΕ μπορούν να λειτουργήσουν τόσο θετικά, όσο και αρνητικά στην έκβαση της κρίσης, των χειρισμών και της εικόνας που παρουσιάζεται, σε συνδυασμό με την πίεση που ασκούν προς τα όργανα που λαμβάνουν τις αποφάσεις.

Η επικοινωνία με τον πληθυσμό γίνεται με οπτικά και ακουστικά μέσα. Γενικά, οι εθελοντές εντοπίζονται εύκολα. Φορούν ειδικές στολές, τα οχήματά τους έχουν εμβλήματα, χρησιμοποιούν τηλεβέες, σειρήνες κλπ.

Όταν οι οργανώσεις δρουν στο εξωτερικό, αλλά και σε περιοχές συνόρων, όπως στον Έβρο, η έλλειψη γνώσης αγγλικών καθιστά πολλές φορές δυσχερή την επικοινωνία.

### 2.2.3. Ανθρώπινοι παράγοντες

Παρά όλη την εμπειρία και εκπαίδευση πολλοί άνθρωποι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τους εθελοντές κατά τη διάρκεια της δράσης. Αυτοί μπορεί να είναι **παράγοντες σχετικοί με την αποστολή** τους όπως: ο σχεδιασμός των διαδικασιών και των πλάνων που θα πρέπει να ακολουθηθούν, η μη συμμόρφωση στις διαδικασίες, τυχόν πολλαπλές αρμοδιότητες που θα μπορούσαν να επιφέρουν σύγχυση και καθυστέρηση στη δράση. Γι' αυτό το λόγο, οι περισσότερες ομάδες ακολουθούν, όσο το δυνατόν πιο πιστά τους κανονισμούς ασφαλείας, τις διαδικασίες και τα πρωτόκολλα επέμβασης, διαχωρίζοντας τις αρμοδιότητες. Τα μέλη υπακούουν τον αρχηγό, λαμβάνοντας υπ' όψη τους, εν πρώτοις, την ατομική τους ασφάλεια.

Οι **εξατομικευμένοι ανθρῶπινοι παράγοντες** ή παράγοντες απόδοσης ὅπως: εμπειρία, σωματική και ψυχολογική κόπωση, ἄγχος, φόβος, ικανότητα αντίληψης του περιστατικού, μνήμη, ψυχική διάθεση, αντίδραση στην πίεση και στο ρυθμό της δουλειάς, ἄκόμα και τα κίνητρα που ὠθούν το μέλος να γίνει εθελοντής μπορεί να είναι πολύ σημαντικοί .

Η κούραση είναι σημαντικός παράγων ἰδιαίτερα γιατί τις πρώτες μέρες αντιμετώπισης φυσικών καταστροφῶν οι εθελοντές, συνήθως, υπερβαίνουν εαυτὸν και είναι δυνατό να εργάζονται ασταμάτητα για εικοσιτετράωρα. Σε μεγάλες καταστροφές, ὁπότε και καλούνται συνήθως ἀπὸ την Πολιτεία οι εθελοντικές οργανώσεις, οι εφεδρείες ποτέ δεν επαρκούν και η κούραση μπορεί να γίνει ἕνας επικίνδυνος εχθρὸς των εθελοντῶν, που μπορεί να τους οδηγήσει σε λάθος εκτίμηση των καταστάσεων ή των δυνατοτήτων τους.

Σε περιπτώσεις μακροχρόνιας δράσης (μήνες σε περιπτώσεις στήριξης καταυλισμῶν προσφύγων ή σεισμοπαθῶν) τα μέλη μπορεί να κουραστούν ψυχολογικά. Οργανώσεις που ἔχουν ως μέλημα την πρόνοια φροντίζουν και για την ψυχολογική υποστήριξη ἄκόμα και για τη διασκέδαση των μελῶν, μόλις περάσουν οι πρώτες μέρες εντατικής δουλειάς και τα πράγματα μπουν σε κάποιο δρόμο. Επίσης, σε περιπτώσεις που αντιμετωπίζονται ανευρέσεις θυμάτων, η ψυχολογική φόρτιση μπορεί να είναι ἰδιαίτερα ισχυρή. Γίνεται προσπάθεια εκπαίδευσης στον τομέα αυτό. Ὅπωςδήποτε, στις καταστάσεις ψυχολογικής πίεσης πρέπει να υποστηρίζονται οι εθελοντές. Επίσης, στις περιπτώσεις αυτές είναι δυνατόν να δημιουργηθῶν ἐντάσεις μεταξύ του προσωπικού.

Οι **διαπροσωπικοί και ομαδικοί παράγοντες** ὅπως: η πειθαρχία και ο επαγγελματισμός, ο αποτελεσματικός σχεδιασμός και η οργάνωση της δουλειάς, η συνεργασία και ο συντονισμός μεταξύ μελῶν της οργάνωσης και ἄλλων οργανώσεων ή φορέων, ο ἔλεγχος και η εποπτεία των διαδικασιῶν είναι ἀπὸ τους σημαντικότερους παράγοντες για μια επιτυχή ἐπέμβαση.

Οι **γνώσεις σχετικά με τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των θυμάτων** είναι σημαντικές δίνοντας ἰδιαίτερη σημασία στην ψυχολογική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα θύματα. Ἀρκετές ἀπὸ τις οργανώσεις λαμβάνουν σχετική εκπαίδευση.

### 2.3. Τρόπος δράσης

Ο τρόπος δράσης της οργάνωσης περιλαμβάνει τον τρόπο και το δίαυλο ειδοποίησης της οργάνωσης, τον τρόπο και το χρόνο κινητοποίησης, τις μεθόδους που ακολουθοῦνται και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη δράση. Σε αυτά περιλαμβάνονται ο εξοπλισμός και οι επικοινωνίες στα οποία ἔχουμε ἤδη αναφερθεί.

Σε συνθήκες ἐκτάκτου ἀνάγκης πολλές ἀπὸ τις οργανώσεις, ἰδιαίτερα σε περιπτώσεις απειλούμενης ὀλημύρας, ὅπως στο νομὸ Ἐβρο που περιοδικὰ πλήττεται ἀπὸ ἐκτεταμένες πλημμύρες ή ὅταν ἔρχονται ἔντονα καιρικά φαινόμενα, οι οργανώσεις τίθενται προληπτικά σε κατάσταση συναγερμοῦ ἀπὸ την Πολιτική Προστασία. Σε περιπτώσεις χιονοπτώσεων ἀρκετές ἀπὸ τις οργανώσεις δημιουργοῦν ομάδες επιφυλακῆς για την ἄμεση αντιμετώπιση των περιστατικῶν ἀλλὰ και για μεταφορά ασθενῶν (νεφροπαθῶν κ.ά.) στα νοσοκομεία. Επίσης κατὰ την αντιπυρική περίοδο, ἀπὸ Μάιο ως τέλος Σεπτεμβρίου οι οργανώσεις που ασχολοῦνται με τη δασοπυρόσβεση και δασοπροστασία ἔχουν μεγάλες ομάδες σε επιφυλακή.

Ἄν η ἐιδοποίηση ἔλθει ἀπὸ την Πολιτική Προστασία ή την Πυροσβεστική (μέσω τηλεφώνου και φαξ), συνήθως τα μέλη ειδοποιούνται ἀπὸ το προεδρεῖο τους αλυσιδωτὰ ή πυραμιδικὰ. Ἄν η ἐιδοποίηση ἔλθει ἀπὸ ἰδιώτες τότε, ἀφοῦ οι πληροφορίες ελεγχθοῦν κατὰ τον πληρέστερο δυνατό τρόπο, γίνεται κινητοποίηση και ταυτόχρονα επικοινωνία με τις αρμόδιες αρχές. Ἀρκετές ἀπὸ τις οργανώσεις στέλνουν πρώτα μια μικρή, ευέλικτη ομάδα η οποία διαπιστώνει και το εὔρος της βοήθειας και τα υλικά που θα χρειασθοῦν. Ακολουθοῦν, ἂν είναι ἀναγκαῖο, πολυπληθέστερες ομάδες και με περισσότερο εξοπλισμό.

Ο χρόνος κινητοποίησης, ἰδιαίτερα σε περιόδους επιφυλακῆς μπορεί να είναι πολύ μικρός

(μερικά λεπτά ως μία ώρα). Αφού οι εθελοντές συγκεντρωθούν σε συμφωνημένο μέρος, κινούνται σε πομπή για να ελέγχουν τα οχήματά τους και να ξεπερνούν τυχόν προβλήματα με την τροχαία.

Αρκετές από τις οργανώσεις λειτουργούν στη διάρκεια της επιχείρησης δικό τους κέντρο επιχειρήσεων που διαδραματίζει το ρόλο του σημείου αναφοράς και συνεργασίας με τους υπόλοιπους συνεργαζόμενους φορείς.

Κατά τη διάρκεια της κρίσης οι ομάδες συνήθως συνεργάζονται, με τους αρμόδιους κρατικούς φορείς που μπορεί να είναι η Π.Υ, το ΕΚΑΒ, το Λιμενικό, οι Συνοριοφύλακες, και ο Στρατός, στο πλαίσιο των ΣΝΟ σε περίπτωση μεγάλων κρίσεων. Τα μέλη λαμβάνουν εντολές από τον αρχηγό της ομάδας. Ο αρχηγός, είναι υπεύθυνος για την ομάδα, αποφασίζει το είδος της δράσης, λαμβάνοντας συνήθως υπ' όψη τη γνώμη των μελών. Οι αρχηγοί είναι τα πλέον έμπειρα άτομα της ομάδας και ως εκ τούτου αντιμετωπίζουν με ιδιαίτερη ψυχραιμία και γνώση τα περιστατικά. Είναι εκείνοι που έρχονται σε επαφή με τις αρμόδιες αρχές.

Κατά τη διάρκεια της δράσης ακολουθούνται πιστά οι κανονισμοί ασφαλείας και τα επιχειρησιακά πλάνα που τυχόν έχουν εκπονηθεί.

Μετά το πέρας των επιχειρήσεων γίνεται επιστροφή στη βάση της οργάνωσης και διευθέτηση του εξοπλισμού. Οι περισσότερες ομάδες συζητούν την πορεία της επιχείρησης, γίνεται αποτίμηση των ενεργειών, εντοπισμός λαθών ή παραλείψεων. Αν χρειάζεται, στην επόμενη συνάντησή τους αποφασίζουν αν θα πρέπει να βελτιώσουν τα πλάνα δράσης, σύμφωνα με την νέα εμπειρία.

Ελάχιστες οργανώσεις ασχολούνται με την αποκατάσταση και συνεχίζουν να παρέχουν υποστήριξη μετά τη λήξη του περιστατικού.

### 3. Παράγοντες που οδηγούν στην αποτυχία

Βασικός παράγων είναι ο χρόνος επέμβασης. Είναι δυνατόν να ξεκινήσει η αναζήτηση μετά πάροδο μεγάλου χρόνου και π.χ. ο αγνοούμενος βρίσκεται νεκρός ή δεν εντοπίζεται.

Επί πλέον επειδή οι εθελοντές είναι εργαζόμενοι και δεν είναι αυτή η εργασία τους έχουν, κατά κανόνα, μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης στο περιστατικό από τις κρατικές δυνάμεις.

Οι καιρικές συνθήκες που μπορεί να είναι απαγορευτικές για τη δράση.

Η έλλειψη μέσων π.χ. ελικόπτερο ή οχημάτων 4 x 4, η έλλειψη τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού και υπολογιστών.

Η λανθασμένη αξιολόγηση των διαθέσιμων δυνάμεων και ανάθεση λανθασμένων εργασιών. Λάθη στην κατανομή του ανθρώπινου δυναμικού και εξοπλισμού. Όταν δεν είναι δυνατή η συγκέντρωση ικανού αριθμού εθελοντών (μπορεί να συμβεί σε εργάσιμη ώρα).

Η έλλειψη συντονισμού. Σε εκτεταμένες πυρκαϊές, κάποιες φορές, έχει παρατηρηθεί έλλειψη συντονισμού των κρατικών φορέων μεταξύ τους και με τις εθελοντικές οργανώσεις.

Η άρνηση συνεργασίας από τις κρατικές υπηρεσίες. Τότε οι εθελοντές δρουν μόνοι τους με αυξημένες πιθανότητες αποτυχίας.

Η κατάρρευση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η έλλειψη επικοινωνίας και κοινού σχεδιασμού. Συχνά δεν υπάρχουν κοινές συχνότητες επικοινωνίας μεταξύ των ομάδων δράσης.

Ο εγωισμός και η αυτοπροβολή στα ΜΜΕ. Όταν κάποιος πιστεύει ότι τα ξέρει όλα, και αφήσει τη θέση του, μπορεί να σπάσει η αλυσίδα βοήθειας.

Κάθε ομάδα λειτουργεί με διαφορετικό πρωτόκολλο και σχήμα. Για τις περισσότερες

οργανώσεις έχει σημασία η πραγματοποίηση κοινών ασκήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να αναπτυχθεί η συνεργασία, κοινή γλώσσα και μεγαλύτερος συντονισμός των δυνάμεων. Για το λόγο αυτό π.χ. έχει δημιουργηθεί στην Αττική το Δίκτυο Εθελοντικών Ομάδων Πολιτικής Προστασίας, που περιλαμβάνει 7 οργανώσεις.

Η ανακριβής πληροφόρηση από τον πληθυσμό. Η μη ορθή χρησιμοποίηση των ΜΜΕ. Θα πρέπει π.χ. να δίνονται από το ραδιόφωνο πληροφορίες στον πληθυσμό σχετικά με την κατεύθυνση που πρέπει να κινούνται τα οχήματα. Οι πολίτες πρέπει να υπακούουν, άλλως είναι δυνατό να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να προσεγγίσουν διασωστικά ή πυροσβεστικά οχήματα. Οι περιεργοί, επίσης, μπορεί να δημιουργήσουν συνωστισμό.

Η μη αποψίλωση (κόψιμο δένδρων). Δεν γίνεται γιατί χρειάζονται ειδικές άδειες.

Η μη οργάνωση κέντρων υποδοχής και υποστήριξης σε συγκεκριμένα σημεία για τους πολίτες σε κάθε περίπτωση (γίνεται συνήθως στους σεισμούς).

Η έλλειψη γνώσεων και πιστοποιήσεων για το αντικείμενο της διάσωσης. Ελάχιστοι ειδικευμένοι γνωρίζουν όλες τις παραμέτρους απεγκλωβισμού τραυματιών και σταθεροποίησης της κατάστασής τους.

Πολλές οργανώσεις αντιμετωπίζουν προβλήματα στις διασυννοριακές συνεργασίες τους, λόγω διαφοράς της γλώσσας. Πολλοί εθελοντές δεν γνωρίζουν ξένες γλώσσες με επακόλουθη αδυναμία επικοινωνίας. Αρκετές, όμως, οργανώσεις, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες, όπως ο ΕΣ, το ΕΣΕΠΑ, η ΕΟΔ, οι ΟΕΑΕΡ κ.ά., οι οποίες συχνά συνεργάζονται με αντίστοιχες ομάδες του εξωτερικού, δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα γλώσσας.

Η ελλιπή εκπαίδευση. Οι οργανώσεις θεωρούν ότι στην περίπτωση που θα αντιμετωπίσουν ευρεία καταστροφή, για την οποία δεν είναι εκπαιδευμένοι, όπως ραδιοβιοχημικός πόλεμος, θα αποτύχουν. Στην περίπτωση αυτή δεν θα επέμβουν.

Επίσης αποτυχία θα είχαν αν αντιμετώπιζαν πολλαπλά περιστατικά, δηλαδή πολυμορφικό συμβάν: φωτιά σε περισσότερα σημεία, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιαστικά δάση, καταστροφικός σεισμός μεγάλης εμβέλειας ή πλημμύρα με πολλά θύματα, πυρκαϊές σε μεγάλα και πολύπλοκα υπόγεια με εγκλωβισμένα άτομα στο υπόγειο ή στους άνω ορόφους.

Ένα δύσκολο σενάριο θα ήταν πολλαπλό σαμποτάζ φωτιάς σε περιοχή μεγάλων κατασκηνώσεων (και υπάρχουν τέτοιες περιοχές) με ισχυρό άνεμο το καλοκαίρι. Ένα πολλαπλό χτύπημα με ισχυρό αέρα είναι πάντα δύσκολο να αντιμετωπισθεί. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η πρόληψη. Επίσης, η ανατροπή βυτιοφόρου που μεταφέρει επικίνδυνα χημικά, που διασπώνται με το νερό, σε αστικό δρόμο, πλησίον σχολείων, με βροχερό καιρό.

Δύσκολα γενικά είναι τα σενάρια όταν υπάρχει έλλειψη προσωπικού ή αδυναμία πρόσβασης. Αρκετές ομάδες θεωρούν ότι η τυχόν συνεργασία με λειτουργούς ανεκπαίδευτους και ευθυνόφοβους θα δυσκόλευε πολύ τη λειτουργία του φορέα τους.

#### 4. Κρίσιμες στιγμές

Για αρκετά από τα περιστατικά ο χρόνος άφιξης και επέμβασης των ομάδων είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τα πρώτα στάδια της κρίσης ή του συμβάντος είναι συχνά ιδιαίτερα σημαντικά. Είναι αναγκαία η ορθή αποτίμηση της κατάστασης και των αναγκών στην αρχική περίοδο αντιμετώπισης του περιστατικού και η έγκαιρη διαλογή των τραυματιών ανάλογα με τη σοβαρότητα των περιστατικών. Σε περίπτωση ατυχημάτων οι κρίσιμες στιγμές είναι εκείνες ως ότου απεγκλωβιστούν τα θύματα.

Όσον αφορά τη δασοπροστασία και πυρόσβεση, έχει μεγάλη σημασία η προληπτική δασοπαράτηρηση ώστε να γίνει έγκαιρα η κινητοποίηση όταν η φωτιά δεν έχει ακόμα

επεκταθεί. Εν συνεχεία, όμως, κάθε στιγμή μπορεί να είναι κρίσιμη γιατί πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στους περιστρεφόμενους ανέμους, που στην Ελλάδα, το καλοκαίρι, μπορεί να είναι πολύ ισχυροί.

## 5. Δυνατά σημεία

Και στη δασοοπρόσβαση καθώς και σε άλλα περιστατικά η πρόβλεψη.

Η ανάπτυξη των δυνάμεων με σωστό τρόπο και η συνεχής τροφοδοσία με νερό στην περίπτωση πυρκαϊάς. Η έγκαιρη προειδοποίηση ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συντονισμού των δυνάμεων. Η ταχύτητα κινητοποίησης των οργανώσεων και ο πλήρης εξοπλισμός που, τις περισσότερες φορές, υπάρχει. Η ταχεία άφιξη στο σημείο του συμβάντος και η ορθή αντιμετώπιση του περιστατικού. Η επικοινωνία μεταξύ των συνεργαζόμενων φορέων.

Η καλή γνώση της περιοχής, προσώπων και τοπικών καταστάσεων. Για το λόγο αυτό, η συμμετοχή τουλάχιστον ενός εθελοντή στις κρατικές ομάδες θα βοηθούσε πολύ την αντιμετώπιση των περιστατικών.

Η εκπαίδευση, η πειθαρχία, η διαθεσιμότητα, οι υπάρχουσες εφεδρείες. Η εμπειρία που αποκτάται με την εξάσκηση και την συσσώρευση επιτυχιών δράσης. Η τυχόν υπάρχουσα πολλαπλότητα των ειδικοτήτων και των δράσεων, λόγω της ειδικής πολύπλευρης εκπαίδευσης. Η οργάνωση των εθελοντικών οργανώσεων, τα επιχειρησιακά κέντρα των ομάδων, οι ταινίες απομάκρυνσης πολιτών, η διασφάλιση των πειστηρίων και των ευρημάτων για χρήση των κρατικών υπηρεσιών, τα μέσα ατομικής προστασίας.

Τέλος η διάθεση για προσφορά που έχουν οι εθελοντές και είναι το βασικό κίνητρό τους.

## 6. Προβλήματα

Ένα από τα πρωτεύοντα προβλήματα, που κατέδειξαν όλες οι οργανώσεις, είναι η ανάγκη χορήγησης άδειας από τον εργοδότη για τη συμμετοχή σε έκτακτο περιστατικό. Ο νόμος 3013/2002 ορίζει ότι οι δημόσιοι υπάλληλοι μπορούν να πάρουν άδεια, εφαρμόζεται, όμως, μερικώς. Οι ιδιωτικοί υπάλληλοι αντιμετωπίζουν τεράστια προβλήματα. Οι εργοδότες σπανίως δείχνουν κατανόηση, δεν χορηγούν άδειες και πολλοί εθελοντές έχουν χάσει τη δουλειά τους. Σε μεγάλα συμβάντα θα έπρεπε να γίνεται πρόσκληση των εθελοντών από τα ΜΜΕ, ώστε να το μαθαίνουν και οι εργοδότες.

Πλην ελαχίστων, η ασφαλιστική κάλυψη των εθελοντών για την αντιμετώπιση περιστατικών είναι ανύπαρκτη. Οι εθελοντές δεν διασφαλίζονται ιατρικά σε περίπτωση ατυχήματος ή τραυματισμού κατά την εκτέλεση του καθήκοντος την ώρα του συμβάντος. Πόσο μάλλον δεν τους δίδεται χρηματική αποζημίωση για τις ημέρες της νοσοκομειακής τους περιθαλψής. Σε αυτό το λόγο οφείλεται η διστακτικότητα της Πολιτείας να καλέσει τους εθελοντές στα περιστατικά. Τελευταία δεν τους ειδοποιεί και πολλές οργανώσεις πηγαίνουν με δική τους ευθύνη στην αντιμετώπιση συμβάντων. Κατ' αυτό τον τρόπο, όμως, η συνεργασία με τους κρατικούς φορείς και τη ΓΓΠΠ καθίσταται προβληματική.

Ο συντονισμός μεταξύ των ομάδων των εθελοντικών οργανώσεων και των φορέων της Πολιτείας είναι ένα ακανθώδες θέμα που έχει πολλές φορές προκύψει, ιδιαίτερα όσον αφορά τις περιπτώσεις κατάσβεσης εκτεταμένων πυρκαϊών. Είναι αλήθεια ότι όταν υπάρχουν πολλαπλά μέτωπα και ισχυροί άνεμοι η κατάσβεση και ο συντονισμός είναι ιδιαίτερα δύσκολα. Τότε φαίνεται τυχόν έλλειψη προσωπικού στις κρατικές δυνάμεις αλλά και στις εθελοντικές οργανώσεις. Είναι αδύνατο να τα βάλει κανείς με τη φύση και τότε γίνεται προσπάθεια αρωγής των ανθρώπων προσπαθώντας να διασωθεί ό,τι είναι δυνατόν.

Πρόβλημα, επίσης, είναι τα πενιχρά οικονομικά των οργανώσεων. Συνήθως ο ατομικός εξοπλισμός, τα έξοδα κίνησης και διαβίωσης στον τόπο του περιστατικού βαρύνουν οικονομικά τους εθελοντές. Σε σπάνιες περιπτώσεις η Π.Υ. χορηγεί στολές ή υλικό. Επίσης, η

οικονομική βοήθεια που δίδεται από την ΠΠ είναι ανεπαρκής για την ανανέωση του εξοπλισμού, όταν αυτός είναι ακριβός (π.χ. στεγανού τύπου στολές κατάδυσης).

## 7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια πρώτη ανάλυση των συνεντεύξεων που μας παρείχαν εθελοντικές οργανώσεις πολιτικής προστασίας διαφόρων τύπων. Προσδιορίστηκαν παράγοντες που θεωρούνται σημαντικοί ώστε η δράση να έχει επιτυχή έκβαση.

Ο εντοπισμός των παραγόντων αυτών είναι δυνατό να βοηθήσει στην αξιολόγηση των μέτρων που πρέπει να λάβουν οι οργανώσεις, ώστε να βελτιώσουν τον τρόπο λειτουργίας τους και να κατορθώσουν να προσφέρουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους σε ώρα κρίσης.

Εντοπίστηκαν οι παράγοντες αποτυχίας στη διαχείριση ενός περιστατικού, οι κρίσιμες στιγμές στην εξέλιξη του συμβάντος, τα δυνατά σημεία των οργανώσεων.

Κυρίαρχη σημασία έχει η βελτίωση του συντονισμού μεταξύ των φορέων και οργανώσεων που συμμετέχουν στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης και η βελτίωση της επικοινωνίας και της διαθεσιμότητας της πληροφόρησης μεταξύ των ομάδων δράσης και του πληθυσμού.

Τέλος, παρουσιάστηκαν μερικά από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι εθελοντικές οργανώσεις κατά τη δράση τους, που είναι υποβοηθητική του κρατικού μηχανισμού. Ασφαλώς το κύριο και σημαντικότερο έργο ασκείται από την Πολιτεία. Η προσοχή, όμως, που μπορεί να δείξει η πολιτεία στη θεραπεία μερικών έστω από αυτά τα χρόνια προβλήματα, μπορεί να είναι πολύ σημαντική για την αύξηση της προσφοράς των εθελοντικών οργανώσεων την ώρα της έκτακτης ανάγκης.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία υποστήριξε την ερευνητική αυτή εργασία με το πρόγραμμα Pre-Emergencies, Grant Agreement for an action Nr 07.030601/2005/42374/SUB/A5.

Ευχαριστούμε τη Διεύθυνση Διεθνών Σχέσεων, Εθελοντισμού, Εκπαίδευσης και Εκδόσεων, Τμήμα Εθελοντισμού και Εκπαίδευσης της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας και την Πυροσβεστική Υπηρεσία για την παροχή πληροφοριών για το νομικό πλαίσιο και τους τρόπους λειτουργίας του κρατικού μηχανισμού στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Ευχαριστούμε, επίσης, τις εθελοντικές οργανώσεις που ανταποκρίθηκαν στην πρόσκλησή μας για την παροχή συνεντεύξεων και τον εντοπισμό των προβλημάτων και των σημείων βελτίωσης της απόδοσης των Εθελοντικών Οργανώσεων Πολιτικής Προστασίας στην Ελλάδα.

## Βιβλιογραφία

Νόμος 3013/2002 «Περί αναβάθμισης της Πολιτικής Προστασίας και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 102, τευχ. Α).

Διαδικτυακές διευθύνσεις: <http://www.cri.piemonte.it/progetti/pre-emergencies/>.

<http://www.civilprotection.gr/>



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**  
**της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

**8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE**  
**of the Greek Geographical Society**



# **Γεώτοποι**





## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΕΡΙΓΗΓΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ

Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α.<sup>1</sup>, Σιγαλός Γ.<sup>1-2</sup>, Φωτίου Γ.<sup>2</sup>, Δασακλής Σ.<sup>2</sup>, Αποστολόπουλος Σ.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών. Ηρώων πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφου, Αθήνα. Email: alexouli@central.ntua.gr

<sup>2</sup>ARC ENVIRO, ΔΑΣΑΚΛΗΣ Σ. - ΣΙΓΑΛΟΣ Γ. - ΦΩΤΙΟΥ Γ. Ο.Ε. Εταιρεία Διαχείρισης Περιβάλλοντος και εφαρμογές ΓΣΠ, Υμηττού 188, 11636 Αθήνα. Email: info@arcenviro.gr.

<sup>3</sup>Χημικός, Πρόεδρος Ορειβατικού Συλλόγου Ξυλοκάστρου, 20400 Ξυλόκαστρο.

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αφορά στα έργα για ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων με τη δημιουργία περιγηγητικών διαδρομών με τη χρήση και αξιοποίηση των τεχνολογιών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ – GIS).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση των παραμέτρων για την ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων με την ανάπτυξη και διαμόρφωση δικτύου περιγηγητικών διαδρομών.

Στην εργασία εκτός της γενικής μεθοδολογικής προσέγγισης παρουσιάζει και την εφαρμογή που έγινε στην ορεινή Κορινθία με το έργο «Ανάδειξη και προστασία οικοσυστήματος κορυφών όρους Κυλλήνης (Ζήρειας) και χαράδρας Φλαμπουρίτσας».

Οι προτεινόμενες διαδρομές επιλέγονται ώστε να πληρούν ένα σύνολο κριτηρίων, να παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, να αναδεικνύουν την περιοχή και να παρέχουν μια μορφή προστασίας και συνολικά να αποτελούν ενιαίο δίκτυο.

Η εργασία εκτός από την ανάπτυξη και διαμόρφωση δικτύου περιγηγητικών διαδρομών εστιάστηκε και στην γενικότερη ανάδειξη της περιοχής μέσα από ένα πλαίσιο δράσεων – εφαρμογών.

Οι δράσεις που σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν αφορούν: α) στην καταγραφή και ενημέρωση της υπάρχουσας κατάστασης των ειδών χλωρίδας της περιοχής από τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, β) στην αξιοποίηση του υλικού των ειδών χλωρίδας της περιοχής με σκοπό την εισαγωγή των δεδομένων σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.) για την εξαγωγή χαρτών χωρικής απεικόνισης των ειδών χλωρίδας της περιοχής, γ) στη φωτογράφιση των ειδών αυτοφυούς χλωρίδας, οικοτόπων, καθώς και του τοπίου της περιοχής και δ) στη διερεύνηση για τη δημιουργία δικτύου μονοπατιών για όλες τις ηλικίες, σε κατάλληλα διαμορφωμένη διαδρομή που θα διασχίζει την περιοχή με σκοπό να έρθουν σε επαφή οι επισκέπτες με το φυσικό περιβάλλον και τα προστατευτέα είδη της περιοχής.

Βασικός στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη και προστασία του οικοσυστήματος, η ευαισθητοποίηση και η ενδυνάμωση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών και γενικότερα η βιώσιμη τοπική ανάπτυξη και ανάδειξη της περιοχής. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκαν δράσεις και προς αυτήν την κατεύθυνση που αφορούν: α) στη δημιουργία έντυπου φυλλαδίου και αφίσας με τα δεδομένα της περιοχής, β) στην εισαγωγή χαρτογραφικών-περιβαλλοντικών πληροφοριών στο διαδίκτυο, γ) στην επίσκεψη και τον καθαρισμό της περιοχής μελέτης από μαθητές σχολείων του δήμου και πολιτών και δ) στη διοργάνωση σχετικής ημερίδας για την ενημέρωση των πολιτών.

**Λέξεις κλειδιά:** ΓΣΠ, δίκτυο περιγηγητικών διαδρομών, οικοσύστημα, βιώσιμη τοπική ανάπτυξη.

## METHODOLOGY FOR THE EMERGENCE AND PROTECTION OF ECOSYSTEMS WITH THE CREATION OF A PATH TOURING NETWORK, USING GIS. CASE STUDY: MOUNTAINOUS KORINTHOS

Alexouli-Livaditi A.<sup>1</sup>, Sigalos G.<sup>1-2</sup>, Photiou G.<sup>2</sup>, Dasaklis S.<sup>2</sup>, Apostolopoulos S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National Technical University of Athens, School of Mining and Metallurgical Engineering, Section of Geological Sciences, 9 Iroon Polytechniou str., 157 80 Zografou, Athens, Email: alexouli@central.ntua.gr

<sup>2</sup> ARC ENVIRO, DASAKLIS S. - SIGALOS C. - FOTIOU C. OE Company of Environmental Management and GIS applications, 188 Ymittou str., 11636 Athens, Email: info@arcenviro.gr.

<sup>3</sup> Chemist, President of Xylokastro Alpine Association, 20400 Xylokastro

### Abstract

In the present work is presented the methodology that concerns the work for appointment and protection of ecosystems with the creation of pedestrian route networks with the use and exploitation of technologies of Geographic Information Systems (GIS). Aim of this work is the investigation of parameters for the appointment and protection of ecosystems with the growth and configuration of network of pedestrian routes. The work except the general methodological approach presents also the application that became in mountainous Korinthia with the work "Appointment and protection of ecosystem of mountain of Kyllini (Zireia) and ravine Flampouritsa. The proposed ways are selected so that they fill a total of criteria, they present concrete characteristics of region of study, they elect the region and they provide a form of protection and globally they constitute single network. The work apart from the growth and configuration of network of pedestrian routes was also focused in the more general appointment of region through a frame of action of - applications. The action that was drawn and was materialised concerns: a) in the recording and briefing of existing situation of species of flora of region from the existing bibliographic data, b) in the exploitation of material of species of flora of region aiming at the import of data in a Geographic Information System (GIS) on the export of maps of territorial depiction of species of flora of region, c) in the photographing of species of local flora, ecotopes, as well as landscape of region and d) in the investigation for the creation of network of paths for all ages, in suitably shaped way that will cross the region with a view to come in contact the visitors with the natural environment and the conservation types of region.

### 1. Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται η μεθοδολογία για την ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων μέσω της δημιουργίας δικτύου περιηγητικών διαδρομών με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η τεχνολογία των ΓΣΠ παρέχει τη δυνατότητα ψηφιακής καταγραφής μεγάλου όγκου γεωγραφικών δεδομένων και αποτελεί καταλυτική σημασία αρωγό στην επιλογή της βέλτιστης λύσης για τη λήψη αποφάσεων.

Στην εργασία εκτός της γενικής μεθοδολογικής προσέγγισης παρουσιάζεται και η εφαρμογή που έγινε στην ορεινή Κορινθία με το έργο «Ανάδειξη και προστασία οικοσυστήματος κορυφών όρους Κυλλήνης (Ζήρεια) και χαράδρας Φλαμπουρίτσας».

### 2. Δεδομένα και μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την ανάδειξη τοπικών οικοσυστημάτων στηρίζεται σε τέσσερα στάδια: α) στην καταγραφή και ενημέρωση της υπάρχουσας κατάστασης των ειδών χλωρίδας της περιοχής από τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, β) στην αξιοποίηση του υλικού των ειδών χλωρίδας της περιοχής με σκοπό την εισαγωγή των δεδομένων σε ένα

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.) για την εξαγωγή χαρτών χωρικής απεικόνισης των ειδών χλωρίδας της περιοχής, γ) στη φωτογράφιση των ειδών αυτοφυούς χλωρίδας, οικοτόπων, καθώς και του τοπίου της περιοχής και δ) στη διερεύνηση για τη δημιουργία δικτύου μονοπατιών για όλες τις ηλικίες, σε κατάλληλα διαμορφωμένη διαδρομή που θα διασχίζει την περιοχή με σκοπό να έρθουν σε επαφή οι επισκέπτες με το φυσικό περιβάλλον και τα υπό προστασία είδη της περιοχής.

### **Στάδιο 1ο: Καταγραφή Χλωρίδας**

Καταγράφεται και γίνεται ενημέρωση της υπάρχουσας κατάστασης των ειδών χλωρίδας της περιοχής από τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα.

Η διαδικασία αυτή περιελάμβανε τη συγκέντρωση, ανάλυση, επεξεργασία των στοιχείων αυτών, καθώς και τη χωρική τους κατανομή, για την ενσωμάτωσή τους στη βάση δεδομένων και εν συνεχεία στο έντυπο υλικό και στο διαδίκτυο.

### **Στάδιο 2ο: Χαρτογράφηση της περιοχής**

Αξιοποιείται η ενημερωμένη κατάσταση των ειδών χλωρίδας της περιοχής με την εισαγωγή των δεδομένων σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (G.I.S.) για την εξαγωγή χαρτών χωρικής απεικόνισης των ειδών χλωρίδας της περιοχής.

Η χαρτογράφηση της περιοχής συνδέεται με τη δημιουργία ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Η οργάνωση ενός Γ.Σ.Π. πραγματοποιείται με μία σειρά λογικών βημάτων που το καθένα κτίζεται πάνω στο προηγούμενο. Η μεθοδολογία οργάνωσης που χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση της περιοχής εφαρμογής του προγράμματος αποτελείται από τα κάτωθι βήματα:

#### Βήμα 1: Κτίσιμο της Βάσης Δεδομένων.

- α) Σχεδιασμός της βάσης δεδομένων.
- β) Αυτοματοποίηση των δεδομένων.
- γ) Διαχείριση των δεδομένων.

#### Βήμα 2: Ανάλυση της γεωγραφικής πληροφορίας.

Αποτελεί την κατ' εξοχήν επεξεργασία μέσω του Γ.Σ.Π. Γίνεται χρήση των αναλυτικών μεθόδων που προσφέρονται οι «πράξεις μεταξύ χαρτών» και των λογικών, αριθμητικών και στατιστικών «ερωτήσεων».

#### Βήμα 3: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων, χαρτογραφική απόδοση.

Τα Γ.Σ.Π. προσφέρουν δυνατότητα παραγωγής χαρτών υψηλής ποιότητας. Διατίθεται μία μεγάλη γκάμα γραφικού και θεματικού συμβολισμού, καθώς και μία σειρά εργαλείων αυτοματοποίησης των διαδικασιών δημιουργίας της χαρτογραφικής σύνθεσης.

### **Στάδιο 3ο: Φωτογράφιση ειδών χλωρίδας και περιοχής**

Έγινε φωτογράφιση των ειδών αυτοφυούς χλωρίδας, οικοτόπων, καθώς και του τοπίου της περιοχής.

Το φωτογραφικό υλικό θα ενσωματωθεί στο έντυπο υλικό και στο διαδίκτυο.

### **Στάδιο 4ο: Χαρτογραφική οριοθέτηση και καθορισμός διαδρομής**

Γίνεται διερεύνηση για τη δημιουργία μονοπατιού για όλες τις ηλικίες, σε κατάλληλα διαμορφωμένη διαδρομή που θα διασχίζει την περιοχή με σκοπό να έρθουν σε επαφή οι επισκέπτες με το φυσικό περιβάλλον και τα προστατευόμενα είδη της περιοχής.

Η μεθοδολογία επιλογής των μονοπατιών βασίστηκε στα παρακάτω κριτήρια:

- Πληρότητα του δικτύου
- Συνδέσεις
- Κατάσταση μονοπατιού
- Βαθμός αλλοίωσης της διαδρομής από ανθρώπινη παρουσία
- Βαθμός δυσκολίας διέλευσης

Βασικός στόχος των περισσότερων εργασιών για την ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων, είναι και η ευαισθητοποίηση και η ενδυνάμωση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών και γενικότερα η βιώσιμη τοπική ανάπτυξη και ανάδειξη της περιοχής, για το λόγο αυτό πρέπει να σχεδιάζονται δράσεις και προς αυτήν την κατεύθυνση.

### 3. Η Περίπτωση της Ορεινής Κορινθίας

Η έρευνα εστιάζεται στην ορεινή Κορινθία και συγκεκριμένα στην περιοχή του Δήμου Ξυλοκάστρου που έχει ενταχθεί στο δίκτυο προστασίας Natura 2000 (GR 2530001) - όρος Κυλλήνη (Ζήφεια).



Χάρτης 1. Δορυφορική εικόνα με της ευρύτερη περιοχή μελέτης

#### 3.1 Καταγραφή χλωρίδας

Η γεωγραφική θέση του όρους Κυλλήνη, οι ιδιόμορφες γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής σε συνδυασμό με τον έντονο διαμελισμό της σε πολλές κορυφές, χαράδρες χείμαρρους και οροπέδια, έχουν δημιουργήσει μία ποικιλία οικολογικών συνθηκών, ιδανικών για την ανάπτυξη πολλών και διαφορετικών φυτών. Για το λόγο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί η Κυλλήνη ως ένας βοτανικός παράδεισος με περισσότερα από 900 είδη φυτών!

Χαρακτηριστικός για τη χλωριδική αξία του βουνού, είναι και ο μύθος για το «μώλυ», το μαγικό βότανο, που έδωσε ο Ερμής στον Οδυσσέα, για να γλιτώσει από τον κίνδυνο να μεταμορφωθεί σε χοίρο από την Κίρκη.

Από τα μέσα του 19ου αιώνα το όρος Κυλλήνη κέντρισε το ενδιαφέρον των βοτανολόγων. Ιδιαίτερα σημαντικές θεωρούνται οι παρατηρήσεις του Θ. Ορφανίδη το 1851-1854, ο οποίος ανακάλυψε πολλά νέα «αλπικά» είδη. Από τότε πολλοί επιστήμονες προώθησαν το έργο της συστηματικής μελέτης της χλωρίδας. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, η χλωρίδα του όρους Κυλλήνη αποτελείται από 961 φυτικά είδη και υποείδη, φανερώνοντας έναν ανεκτίμητο

χλωριδικό πλούτο.

Ανάμεσα στα φυτά του όρους Κυλλήνη υπάρχουν πολυάριθμα κοινά είδη, αλλά και αρκετά σπάνια. Συνολικά έχουν αναγνωριστεί 122 ενδημικά φυτά, εκ των οποίων τα 90 απαντώνται και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Τα υπόλοιπα είναι τοπικά ενδημικά της Κυλλήνης καθώς και ενδημικά των βουνών της Πελοποννήσου.

Στο όρος Κυλλήνη έχουν αναγνωριστεί και καταγραφεί μέχρι σήμερα 4 τοπικά ενδημικά, δηλαδή φυτά που ευδοκίμουν αποκλειστικά στην Κυλλήνη και δεν υπάρχουν σε καμιά άλλη περιοχή του κόσμου. Αυτά είναι: το Γάλιο της Κυλλήνης (*Galium cyllenum*), το Βερμπάσκο της Κυλλήνης (*Verbascum cylleneum*), το Ίεράκιο της Κυλλήνης (*Hieracium cylleneum*) και η Στύπα της Κυλλήνης (*Stipa lessingiana* ssp. *cylleneae*).

Εκτός των βιβλιογραφικών αναφορών στο στάδιο αυτό, μετά από επισκέψεις στην περιοχή έγινε χωρική κατανομή και επικαιροποίηση των δεδομένων.

### 3.2 Χαρτογράφηση της περιοχής - Σχεδιασμός και οργάνωση του Γ.Σ.Π.

Οι εργασίες που αναφέρονται παρακάτω αφορούν το σχεδιασμό και τη διαχείριση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών για την συγκεκριμένη περιοχή.

Επίσης, οι εργασίες αφορούν το σχεδιασμό βάσης δεδομένων και την εισαγωγή, τη διόρθωση, την οργάνωση και την εκτύπωση των γεωμετρικών δεδομένων που κρίθηκαν αναγκαία και απαραίτητα.

Για το σχεδιασμό και την οργάνωση του Γ.Σ.Π. πραγματοποιήθηκε μία σειρά βημάτων που αναφέρονται παρακάτω:

#### Βήμα 1: Κτίσιμο της Βάσης Δεδομένων.

##### **α) Σχεδιασμός της βάσης δεδομένων.**

1. Αρχική οριοθέτηση της περιοχής η οποία περιλαμβάνει το νομό Κορινθίας και τους όμορους σε αυτόν.
2. Ως σύστημα συντεταγμένων ορίστηκε το επίσημο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87.
3. Καθορισμός και οργάνωση των θεματικών επιπέδων πληροφορίας που χρειάζονται. Τα θεματικά επίπεδα που εμφανίζονται είναι:
  - Ακτογραμμή
  - Όρια περιοχής προτεινόμενης προς ένταξη στο δίκτυο Natura 2000
  - Σημαντικές περιοχές χλωρίδας - τύποι οικοτόπων
  - Υψομετρία
  - Ποτάμια
  - Λίμνες
  - Οδικό δίκτυο
  - Μονοπάτια - διαδρομές
  - Σιδηροδρομικό δίκτυο
  - Οικιστικό δίκτυο
  - Όρια δημοτικών διαμερισμάτων
  - Όρια νομών
  - Όρια Δήμων
  - Τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους
  - Ψηφιακά μοντέλο εδάφους
  - Αρχαιότητες
  - Ιστορικά - Πολιτιστικά μνημεία
  - Κάλυψη γης

- Παράκτιες κατασκευές

4. Καθορισμός και οργάνωση της περιγραφικής πληροφορίας που θα συνοδεύει τα χαρακτηριστικά των επιπέδων.

Συγκεκριμένα έγινε καθορισμός της περιγραφικής πληροφορίας στα θεματικά επίπεδα: οδικό δίκτυο, κάλυψη γης, παράκτιες κατασκευές.

A) Το οδικό δίκτυο, χωρίστηκε σε τέσσερις κατηγορίες, όπως αναφέρεται και στα στοιχεία του ΟΚΧΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ. Οι κατηγορίες αυτές αναλύονται σε οδικό δίκτυο: πρώτη κατηγορίας, δεύτερης κατηγορίας, τρίτης κατηγορίας και τέταρτης κατηγορίας.

B) Η κάλυψη γης δίνεται με βάση τον διαχωρισμό και την ανάλυση που υπάρχει στα στοιχεία του ΟΚΧΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ. Διακρίνονται τρία επίπεδα στα οποία παρουσιάζεται η κάλυψη γης ανάλογα με την ανάλυση. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται διαχωρισμός της κάλυψης γης σε (5) κατηγορίες, στο δεύτερο επίπεδο γίνεται διαχωρισμός σε (15) κατηγορίες και στο τρίτο επίπεδο γίνεται διαχωρισμός σε (44) κατηγορίες.

Γ) Οι παράκτιες κατασκευές αναφέρονται στις ιχθυοκαλλιέργειες και στα λιμάνια, τα οποία και διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος τους σε (4) κατηγορίες, οι οποίες είναι:

- Γενικά λιμάνια
- Τουριστικά λιμάνια
- Ειδικά λιμάνια
- Αλιευτικά λιμάνια

5. Κωδικοποίηση και οργάνωση των περιγραφικών χαρακτηριστικών.

Για κάθε μία κατηγορία σε κάθε επίπεδο ορίστηκε ένας συγκεκριμένος αριθμός (το ID). Αυτός ο αριθμός είναι χαρακτηριστικός, σε κάθε θεματικό επίπεδο, για κάθε μία από τις κατηγορίες που αναφέρονται παραπάνω.

### **β) Αυτοματοποίηση των δεδομένων.**

1. Εισαγωγή με ψηφιοποίηση και προσαρμογή στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87, για όλη την περιοχή, των παρακάτω δεδομένων:

οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, υδρογραφικό δίκτυο, υψομετρία, οικισμοί.

Εισαγωγή της ακτογραμμής, στα όρια της περιοχής μελέτης, από τους χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ.

Εισαγωγή της κάλυψης γης (corine) από τον χάρτη κάλυψης γης (corine του ΟΚΧΕ - ΥΠΕΧΩΔΕ) κλίμακας 1:250.000 στα όρια της περιοχής μελέτης.

Εισαγωγή των ορίων (limits) των Νομών και των Δήμων από τον χάρτη κλίμακας 1:250.000 της Στατιστικής Υπηρεσίας, στα όρια της περιοχής μελέτης.

Εισαγωγή των παράκτιων κατασκευών, στα όρια της περιοχής μελέτης, με βάση τον χάρτη από την χωροταξική μελέτη της περιοχής, του ΥΠΕΧΩΔΕ.

2. Δημιουργία χωρικών σχέσεων με την ομογενοποίηση των χωρικών δεδομένων. Έχει γίνει διόρθωση και προσαρμογή των δεδομένων σε σχέση με την ακτογραμμή η οποία είναι σε κλίμακα 1:50.000. Η διόρθωση έγινε στα θεματικά επίπεδα: όρια νομών και πόλεων, κάλυψη γης.

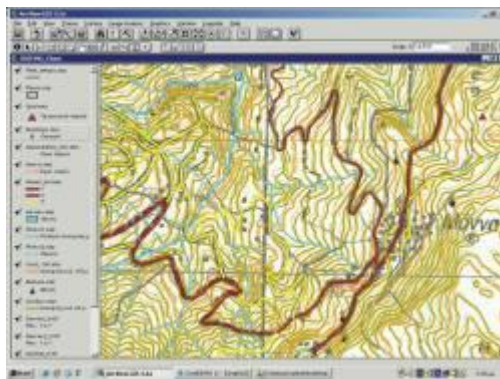
3. Σύνδεση της γεωμετρικής-περιγραφικής πληροφορίας με βάση την κωδικοποίηση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

**γ) Διαχείριση των δεδομένων.**

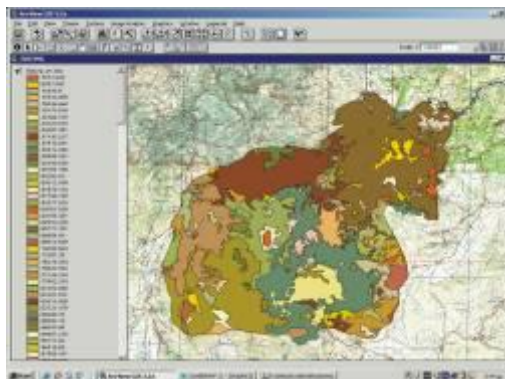
1. Χωρικός μετασχηματισμός όλων των γεωγραφικών δεδομένων, έτσι ώστε να απεικονίζονται στο επίσημο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87.
2. Συνένωση και διαχωρισμός των χαρτογραφικών ενοτήτων, ανάλογα με την περιοχή ή τις περιοχές που γίνεται η απόδοση των γεωγραφικών δεδομένων.
3. Απαραίτητη επεξεργασία στα στοιχεία των αρχείων των βάσεων δεδομένων. Δημιουργήθηκαν νέες στήλες στους πίνακες της βάσης των θεματικών ενοτήτων με τις απαραίτητες πληροφορίες, όπως τα ID των κατηγοριών και τις περιγραφικές πληροφορίες.

Δημιουργήθηκαν επίσης οι απαραίτητες στήλες για αυτόματη ηλεκτρονική παρουσίαση περιγραφικής πληροφορίας, με το πάτημα ενός κουμπιού (hot links).

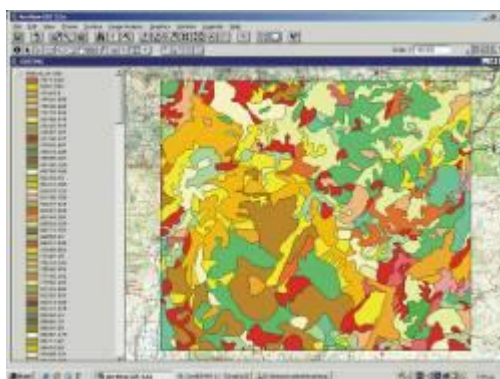
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται μέρος από τις εργασίες που έγιναν για το σχεδιασμό και τη διαχείριση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών για την συγκεκριμένη περιοχή



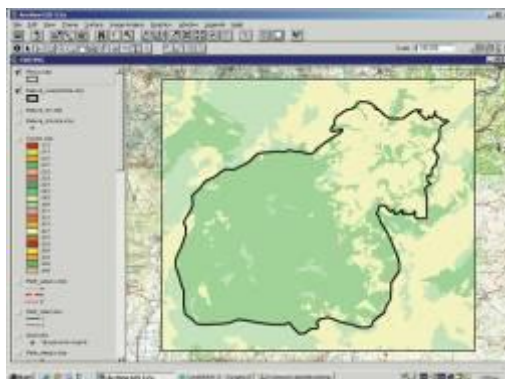
Εικόνα 1. Καθορισμός οδικού δικτύου περιοχής και οικισμών



Εικόνα 2. Καθορισμός τύπων οικισμών περιοχής



Εικόνα 3. Καθορισμός κάλυψης γης της ευρύτερης περιοχής



Εικόνα 4. Ομογενοποίηση στοιχείων και καθορισμός ζωνών βλάστησης



3.3 Φωτογράφιση ειδών χλωρίδας και περιοχής

Η φωτογράφιση των ειδών χλωρίδας και της περιοχής αφορά τόσο επιλεγμένα φυτικά είδη όσο και περιοχές με πανέμορφη θέα. Πραγματοποιήθηκε με επιτόπιες επισκέψεις στην περιοχή και τις τέσσερις εποχές του χρόνου (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο και χειμώνα) σε συνεργασία με τον Ορειβατικό Σύλλογο Ξυλοκάστρου.

Παρακάτω παρουσιάζεται μέρος από το φωτογραφικό υλικό που συλλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε.



Η χαράδρα της Φλαμπουρίτσας. Δόση με μονοήμερα και κεφαλλονίτικα ελατα.



Λιβάδι με κρόκους (*crocus sieberi* ssp *sublimis*) στο Οροπέδιο.



*Galium cylleneum*. Σπάνιο τοπικό ενδημικό της Κυλλήνης.



*Verbascum cylleneum*. Σπάνιο τοπικό ενδημικό της Κυλλήνης.



*Colchicum pulchellum*. Ενδημικό της Κυλλήνης και του Ταϊγγετιού.

3.4 Δίκτυο περιηγητικών διαδρομών στην ορεινή Κορινθία

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω στην περίπτωση της ορεινής Κορινθίας υλοποιήθηκε στο πλαίσιο προγράμματος που αφορά το έργο «Ανάδειξη και προστασία οικοσυστήματος κορυφών όρους Κυλλήνης (Ζήρειας) και χαράδρας Φλαμπουρίτσας», το οποίο ανατέθηκε στο Δήμο Ξυλοκάστρου με την από 4-2-2003, αρ. πρωτ. 125257/471 Απόφαση του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Σε συνεργασία με τον Ορειβατικό Σύλλογο Ξυλοκάστρου πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες επισκέψεις στην περιοχή για τον προσδιορισμό μονοπατιών και χαρακτηριστικών πεζοπορικών διαδρομών. Χαρτογραφήθηκαν όλα τα μονοπάτια που υπάρχουν στην περιοχή και καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά τους (διαδρομή, μήκος, κλίση, βατότητα, κάλυψη, κατάσταση).

Εντοπίστηκαν για όλα τα μονοπάτια τα ιδιαίτερα και χαρακτηριστικά σημεία τους, τα οποία αφορούν τη διέλευση των μονοπατιών από εξωκλήσια, μοναστήρια, σημαντικούς βιότοπους για τα είδη χλωρίδας που έχουν καταγραφεί, κορυφογραμμές, κοίτες ρεμάτων, χαράδρες, σπήλαια και σημεία με ιδιαίτερη θέα.

Επιλέχθηκε με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στη μεθοδολογία αλλά και τα χαρακτηριστικά σημεία της περιοχής που πρέπει να αναδειχθούν, ένα δίκτυο μονοπατιών που αποτελείται από επτά διαδρομές. Οι περισσότερες από αυτές είναι κατάλληλες ακόμη και για εντελώς αρχάριους πεζοπόρους. Πινακίδες στην είσοδο και έξοδο των μονοπατιών αλλά και επί της διαδρομής, ενημερώνουν αναλυτικά για τα χαρακτηριστικά της διαδρομής, όπως τη σήμανση τα οικοσυστήματα και τους χρόνους πορείας.

Όλες οι διαδρομές συνδέονται με τον κεντρικό δρόμο του βουνού:

### **Άγιος Βλάσιος - Κλεισούρα**

Αυτό ήταν το κύριο μονοπάτι από τα Τρίκαλα προς το βουνό για τους κτηνοτρόφους, τους κατοίκους αλλά και τους επισκέπτες. Το μονοπάτι ξεκινά 100 μέτρα μετά το μοναστήρι του Αγίου Βλασίου και περνά μέσα από το πυκνό δάσος.

### **Βαρνεβό - Φλαμπουρίτσα**

Στο 6ο χιλιόμετρο του δρόμου Τρίκαλα - Ζήρια, ύστερα από χαρακτηριστική δεξιά στροφή, ξεκινά το μονοπάτι και κατηφορίζει προς τη χαράδρα της Φλαμπουρίτσας. Στην κοίτη του ρέματος το μονοπάτι διακλαδίζεται και είτε οδηγεί παράλληλα με το ρέμα, προς το τέλος της χαράδρας είτε ανηφορίζει προς το μεγάλο οροπέδιο του βουνού. Ένας τρίτος κλάδος χωρίς σήμανση, διασχίζει απότομες πλαγιές της Μικρής Ζήριας και καταλήγει στο εξωκλήσι της Αγ. Τριάδας, πάνω από το χωριό Μάνα.

### **Βαρνεβό - κορυφογραμμή - σπήλαιο Ερμής - Πουλιού όχτος**

Η διαδρομή αρχίζει από τη θέση «Βαρνεβό» και ακολουθεί την κορυφογραμμή, έχοντας πάντα ανατολικά τις πλαγιές και τους γκρεμούς της Φλαμπουρίτσας και στα δυτικά το οροπέδιο της Ζήριας. Στα 1.750 μ. ένα απότομο αλλά καλογραμμένο μονοπάτι οδηγεί στο σπήλαιο του Ερμή. Πάνω από τη θέση «Πουλιού όχτος», το μονοπάτι διακλαδίζεται και ο ένας κλάδος κατεβαίνει απότομα προς τη Φλαμπουρίτσα, για να συναντήσει τη διαδρομή της χαράδρας, ενώ ο άλλος κλάδος ανεβαίνει μέχρι να συναντήσει το μονοπάτι της κορυφής στα 1950 μ.

### **Οροπέδιο - Β' Καταφύγιο - Σημείο (2.374μ)**

Η κλασική ανάβαση για την κορυφή του βουνού. Από τις στάνες των τσοπάνων στο οροπέδιο, το δεύτερο καταφύγιο απέχει 15 λεπτά. Από εκεί, το μονοπάτι ακολουθεί το μεγάλο ρέμα μέχρι τη χαρακτηριστική κορυφή στο τέλος του, στα 1.950 μ. Στη συνέχεια η διαδρομή στρέφεται δυτικά και ανηφορίζει τη μεγάλη ράχη που ορίζει την κορυφογραμμή του βουνού, αφήνοντας αριστερά τα ψηλά λιβάδια και τις στάνες. Φθάνοντας στη ψηλότερη κορυφή του βουνού στα 2.374 μ. τίποτα δεν εμποδίζει τη θέα προς τις άλλες κορυφές των βουνών της Πελοποννήσου και τις κεντρικές Ελλάδας.

### **Ιερά Μονή Παναγίας - Κεφαλάρι**

Η διαδρομή αυτή αποτελεί τμήμα του παλιού μονοπατιού, που συνδέει τα Τρίκαλα με τον Φενεό. Από το κέντρο των Μεσαιών Τρικάλων κοινοτικός δρόμος οδηγεί στην Ιερά Μονή Παναγίας του 16ου αιώνα. Αρχικά ακολουθεί δασικό δρόμο για 300 μ. Στη συνέχεια διασχίζει το μικρό ρέμα και ανηφορίζει μέχρι να συναντήσει το μεγάλο ρέμα. Από εδώ η διαδρομή εξελίσσεται παράλληλα προς το ρέμα σε παλιό δασικό δρόμο, που δεν χρησιμοποιείται πια, μέχρι το Κεφαλάρι, όπου υπάρχουν πολλά νερά και πηγές.

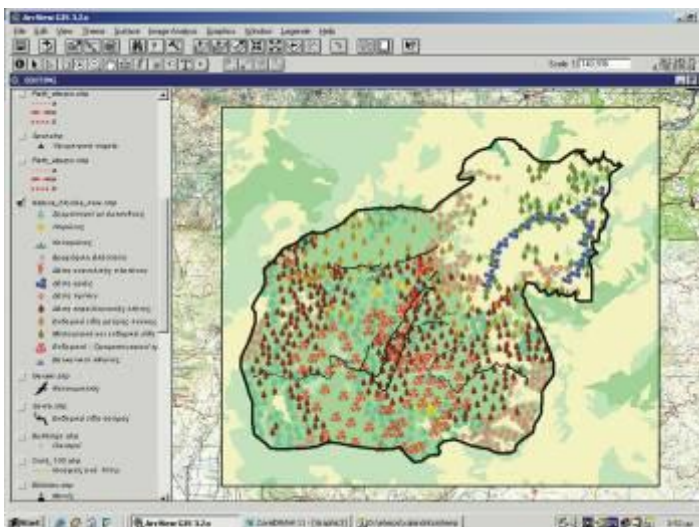
### Κεφαλάρι - λίμνη Δασίου

Η διαδρομή ακολουθεί το δασικό δρόμο Μεσαίων Τρικάλων - λίμνης Δασίου - Οροπεδίου και εξελίσσεται σε ανοικτό δασωμένο ρέμα. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα το χειμώνα, που τα χιόνια συνήθως αποκλείουν την οδική πρόσβαση προς τη λίμνη Δασίου.

### Λίμνη Δασίου - Ράχη - Ζαχαριάς - Κλεφτάκι

Η διαδρομή αρχίζει από το βορειοανατολικό άκρο της λίμνης, δίπλα στο δασικό δρόμο Μ. Τρίκαλα - λίμνη Δασίου - Γκούρα. Ακολουθεί τη βόρεια όχθη και στη συνέχεια ανηφορίζει βόρεια προς τη ράχη. Από εκεί διακλαδίζεται δεξιά προς το Κλεφτάκι και αριστερά προς το Ζαχαριά.

Οι διαδρομές αυτές ενσωματώθηκαν στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών που δημιουργήθηκε και αποδόθηκαν χαρτογραφικά.



Εικόνα 5. Προτεινόμενες διαδρομές, μονοπάτια και πεζοπορικές διαδρομές με σήμανση και χωρίς σήμανση

## 4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Η χρήση και αξιοποίηση νέων τεχνολογιών όπως των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) σε έργα που αφορούν την ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

Η διερεύνηση των παραμέτρων και γενικά η μεθοδολογική προσέγγιση με τα ΓΣΠ έχει τα πλεονεκτήματα των νέων τεχνολογιών, όπως η εύκολη διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφοριών, ο άμεσος συνδυασμός βιβλιογραφικών δεδομένων και επιτόπιων παρατηρήσεων και οι εκτίμηση πολλών εναλλακτικών λύσεων για την βέλτιστη προσέγγιση του στόχου.

Η μεθοδολογική προσέγγιση για την ανάδειξη και προστασία οικοσυστημάτων με την ανάπτυξη και διαμόρφωση δικτύου περιγητικών διαδρομών έχει στόχο να παρουσιαστούν είτε στον επισκέπτη-πεζοπόρο, είτε στον διαδικτυακό επισκέπτη να

παρουσιάσει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, να αναδεικνύει την περιοχή και να παρέχει μια μορφή προστασίας.

Επειδή βασικός στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη και προστασία του οικοσυστήματος, η ευαισθητοποίηση και η ενδυνάμωση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών και γενικότερα η βιώσιμη τοπική ανάπτυξη και ανάδειξη της περιοχής σχεδιάστηκαν δράσεις και προς αυτήν την κατεύθυνση (οι οποίες δεν αναλύθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία) που αφορούν: α) στη δημιουργία έντυπου φυλλαδίου και αφίσας με τα δεδομένα της περιοχής, β) στην εισαγωγή χαρτογραφικών-περιβαλλοντικών πληροφοριών στο διαδίκτυο, γ) στην επίσκεψη και τον καθαρισμό της περιοχής μελέτης από μαθητές σχολείων του δήμου και πολιτών και δ) στη διοργάνωση σχετικής ημερίδας για την ενημέρωση των πολιτών.

Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής και η υλοποίηση του, η οποία και έχει πραγματοποιηθεί, είναι επιτυχή και έχει συμβάλει στην ανάδειξη της περιοχής και την προστασία του οικοσυστήματος.

Επισημαίνουμε ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Ιδιαίτερη αξία έχει η παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου των περιγητικών διαδρομών και οι εργασίες συντήρησης που πρέπει να γίνονται ώστε το δίκτυο να διατηρηθεί σε καλή κατάσταση και να προσελκύει τους επισκέπτες.

## Βιβλιογραφία

Debazac E., 1970. Συμβολή εις τη μελέτη της κατανομής και της οικολογίας της *Pinus nigra* στην Ελλάδα.

Δημόπουλος Π., 1993. Χλωριδική και φυτοκοινωνιολογική μελέτη του όρους Κυλλήνη. Οικολογική προσέγγιση. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Dimopoulos P., Georgiadis Th., Sykora S., 1996. Phytosociological research on the Montane Coniferous forests of Greece: Mount Killini (NE Peloponnesos – S. Greece).

ΕΠΠΕΡ – Υποπρόγραμμα 3 Μέτρο 3.3 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. με τίτλο «Αναγνώριση και Περιγραφή των τύπων οικοτόπων σε Περιοχές Διατήρησης της Φύσης»

Kit Tan & Gregoris Iatrou, 2001. Endemic Plants of Greece. The Peloponnese

Strid A., 1986. Mountain flora of Greece I. Cambridge University Press

Strid A. & Kit Tan (eds) 1991. Mountain flora of Greece II. Edinburgh University Press, Edinburgh.

Ντάφης Σ., Παπαστεργιάδου Ε., Λαζαρίδου Ε., 1999. Τεχνικός οδηγός αναγνώρισης, περιγραφής και χαρτογράφησης τύπων οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ).

Ντάφης Σ., Παπαστεργιάδου Ε., Γεωργίου Κ., Μπαμπαλώρας Δ., Γεωργιάδης Θ., Παπαγεωργίου Μ., Λαζαρίδου Ε., Τσιαούση Β., 1977. Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Το έργο οικοτόπων στην Ελλάδα: Δίκτυο Φύση 2000. Γεν. Δ/ση XI Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας-Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων

Ντάφης Σ., 1972. Δασική φυτοκοινωνιολογία, Θεσσαλονίκη.

Ντάφης Σ., 1986. Δασική οικολογία, Θεσσαλονίκη.

Χαλκιάς Χ., Καρύμπαλης Ε., Παυλόπουλος Κ., 2004. Μεθοδολογία καταγραφής-ανάδειξης περιγητικών διαδρομών για τα νησιά των κυκλάδων με χρήση GIS και GPS – η περίπτωση της Ν. Σίφνου. 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη 2004.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΤΟΠΩΝ

Ζούρος Ν.<sup>1</sup>, Βαλιάκος Η.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100 Μυτιλήνη,  
[nzour@aegean.gr](mailto:nzour@aegean.gr)

<sup>2</sup>Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, 81112 Σίγρι Λέσβου,  
[ival@geo.aegean.gr](mailto:ival@geo.aegean.gr)

### Περίληψη

Η Ελλάδα λόγω της πολύπλοκης γεωλογικής δομής και τις ποικιλίας των γεωμορφολογικών διεργασιών που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το ανάγλυφο της ξηράς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή γεωποικιλότητα και ιδιαίτερα στις προστατευταίες περιοχές, φιλοξενεί αξιόλογους γεωτόπους.

Ο όρος γεώτοπος (geosite/geotope) δημιουργήθηκε ακολουθώντας έναν αντίστοιχο ορισμό της βιολογίας και περιγράφει μια τοποθεσία με μοναδική και εξέχουσα εμφάνιση γεωλογικού ή γεωμορφολογικού ενδιαφέροντος, σε σχέση με το περιβάλλον της. Άλλοι επιστήμονες θέλοντας να δώσουν μεγαλύτερη έμφαση στην γεωμορφολογικές διεργασίες χρησιμοποίησαν τον όρο γεωμορφολογικές θέσεις (geomorphosites). Ως γεώτοπος (geosite/geotope η/και geomorphosite) χαρακτηρίζεται μια θέση στην οποία εμφανίζονται σημαντικές γεωλογικές δομές, χαρακτηριστικές ή σπάνιες μεταλλοφόρες εμφανίσεις, σπάνιες ορυκτολογικές παραγενέσεις και πετρολογικές εμφανίσεις, ιδιαίτερες ιζηματογενείς δομές, σπάνια ή χαρακτηριστικά απολιθώματα, στρωματότυποι, χαρακτηριστικές τεκτονικές δομές, θέσεις σύγχρονων γεωμορφολογικών και γεωλογικών διεργασιών, γεωμορφές, ιδιαίτεροι γεωμορφολογικοί σχηματισμοί και τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλους.

Σε αντίθεση με την αυτονόητη αξία τους για το φυσικό περιβάλλον και παρά τη σχετική πρόβλεψη του Ν.1650/86, οι γεωτόποι δεν κατάφεραν να αποτελούν αντικείμενο αυτόνομης προστασίας και διαχείρισης αλλά προστατεύονται μέχρι σήμερα χάρη στην αρχαιολογική ή τη δασική νομοθεσία για την προστασία οικοτόπων ή τοπίων ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.

Στην εργασία αυτή προτείνεται μια μεθοδολογία αξιολόγησης η οποία εφαρμόζεται σε γεωτόπους ευρύτερης σημασίας (γεωλογικά – γεωμορφολογικά μνημεία) που βρίσκονται εντός προστατευμένων περιοχών με σκοπό να συμβάλει στην προστασία και την αποτελεσματική διαχείριση τους. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολόγησης περιλαμβάνει έξι κατηγορίες κριτηρίων 1)επιστημονική και εκπαιδευτική αξία, 2) γεωποικιλότητα, 3) βιολογική και αισθητική αξία, 4) πολιτιστική αξία, 5) απειλές και ανάγκες προστασίας 6) δυναμικό για την αξιοποίησή τους.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας γίνεται σε 14 σημαντικές θέσεις γεωτόπων που περιλαμβάνονται σε προστατευόμενες περιοχές.

Η διαδικασία αξιολόγησης των γεωτόπων αποτελεί προϋπόθεση για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός σχεδίου διαχείρισης της γεωποικιλότητας μιας περιοχής (geodiversity action plan) το οποίο θα περιλαμβάνει δράσεις που αφορούν στην προστασία, ανάδειξη, προβολή και πρόσφορη αξιοποίηση της φυσικής κληρονομιάς της περιοχής.

**GEOSITE ASSESSMENT AND MANAGEMENT**Zouros N.<sup>1</sup>, Valiakos H.<sup>2</sup><sup>1</sup>*University of the Aegean, Department of Geography, University Hill, 81100 Mytilene  
nzour@aegean.gr*<sup>2</sup>*Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest, 81100 Sigri of Lesvos,  
ival@geo.aegean.gr***Abstract**

Greece is characterized by a complex geological setting and evolution and was subjected to a variety of geological and geomorphological processes, resulted in a high geodiversity. As a result a large number of spectacular landscapes and geosites are present in the country's **protected areas**.

In spite of their intrinsic value for the natural environment the protection of geosites in Greece is related mainly to the conservation of habitats and ecosystems or with the protection of cultural sites. Thus geosites failed to gain attention autonomously, as elements of value for conservation and management.

The aim of this paper is to present a methodology for assessing geosites lying in protected areas which will contribute to the appropriate management of the sites.

The evaluation process includes six criteria: 1) scientific and educational value; 2) geodiversity; 3) ecological and aesthetic value; 4) cultural value; 5) potential threats and protection needs; and 6) potential for use.

In this study 14 geosites of different size and categories were selected, classified and assessed using the above mentioned methodology.

The results can be used by the managing authority of each site to establish a geodiversity action plan and encourage geoconservation and sustainable local development.

**1. Introduction**

The term **Geosite** is used by IUGS in 90's to describe first-class importance to global geology sites, outstanding examples representing major stages of Earth history, significant ongoing geological processes in the development of landforms (Gray 2004). The term **geotope** in German literature was proposed (Strum 1994) as a loan-term from Biology. A **Geotope** is the [geological](#) component of the [abiotic](#) matrix present in an [ecotope](#).

The term **geomorphosite** is proposed to describe landforms presenting a particular importance for the comprehension of Earth history, spatially delimited and scientifically clearly distinguishable from their surroundings (Grandgirard 1997, Reynard 2005).

During the last decade several synonyms have been used: geomorphological assets (Panizza & Piacente 1993), geomorphological sites (Hooke 1994), geomorphological geotopes (Grandgirard 1997), sites of geomorphological interest (Rivas et al. 1997). According to the broad definition proposed by Panizza (2001) geomorphosites are geomorphological landforms that have acquired a scientific, cultural/historical, aesthetic and/or social/economic value due to human perception or exploitation. According to a more restrictive definition a geomorphosite is defined as a part of Earth surface of particular importance for the knowledge of Earth, climate and life history (Reynard 2004). They can be single geomorphological objects or wider landscapes (Reynard and Panizza 2005).

Every geomorphosite is located within a particular landscape. Current landforms are the result of three evolutions, the history of rocks, the history of tectonic deformation and the

history of landforms (Reynard 2005).

The Geopark concept was developed mainly in Europe in cooperation with UNESCO. Geoparks are nationally protected areas which include a number of internationally important geological heritage sites (geosites and geomorphosites) on any scale, or a mosaic of geological entities of special scientific importance, rarity or beauty. These features are **representative of the region's geological history and the events and processes that formed it**. Geoparks have well-defined limits and comprise large enough surface area for it to serve local economic and cultural development (Eder and Patzak 2004, Zouros 2004).

Until recently, no international convention specifically on geological heritage existed. Taking into account the importance of common goals for advancing geological heritage activities, educating the public on the environment, and promoting regional sustainable development, the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) decided to establish the Global Geoparks Network of National Geoparks in February 2004 providing UNESCO's support to and co-operation with National Geopark initiatives.

This initiative of UNESCO to support Geoparks responds to the need for an international **framework to enhance the value of the Earth's heritage, its landscapes and geological formations**, which are key witnesses to the history of life. Geology and landscape have profoundly influenced society, civilization, and the cultural diversity of our planet (UNESCO 2006).

## 2. Geosites in Greek protected areas

Greece with its complex geological and geomorphological setting and evolution, the great variety in climatic conditions and the numerous islands and convoluted coastline presents a great diversity of natural scenery. The abiotic diversity and the "mosaic" of micro-climatic types, is reflected in the presence of a highly diverse flora and fauna and a great variety of ecosystems.

Greece is primarily a mountainous country, with seventy per cent of its territory covered by mountains (42 summits over 2000m) and a very long coastline, with a plethora of peninsulas, gulfs and islands.

The Hellenic orogen is a composite one, consisting of three orogenic belts (Mountrakis 2005). The first one is the Cimmerian internal belt, in pre-Late Jurassic times as the result of the northward drift of Cimmerian continental fragments from Gondwana towards Eurasia. Rodope mountain range is the most prominent feature. The second one is the Alpine orogenic belt, created during Cretaceous-Tertiary times after the Neotethyan subduction beneath the Cimmerian-Eurasian plate and the collision of the Apulia to the great plate. Pindos mountain range is the main feature of this belt. The third one is the Mesogean orogenic belt along External Hellenic arc, due to the Mesogean-African underplate beneath the unique Alpine-Eurasian plate in Miocene-Pliocene times and the exhumation of the Cretan-Southern Peloponnesus tectonic windows (Figure 1). During Alpine and Mesogean orogenic processes in Tertiary a SW migration of successive compressional and extensional tectonic events took place, producing nape stacking and extensional exhumation of underplate rocks. During Pliocene to recent times the extensional processes continued in the broader Aegean area producing normal and strike-slip faults.

The complex geological and geomorphological setting and evolution of the Hellenides resulted to the presence of a high geodiversity. A large number of spectacular geosites are present in the country's **protected areas** (Figure 2). Some of the most important geosites such as the Meteora, the Olympus mountain, the Samaria gorge in Crete, the Lavrion ancient mines included in the Sounion NP, the Petrified forest of Lesvos, the Vicos and Aaos gorges in Epirus, the Diros caves in Peloponnesus, the Santorini volcanic caldera, the Prespes lakes in West Macedonia, the Falakron Mountain – Aggitis karstic system in Easter

Macedonia, the Northern Pindos Mountain chain, the Tempi valley and Pinios river delta, the Psiloritis Mountain in Crete, the Milos island etc are well-known, legally protected and established tourist attractions with thousands of visitors each year.

Although the intrinsic value of geosites and geomorphosites for the natural environment is broadly accepted, their recognition in Greece is related mainly to the conservation of habitats and ecosystems or with the protection of cultural sites. Geosites and geomorphosites failed to gain attention autonomously within the protected areas as elements of value for conservation and management.

The need for conservation and appropriate management of the reach geodiversity in the protected areas and especially to those including geomorphosites and geosites of outstanding importance and value, led to the establishment of the first Greek Geoparks, the Lesvos Petrified Forest geopark in 2000 and the Psiloritis geopark in Crete in 2001 (Zouros 2004).

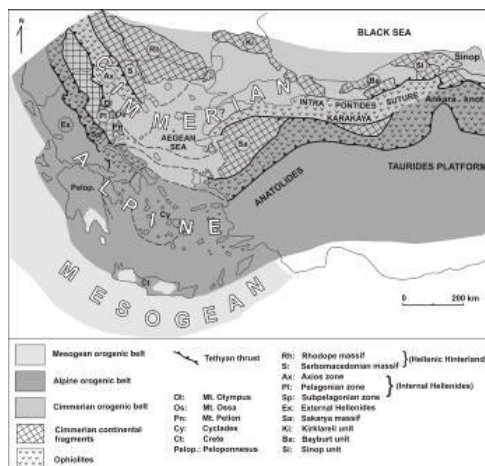


Figure 1. Structural sketch-map showing the three orogenic belts of the Hellenic Orogen and their extension to the Minor Asia region. Cimmerian continental fragments and ophiolitic sutures after Mountrakis 1986 and 2005.

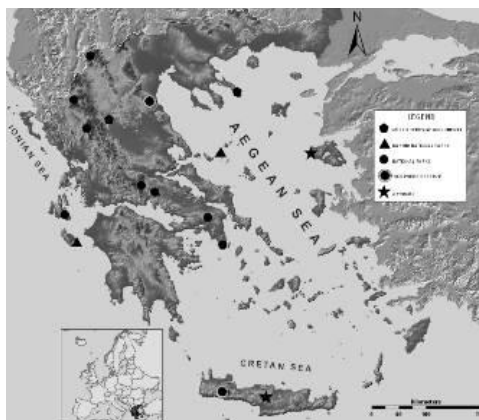


Figure 2 – W.H. Sites, Biosphere reserves, National parks and other protected areas in Greece.



### 3. Geosite / Geomorphosite assessment methodology

Assessment methodologies have been recently established using quite similar criteria (Grandgirard 1997, Reynard 2004, 2005, Coratza & Giusti 2005, Bruschi & Cendrero 2005, Serrano & Gonzalez-Trueba 2005, Pralong 2005).

The methodology applied to assess geosites / geomorphosites in Greek protected areas uses a series of six criteria. For each criterion several indicators are adopted: 1) scientific and educational value : integrity, rarity, representativeness, and exemplarity; 2) geodiversity; 3) ecological and natural aesthetic value; 4) cultural value; 5) potential threats and protection needs : legal protection, vulnerability; and 6) potential for use : recognizability, geographical distribution, accessibility, and potential for generating economic activities (Zouros et al. 2004a, Zouros 2005, Zouros 2007).

For each criterion or indicator a ranking from 0 to 10 or in some cases from 0 to 5 is been used. The incorporation of criterion 1 in the evaluation process was performed by assigning a numerical value (within a range 40-0) based on the integrity (10-0), rarity (10-0), representativeness (10-0), and exemplarity (10-0) of each site.

A numerical value (10-0) was assigned to criterion 2 based on the number of distinguished geological and geomorphological phenomena that appear in each site.

Criterion 3 was incorporated by assigning a maximum (10) or minimum value (0) based on the site characterization by international designation or by national or regional legislation (WHS- Natural World heritage site or MAB-Biosphere reserve, National park or National natural monument, Natural park, Regional park, Locally protected site)

Criterion 4 was incorporated by assigning a maximum (10) or minimum value (0) based on the site characterization by international designation or by national or regional legislation (WHS- Cultural World heritage site, National cultural monument, Cultural landscape or landscape of outstanding aesthetic beauty, Regionally protected site, Locally protected site).

A numerical value (5-0) was assigned for each one of the two indicators which compose the criterion 5. The level of legal protection was taken into account by assigning a value from 5 to 0 (international designation, national park or monument, protected by national legislation, regional protection, poor protection, no protection) Similarly the presence and the magnitude of potential threats were taken into account by assigning a value from 5 to 0 (uncontrollable risk, strong pressure, moderate risk, controlled risk, poor risk, no risk).

A numerical value (5-0) was assigned for each one of the four indicators which compose the criterion 6, recognizability (international, national, regional, local, known only by scientific community, unknown), geographical distribution (numerical value expresses the percentage of the space occupied by the geomorphosites in comparison with the total surface of the protected area), accessibility (by a road of regional or national importance, by local road, by unsurfaced road, by foot path, with permission only, no access) and potential for generating economic activities (more than 75.000 visitors, more than 50.000 visitors, more than 20.000 visitors, more than 5.000 visitors, less than 5.000 visitors, no visitors).

The quality of geomorphosite is expressed by the total number of credits ranking from 0 -100.

The results of the assessment of selected geosites / geomorphosites are shown in Table 1. The evaluation of the above mentioned six criteria allows comparing the importance of each attribute in the assessment of the sites. Assessment of the 14 first class geosites/geomorphosites, led to their classification according to their intrinsic value, their ecological and cultural value as well as management value. All examples can be considered as geomorphological landscapes (Reynard 2005) rather than single

geosites/geomorphosites.

Regarding the final assessment, the percentage of high-scoring geosites is outstanding, showing excellent scoring for scientific and educational value, ecological and cultural value, as well as management value.

The same methodology can be used to evaluate each single geosites/geomorphosites present within the national protected areas in Greece, thus representing a useful management tool.

In Geoparks the recognition of the values of the earth heritage sites is part of an holistic concept of protection, education and sustainable development. Assessment methodology can help the Geopark management by quantifying values of geomorphosites, to take into account the whole geographical setting of the region.

#### 4. Conclusions

Geosites have the potential to gain recognition as natural and tourist resources with serious economic effects, especially for those located in protected areas. The proposed methodology for geosite / geomorphosite assessment applied in Greek National parks showed that the examined geosites / geomorphosites fulfil the criteria to be characterized as great attractions in terms of scientific and educational value, aesthetic appeal and potential for use.

The same methodology can be applied in Geoparks for the classification and characterization of single geosites / geomorphosites. Using the results the managing authority of each protected area to establish a geodiversity action plan and include activities aiming the monitoring and safeguarding of the geosites, the valorisation of local identities linked to their presence, the creation of the necessary touristic infrastructure, the development of new local products and services, encourage local economic growth and creation of new opportunities for employment.

#### References

- Eder W., Patzak M. (2004) – Geoparks - geological attractions: a tool for public education, recreation and sustainable economic development. *Episodes*, 27/3, 162164.
- Ellis N.V., Bowen D.Q., Campbell S., Knill J.L., McKirdy A.P., Prosser C.D., Vincent M.A., Wilson R.C.L. (1996) – An Introduction to the Geological Conservation Review, *Geological Conservation Review Series*, 1, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 131 p.
- Hooke J.M. (1994) – Strategies for conserving and sustaining dynamic geomorphological sites. In: O'Halloran D., Green C., Harley M., Stanley M., Knill J. (Eds) *Geological and Landscape Conservation. Proceedings of the Malvern International Conference on Geological and Landscape Conservation*, Great Malvern, 1993. The Geological Society of London, 191-195
- Glasser N. (2001) – Conservation and management of the Earth heritage resource in Great Britain. *Journal of Environmental planning and management*, 44/6, 889906.
- Gray M. (2004) – *Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature*. J. Wiley & Sons, Chichester, 434 p.
- Katsikatsos G., Migiros G., Triantaphyllis M., Mettos A. (1986) – Geological structure of the internal Hellenides (East Thessaly - Southwest Macedonia, Euboea Attica Northern Cyclades Islands and Lesvos) *Greek Institute of Geology and Mining Exploration Geology and Geophysical research*, Special issue, 191212.

Martini G. (Ed.) (1993) – Actes du premier symposium international sur la protection au patrimoine géologique [Proceedings of the First Symposium on Earth Heritage Conservation], Digne, France, 11–16 June 1991. *Mémoires de la Société géologique de France*, NS 165, 276 p.

Mountrakis D. (1986) – The Pelagonian zone in Greece: a polyphase deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geotectonic evolution of East Mediterranean. *Journal of Geology*, 94, 335-347.

Mountrakis D. (2005) – Tertiary and Quaternary tectonics in Aegean area. In: Fytikas and Vougioukalakis (eds) *The south Aegean active volcanic arc*. Elsevier p. 1-10.

Mourouzidou O., Pavlides S., Fytikas M., and Zouros N. (2004) - The neotectonic characteristic structures at the area of Gavathas, Northern Lesbos island, (Aegean, Greece). *Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*. Thessaloniki 14-19 April 2004 p. 861-864.

O'Halloran D., Green C., Harley M., Stanley M., Knill J. (Eds) (1994) – Geological and Landscape Conservation. *Proceedings of the Malvern International Conference on Geological and Landscape Conservation*, Great Malvern, 1993. The Geological Society of London, 530 p.

Panizza M. (2001) – Geomorphosites: concepts, methods and example of geomorphological survey. , 46, *Suppl. Bd.*, 4-6.

Panizza M. Piacente (1993) - Geomorphological assets evaluation. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, 87, 13-18

Pe-Piper G., Piper D.J.W. (2002) – The igneous rocks of Greece. The anatomy of an orogen. Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 573 p.

Pralong J.P. (2005) A method for assessing tourist potential and use of Geomorphosites **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, no 3, 189-196.

Reynard E. (2004) – Geosites. In: Goudie A. (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, London, 440.

Reynard E. (2005) **Geomorphosites et paysages. Géomorphologie: relief, processus, environnement**, no 3, 181-188.

Reynard E., Panizza M. (2005) **Geomorphosites: définition, évaluation, et cartographie. Une introduction. Géomorphologie: relief, processus, environnement**, no 3, 177-180.

Serrano E., Gonzales-Trueba J.J. (2005) Assessment of geomorphosites in natural protected areas: The Picos de Europa National Park (Spain) **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, no 3, 197-208.

Suss H., Velitzelos E. (1993) – Eine neue Proto-Pinaceae der Formgattung Pinoxylon KNOWLTON emend. **READ, P. parenchymatosum sr. nov., aus tertiären Schichten der Insel Limnos, Griechenland**. Feddes Repertorium, 104, 335341

Suss H., Velitzelos E. (1994) – **Zwei neue tertiäre Hölzer der Gattung Pinoxylon KNOWLTON emend. READ aus dem Versteinerten Wald von Lesbos, Griechenland**. Feddes Repertorium, 105, 403423.

Theodossiou-Drandaki I., Nakov R., Wimbledon W.A.P., Serjani A., Neziraj A., Hallaci H., Sijaric G., Begovic P., Petrussenko Sv., Tchoumatchenco Pl., Todorov T., Zagorchev I., Antonov M., Sinnyovski D., Diakantoni A., Fassoulas Ch., Fermeli G., Galanakis D., Koutsouveli A., Livaditi A., Papadopoulou K., Paschos P., Rassiou A., Skarpelis N., Zouros N.,

Grigorescu D., Andrasanu Al., Hlad Br., Herlec U., Kazanci N., Saroglu F., Dogan A., Inaner H., Dimitrijevic M., Gavrilovic D., Krstic B., Mijovic D. (2003) – IUGS Geosites project progress - a first attempt at a common framework list for South Eastern European Countries. **Proceedings of the conference "Natural and cultural landscapes"**. ProGeo, Dublin 9-11/9/2002.

UNESCO (2004) – Network of national Geoparks seeking UNESCO assistance. UNESCO, Paris, January 2004. Internal document, 13p.

Velitzelos E., Zouros N. (1998) – New results on the petrified forest of Lesvos. Bulletin of the Geological Society of Greece, 32/2, 133-142.

Velitzelos E., Zouros N. (2000) – The petrified forest of Lesvos. Topio publications, Athens, 144 p.

Velitzelos E., Mountrakis D., Zouros N., Soulakellis N. (2003) – Atlas of the Geological Monuments of the Aegean. Ministry of the Aegean. Adam Editions. Athens, 352 p. (in Greek)

Zouros N. (2004) – The European Geoparks Network Geological heritage protection and local development. Episodes, 27/3, 165-171.

Zouros N. (2005) – Assessment, protection and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, no 3, 227-234.

Zouros, N., Martini G., Frey M.-L. (Eds) (2003) – Proceedings of the 2nd European Geoparks Network Meeting, 2001, Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest, Lesvos, 184 p.

Zouros N., Soulakellis N., Mountrakis D., Velitzelos E. (2004a) – Mapping, classification and assessment of geotopes in the Aegean. Proceedings of the 7th Hellenic Geographical Conference, Geographical Society of Greece, 1, 527-534.

Zouros N., Velitzelos E., Valiakos E., Ververis K. (2004b) - Submarine petrified forest in Lesvos Greece. Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology. Thessaloniki 14-19 April 2004 p. 437-440.

TABLE 1  
Results of selected geosite assessment in Greek protected areas

Name	Meteora	Lavriton ancient mines	Olympus Mt.	Samaria Gorge	Lesvos petrified forest	Vicos -Aoos cave gorges	Diros cave	Santorini caldera	Prespes lakes	Psiloritis karstic features	Falacro Mt. Aggitis karstic sys.	North Pindos Mt.	Tempi - Pinos Delta	Milos volcanics
Status	CM	NP / Natura	NP / Natura	NP / Natura	NM / G Natura	NP / Natura	CM	LAB / Natura	NP / Natura	CM / G / Natura	CM / Natura	NP / Natura	NM / Natura	Natura
<b>1 scientific &amp; educational value</b>														
1.1 integrity	10	9	10	10	8	10	10	8	8	8	8	8	8	8
1.2 rarity	9	9	7	9	9	7	7	8	6	6	6	6	6	6
1.3 representativeness	9	8	7	8	9	7	7	8	6	6	6	5	6	6
1.4 exemplarity	9	8	8	8	7	6	6	9	5	6	6	5	6	6
2 geodiversity	4	6	9	6	7	6	3	5	4	5	4	7	5	3
3 ecological & aesthetic value	10	8	10	10	8	8	6	6	9	7	7	8	8	7
4 cultural value	10	8	8	6	6	6	8	6	8	8	8	6	8	8
<b>5 potential threats &amp; protection needs</b>														
5.1 legal protection	5	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	3
5.2 vulnerability	3	4	4	3	4	3	4	5	4	4	3	3	4	5
<b>6 potential for use</b>														
6.1 recognizability	5	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3
6.2 geographical distribution	4	2	2	2	3	2	5	4	3	3	1	3	3	3
6.3 accessibility	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3
6.4 economic potential	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>78</b>	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>76</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>71</b>	<b>66</b>

NP=National Park, NM=National Natural Monument, G=Geopark, CM=Cultural Monument, LAB=Landscape of Outstanding Beauty

**ΓΕΩΔΙΑΤΗΡΗΣΗ: ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ-ΓΕΩΤΟΠΩΝ.  
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΠΑΡΚΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΛΕΣΒΟΥ**

Λαμπάκη Ο.<sup>1</sup>, Ζούρος Ν.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, e-mail: [labaki@geo.aegean.gr](mailto:labaki@geo.aegean.gr)

<sup>2</sup>Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Λόφος Πανεπιστημίου, e-mail: [nzour@aegean.gr](mailto:nzour@aegean.gr)

### Περίληψη

Για την αποτελεσματική ανάδειξη διαχείριση και προστασία των μνημείων της γεωλογικής κληρονομιάς του πλανήτη, απαιτείται η εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου διαχειριστικού σχεδίου. Ο μεγάλος όγκος πληροφορίας που πρέπει να συλλεχθεί, να αποθηκευτεί και να αναλυθεί για την επίτευξη του σκοπού αυτού, οδηγεί στην ανάγκη αξιοποίησης νέων τεχνολογιών και μεθοδολογιών για τη διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων, όπως είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών.

Το Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου αποτελεί μοναδικό μνημείο της γεωλογικής κληρονομιάς, για τη αποτελεσματική προστασία και διαχείριση του οποίου εφαρμόζεται ένα διαχειριστικό σχέδιο με άξονες την προστασία και ανάδειξη των απολιθωμάτων, την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών και την αειφόρο τουριστική ανάπτυξη της περιοχής του. Απαραίτητο εργαλείο για την υλοποίηση του σχεδίου αυτού στο Γεωπάρκο του Απολιθωμένου Δάσους είναι ο σχεδιασμός μιας Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων η οποία να συλλέγει, να αποθηκεύει, να αναλύει και να διαχειρίζεται όλη τη σχετική πληροφορία, προκειμένου να εφαρμόζεται το σχέδιο διαχείρισής του. Η ψηφιοποίηση των δεδομένων του Γεωπάρκου αποτέλεσε το περιεχόμενο της ΓΒΔ και οδήγησε στη δημιουργία χαρτών για την ανάδειξη του μνημείου.

**GEOCONSERVATION: PROMOTION AND MANAGEMENT  
OF NATURAL MONUMENTS – GEOSITES. THE LESVOS PETRIFIED  
FOREST GEOPARK**

Labaki O.<sup>1</sup>, Zouros N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of the Aegean, Department of Geography, tel: +30 22510 36431,  
e-mail: [labaki@geo.aegean.gr](mailto:labaki@geo.aegean.gr)

<sup>2</sup>University of the Aegean, Department of Geography, tel: +30 22510 36431,  
e-mail: [nzour@aegean.gr](mailto:nzour@aegean.gr) ,

### Abstract

In order to promote, manage and protect monuments of geological heritage, a management plan is necessary. Thus, the large amount of information that has to be collected stored and analyzed for this scope, leads to the need of exploitation for new technologies and methodologies for the management of geographical data, as GIS.

The Lesvos Petrified Forest is a unique monument of geological heritage and a management plan exists with main components the protection and conservation of fossils, information and sensitization of stake holders and the general public as well as sustainable tourist development of the area. The appropriate tool for the realization of the management plan is a Geographic Database Design. This GDB can collect, store, manage and analyze all the adequate information for the implementation of the management plan. Digitizing all the Geoparks' data lead to the GDB content fulfill and to the creation of

thematic maps in order to achieve the monument's promotion.

**Λέξεις κλειδιά:** γεωλογική κληρονομιά, γεωπάрко, ΣΓΠ, Γεωγραφική Βάση Δεδομένων, Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου.

**Key words:** Geological heritage, Geopark, GIS, Geographic Database, Lesvos Petrified Forest.

## 1. Εισαγωγή

Το Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου είναι ένα από τα σημαντικότερα σε παγκόσμια κλίμακα Μνημεία Γεωλογικής Κληρονομιάς. Η δημιουργία του συνδέεται με την εκδήλωση έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας στο χώρο του βορειο-ανατολικού Αιγαίου, πριν από είκοσι περίπου εκατομμύρια χρόνια και αποτελεί μοναδικό μνημείο σε παγκόσμιο επίπεδο. Το Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου προστατεύεται ως Διατηρητέο Μνημείο της Φύσης (ΠΔ 433/85) και από τη Σύμβαση της Βαρκελώνης. Η περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους περιλαμβάνεται επίσης στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο ΦΥΣΗ 2000.

Η μοναδικότητα του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, οφείλεται στο γεγονός ότι είναι αυτόχθονο, στο μεγάλο αριθμό των απολιθωμένων ειδών και στην ποικιλία τους, στην τέλεια διατήρηση των οργάνων των απολιθωμένων φυτών καθώς και των χαρακτηριστικών και της εσωτερικής δομής του ξύλου των απολιθωμένων δένδρων, στα απολιθωμένα ευρήματα της πανίδας που ζούσε σε αυτό. Η σύνθεση της απολιθωμένης χλωρίδας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες των κλιματικών συνθηκών κατά την περίοδο δημιουργίας του Απολιθωμένου Δάσους.

Το γεωπάрко του Απολιθωμένου Δάσους περιλαμβάνει το σύνολο της προστατευμένης περιοχής (150.000 στρέματα) και μια ευρεία περιφερειακή ζώνη στην οποία συναντώνται ηφαιστειακοί σχηματισμοί που φιλοξενούν απολιθώματα.

Η διαχείριση του Γεωπαρκου του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου στηρίζεται στις βασικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία ενός γεωπαρκου σύμφωνα με την ιδρυτική διακήρυξη του Ευρωπαϊκού Δικτύου Γεωπαρκων (Ζούρος 2001) και τους κανονισμούς που διέπουν την συγκρότηση του παγκόσμιου Δικτύου Γεωπαρκων της UNESCO [UNESCO, 2006]. Και στους δύο αυτούς οργανισμούς το Γεωπάрко του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου είναι ιδρυτικό μέλος.

Για τη διαχείριση της περιοχής Γεωπαρκου του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου το οποίο περιλαμβάνει εκτός των θέσεων γεωλογικού και γεωμορφολογικού ενδιαφέροντος και σημαντικές θέσεις οικολογικής, πολιτιστικής και ιστορικής αξίας, έχει εκπονηθεί και εφαρμόζεται ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης με επιμέρους αξόνες δραστηριοτήτων. Για τη σωστή εφαρμογή του σχεδίου και την αποτελεσματική διαχείριση του γεωπαρκου απαραίτητα και αναγκαία μέσα είναι η ύπαρξη ενός ισχυρού φορέα διαχείρισης με το έμπειρο ανθρώπινο δυναμικό, και τα κατάλληλα διαχειριστικά εργαλεία.

Το σχέδιο διαχείρισης του Απολιθωμένου δάσους Λέσβου περιλαμβάνει τους ακόλουθους άξονες:

1. Έρευνα - συντήρηση - τεκμηρίωση και ανάδειξη των ευρημάτων, καταγραφή - αξιολόγηση - παρακολούθηση και προστασία της γεωποικιλότητας.
2. Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του πληθυσμού και των επισκεπτών της περιοχής και προβολή του μνημείου
3. Αειφόρος τουριστική ανάπτυξη
  - Δημιουργία υποδομών πρόσβασης, ενημέρωσης και εξυπηρέτησης επισκεπτών
  - Οργάνωση γεωτουριστικών και εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων καθώς επίσης πολιτιστικών και επιστημονικών εκδηλώσεων

Για την αποτελεσματική εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης είναι καθοριστική η συμβολή σύγχρονων μεθόδων της γεωπληροφορικής. Στην περίπτωση της εφαρμογής του διαχειριστικού πλαισίου του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης γεωγραφικής βάσης δεδομένων, η οποία βοηθά τόσο στην οργάνωση, όσο και στη διαχείριση της διαθέσιμης πληροφορίας που αφορά τόσο τα απολιθώματα, και ειδικότερα την καταγραφή, τεκμηρίωση, συντήρηση και προστασία τους όσο και τις λοιπές θέσεις γεωτόπων που έχουν καταγραφεί εντός της περιοχής του Γεωπάρκου. Με τον τρόπο αυτό συμβάλει αποτελεσματικά στη βελτίωση της προστασίας του μνημείου από υπάρχοντες και δυνητικές απειλές και κινδύνους, καθώς η γνώση της χωρικής κατανομής των απολιθωμάτων Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου και των επιμέρους γεωτόπων που το αποτελούν, η τεκμηρίωση κάθε σημείου ενδιαφέροντος και η καταγραφή στοιχείων που αφορούν την ανάδειξη και συντήρηση τους καθιστά αποτελεσματικότερη την προστασία και τη φύλαξή του μνημείου.

Ειδικότερα η οργάνωση της πληροφορίας στη Γεωγραφική Βάση Δεδομένων επιτρέπει την παραγωγή ποικίλων ειδικών θεματικών χαρτών οι εξυπηρετούν τόσο διαχειριστικούς όσο και ενημερωτικούς σκοπούς με στόχο στην ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας και των επισκεπτών της περιοχής ως προς τη μοναδικότητα και τη σημασία του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου.

## 2. Δεδομένα θεματικής χαρτογραφίας

Στην παρούσα εργασία τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για τη συμπλήρωση της Γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων και την παραγωγή των θεματικών χαρτών στην περίπτωση του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου είναι αναλογικά, ψηφιακά και ποιοτικά.

### 2.1 Αναλογικά Δεδομένα

Τα έγγραφα που οριοθετούν την έκταση της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους, των περιοχών απόλυτης προστασίας και κατοχυρώνουν την προστασία τους αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικά δεδομένα τα οποία ψηφιοποιήθηκαν προκειμένου να καταχωρηθούν στη βάση δεδομένων.

-Η προστατευόμενη περιοχή και οι περιοχές απόλυτης προστασίας σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 443 (ΦΕΚ αρ.φ.160 19/09/1985) σε κλίμακα 1:5.000.

-Οι προστατευόμενες περιοχές του δικτύου NATURA 2000 από την ελληνική έκδοση της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε κλίμακα 1:50.000.

-Επιμέρους περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος εντός της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου σε κλίμακα 1:5.000.

-Φωτογραφικό υλικό (έντυπο ή σε φιλμ) που έχει ληφθεί από αναλογικό εξοπλισμό.

-Στοιχεία από τις ερευνητικές εργασίες και δημοσιεύσεις για τις θέσεις σημαντικών ηφαιστειακών γεωτόπων και νέες απολιθωματοφόρες θέσεις.

-Στοιχεία από αδημοσίευτες εκθέσεις του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, οι οποίες αναφέρονται σε απολιθωματοφόρες θέσεις που εντοπίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του γεωπάρκου.

### 2.2 Ψηφιακά Δεδομένα

Αρκετά δεδομένα που είτε συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής, είτε προϋπαρχαν σε ψηφιακή μορφή συγκεντρώθηκαν επίσης για να καταχωρηθούν στη βάση, με σκοπό την αποθήκευση και μετέπειτα ανάλυσή τους.

-Δορυφορικές εικόνες της δυτικής Λέσβου οι οποίες παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Φυσικών Καταστροφών του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

-Ψηφιοποιημένα υπόβαθρα της Λέσβου και της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους τα οποία παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Χαρτογραφίας και



Γεωπληροφορικής του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

-Δεδομένα που προήλθαν από επιτόπια έρευνα στην περιοχή μελέτης, όπως για παράδειγμα συντεταγμένες από GPS.

-Φωτογραφικό υλικό που έχει ληφθεί με ψηφιακά μέσα.

### 2.3 Ποιοτικά Δεδομένα

Σε αυτή την ξεχωριστή κατηγορία δεδομένων ανήκουν το Έντυπο Καταγραφής Γεωτόπων, το Έντυπο Καταγραφής Απολιθωμάτων καθώς και η Καρτέλα Συντήρησης Απολιθώματος, τα οποία είχαν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό της βάσης. Τα πεδία που περιλαμβάνουν αποτελούν την ενδεικτική πληροφορία για τον προσδιορισμό ενός αντικειμένου (πχ. απολιθώμα) σε μια συγκεκριμένη θέση - γεώτοπο (πχ. πάρκο), στην ευρύτερη περιοχή του Γεωπάρκου Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου.

## 3. Θεματικοί χάρτες

Όλη η πληροφορία που σχετίζεται με το Απολιθωμένο Δάσος Λέσβου είτε σε αναλογική, είτε σε ψηφιακή μορφή, αξιοποιήθηκε για την δημιουργία μιας σειράς θεματικών χαρτών οι οποίοι αποτυπώνουν το καθεστώς προστασίας του μνημείου, αλλά και τις περιοχές προστασίας στην ευρύτερη περιοχή.

Δημιουργήθηκαν συγκεκριμένα 18 θεματικοί χάρτες σύμφωνα με τις ανάγκες του σχεδίου διαχείρισης με σκοπό την λειτουργικότερη κι αποτελεσματικότερη εφαρμογή του. Η χαρτογραφική απεικόνιση των γεωγραφικών δεδομένων ξεκινά από γενικό επίπεδο (Νήσος Λέσβος) και φτάνει σε ειδικό (πάρκα). Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των χαρτών, είναι το λογισμικό ArcGIS της ESRI. Η οργάνωση των δεδομένων έγινε στο ArcCatalog, ενώ ο σχεδιασμός των χαρτών έγινε στο ArcMap.

### 3.1 Οριοθέτηση της προστατευόμενης περιοχής

Για την εφαρμογή της πολιτικής προστασίας της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου απαιτείται σαφής καθορισμός των ορίων προκειμένου να αποφεύγονται τυχόν αμφισβητήσεις και διαμάχες που εμποδίζουν την επιβολή των απαραίτητων μέτρων προστασίας, εντός της περιοχής που καθορίζει το ισχύον θεσμικό πλαίσιο προστασίας.



Σχήμα 1. Χάρτης της Λέσβου με την της προστατευόμενη περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους (με στίγματα) και το όριο της ευρύτερης περιοχής που καλύπτεται από ηφαιστειακούς σχηματισμούς.

Η προστατευόμενη περιοχή του Απολιθωμένου Δάσους σύμφωνα με το ΠΔ 443/85, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της δυτικής χερσονήσου της νήσου Λέσβου με έκταση 150.000 στρέμματα [Σχήμα 1]. Η περιοχή αυτή οριοθετείται στην ανατολική της πλευρά από τους οδικούς άξονες Άντισσα-Γαβαθάς και Άντισσα – Ερεσός – Σκάλα Ερεσού. Το δυτικό όριο της προστατευόμενης περιοχής καθορίζεται από την ακτογραμμή του νησιού εντός από την περιοχή του κόλπου του Σιγρίου όπου επεκτείνεται καταλαμβάνοντας ένα σημαντικό θαλάσσιο τμήμα περιλαμβανομένης της νησίδας Νησιώπη, στην οποία έχουν εντοπισθεί σημαντικότερες απολιθωματοφόρες θέσεις.

Η προστατευόμενη περιοχή περιβάλλεται από μια ευρύτερη ζώνη η οποία καλύπτεται από ηφαιστειακούς σχηματισμούς στους οποίους έχουν επίσης εντοπισθεί σημαντικές απολιθωματοφόρες θέσεις από τις ερευνητικές προσπάθειες του Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου (Ζούρος 2005).

### 3.2. Πάρκα επίσκεψης Απολιθωμένου Δάσους

Εντός της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου αλλά και στην ευρύτερη περιοχή του γεωπάρκου, δημιουργήθηκαν πάρκα επίσκεψης του Απολιθωμένου δάσους σε περιοχές στις οποίες παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση απολιθωμένων κορμών [Σχήμα 2]. Τα πάρκα αυτά βρίσκονται τόσο εντός της προστατευόμενης περιοχής, όπου βρίσκονται το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου (1), το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Σιγρίου (2), το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Πλάκας (3) και το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Νησιώπης, αλλά και εκτός αυτής όπως το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Σκαμιούδας Άντισσας.

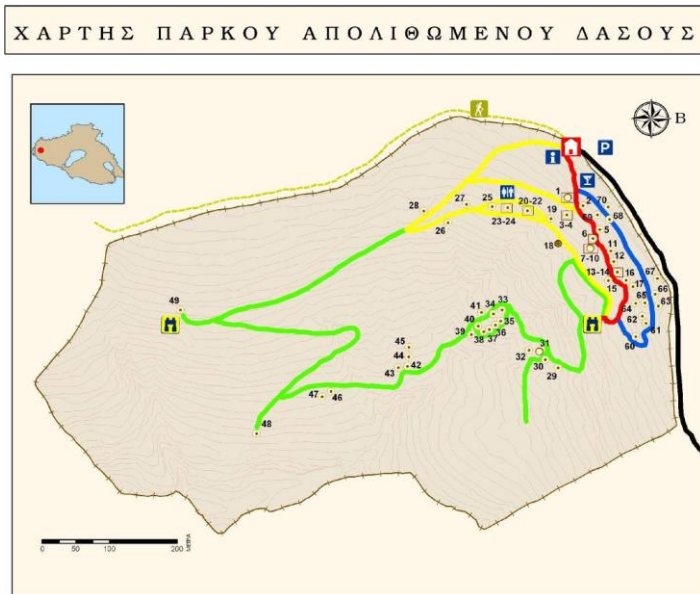


Σχήμα 2. Χάρτης της προστατευόμενης περιοχής του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου με τις θέσεις των πάρκων επίσκεψης

#### 3.2.1. Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου

Το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους είναι το πρώτο πάρκο επίσκεψης που δημιουργήθηκε το 1987. Βρίσκεται στη θέση Μπαλή Αλώνια, 8 χιλιόμετρα από τον οικισμό του Σιγρίου και αποτελεί περιοχή απόλυτης προστασίας σύμφωνα με το ΠΔ 443/85. Η περιοχή του πάρκου, η οποία καλύπτει συνολική έκταση 286,5 στρεμμάτων ήταν γνωστή από το 18ο αιώνα ως «Κύρια Απολιθωμένη» λόγω του μεγάλου αριθμού απολιθωμένων κορμών που υπάρχουν σε αυτή [Ζούρος και άλλοι, 2000].

Ο θεματικός χάρτης που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει 70 απολιθωματοφόρες θέσεις οι οποίοι ομαδοποιήθηκαν με τρόπο που να διευκολύνεται ο επισκέπτης να κατανοήσει καλύτερα τις διαφορετικές ζώνες βλάστησης που παρατηρούνται στο Πάρκο [Σχήμα 3], μέσα από τις τέσσερις θεματικές πεζοπορικές διαδρομές που έχουν χαραχθεί. Στον ίδιο θεματικό χάρτη σημειώνονται επίσης οι θέσεις θέας, το φυλάκιο εισόδου, το αναψυκτήριο, καθώς και τμήμα πληροφοριών.



Σχήμα 3. Χάρτης Πάρκου Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, με τις επισκέψιμες απολιθωματοφόρες θέσεις και τις περιπατητικές διαδρομές.



Σχήμα 4. Χάρτης Πάρκου Σιγγρίου δίπλα στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου

### 3.2.2. Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Σιγρίου

Το Πάρκο Απολιθωμένου Δάσους Σιγρίου [Σχήμα 4] αποτελεί το δεύτερο πάρκο επίσκεψης που βρίσκεται ανατολικά του οικισμού του Σιγρίου, δίπλα στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, καλύπτοντας συνολική έκταση 30 στρεμμάτων. Στην περιοχή του πάρκου πραγματοποιήθηκαν συστηματικές ανασκαφές, που έφεραν στο φως σημαντικά ευρήματα.

Ο θεματικός χάρτης που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει τις απολιθωματοφόρες θέσεις, που περιλαμβάνουν θέσεις ισταμενων απολιθωμένων κορμών, θέσεις κατακείμενων κορμών και φυλλοφόρους ορίοντες, ηφαιστειακούς γεωτόπους, την περιπατική διαδρομή, θέσεις ενημερωτικών πινακίδων και θέας.

### 3.3. Χάρτης Γεωτόπων Λέσβου

Ένας από τους σημαντικότερους θεματικούς χάρτες που δημιουργήθηκε είναι ο χάρτης των Γεωτόπων της Λέσβου [Σχήμα 5]. Οι γεωτοποι της Λέσβου ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες [Zouros and Labaki, 2005]:



Σχήμα 5. Χάρτης γεωτόπων νήσου Λέσβου

- απολιθωματοφόρες θέσεις (κίτρινες βούλες)
- θέσεις ηφαιστειακών κρατήρων (κόκκινη κλειστή γραμμή)
- θέσεις ηφαιστειακών γεωτόπων (κόκκινες βούλες)
- θερμές πηγές (πορτοκαλί βούλες)
- θέσεις τεκτονικού ενδιαφέροντος, όπως ρήγματα και πτυχώσεις, (πράσινα τρίγωνα)
- θέσεις καρστικών δομών σπήλαια (μπλέ βούλες)
- αρχαία λατομεία και μεταλλεία (καφέ βούλες)

Ο χάρτης αυτός επιτρέπει στον επισκέπτη του Γεωπάρκου να έχει μια συνολική εικόνα για την γεωποικιλότητα της περιοχής και για το πλήθος των σημείων ενδιαφέροντος που θα μπορούσε να επισκεφθεί.

#### 4. Συμπεράσματα

Εξετάζοντας το παράδειγμα του Απολιθωμένου Δάσους της Λέσβου, ένα από τα σημαντικότερα μνημεία της φυσικής κληρονομιάς της Ελλάδας, το οποίο περιλαμβάνεται στο Ευρωπαϊκό και το Παγκόσμιο Δίκτυο Γεωπάρκων της UNESCO, διαπιστώνει κανείς πως η στρατηγική προστασίας και ανάδειξης των απολιθωματοφόρων θέσεων και των ηφαιστειακών γεωτόπων και ήπιας τουριστικής ανάπτυξη της περιοχής της Δυτικής Λέσβου, συνδέει αποτελεσματικά την προστασία και την ανάδειξη ενός φυσικού μνημείου, με την ανάπτυξη σημαντικών οικονομικών δραστηριοτήτων σε τοπικό επίπεδο.

Η αποτελεσματική διαχείριση της προστατευόμενης περιοχής απαιτεί την εκπόνηση και εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου διαχειριστικού σχεδίου του οποίου ο βασικότερος άξονας δράσης είναι η επιστημονική έρευνα για την αναγνώριση, τεκμηρίωση και καταγραφή των γεωτόπων και άλλων θέσεων ενδιαφέροντος της περιοχής του Απολιθωμένου δάσους οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο αξιοποίησης.

Οι ερευνητικές εργασίες περιλαμβάνουν την λεπτομερή αναγνώριση, χαρτογράφηση και καταγραφή των απολιθωματοφόρων εμφανίσεων και των ηφαιστειακών γεωτόπων και την συστηματική ανασκαφική έρευνα, τη συλλογή, συστηματική μελέτη και προσδιορισμό των ευρημάτων καθώς και τον καθαρισμό, συντήρηση, συγκόλληση και αισθητική αποκατάσταση των απολιθωμάτων.

Σε όλες τις παραπάνω εργασίες ο ρόλος της θεματικής χαρτογραφίας είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την δημιουργία όλων των απαραίτητων θεματικών χαρτών. Η οργάνωση της πληροφορίας στη Γεωγραφική Βάση Δεδομένων επιτρέπει την παραγωγή ποικίλων ειδικών θεματικών χαρτών οι εξυπηρετούν τόσο διαχειριστικούς όσο και ενημερωτικούς σκοπούς.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν 18 θεματικοί χάρτες που υπηρετούν τους στόχους του σχεδίου διαχείρισης και απευθύνονται τόσο στους διαχειριστές όσο και στους επισκέπτες της περιοχής.

Με τον τρόπο αυτό η θεματική χαρτογραφία συμβάλει αποτελεσματικά στη βελτίωση της προστασίας του μνημείου από υπάρχοντες και δυνητικές απειλές και κινδύνους. Η καταγραφή και τεκμηρίωση των σημείων ενδιαφέροντος και η καταγραφή στοιχείων που αφορούν την ανάδειξη και συντήρησή τους καθιστά αποτελεσματικότερη την προστασία και τη φύλαξη του μνημείου. Επίσης η παραγωγή ενημερωτικού και πληροφοριακού υλικού που διευκολύνει την πρόσβαση του επισκέπτη σε άγνωστες θέσεις και συμβάλει στην ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας και των επισκεπτών της περιοχής ως προς τη σημασία του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου και των γεωτόπων της Λέσβου.

**Βιβλιογραφία**

Βελιτζέλος, Ε., Ζούρος, Ν., Βελιτζέλος, Δ. (2001α). Συμβολή στη μελέτη της παλαιοχλωρίδας του Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου. Διεθνές Συνέδριο: Προστατευόμενες Φυσικές Περιοχές και Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Σίγρι Λέσβου 24-26/9/1999, σελ.160-169.

Βελιτζέλος, Ε., Ζούρος, Ν., Σεραϊδής, Π., Κοντής, Ε. (2001β). Το γεω-πάρκο Σιγρίου - Συμβολή στη μελέτη, ανάδειξη και διαχείριση του Απολιθωμένου Δάσους της Λέσβου. Διεθνές Συνέδριο: Προστατευόμενες Φυσικές Περιοχές και Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Σίγρι Λέσβου 24-26/9/1999, σελ.263-278.

Ζούρος, Ν., Κοντής, Β., Σεραϊδής, Π., Κράλης, Φ. (2000). Οδηγός Πάρκου Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, Ένα μοναδικό μνημείο της φύσης. Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, Λέσβος.

Zouros, N., Labaki, O. (2005). Geoconservation, Promotion and Management of geosites on Lesvos Island: The Lesvos Petrified Forest Geopark. Abstracts Volume: 6th European Geoparks Meeting. Lesvos 10/2005. pp.88.

Zouros N. (2004). The European Geoparks Network Geological heritage protection and local development. Episodes, 27/3, 165-171.

Zouros N. (2005). Assessment, protection and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. *Γεομορφολογία: relief, processus, environnement*, no 3, 227-234.

Zouros, N., Martini G., Frey M.-L. (Eds) (2003). Proceedings of the 2nd European Geoparks Network Meeting, 2001, Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest, Lesvos, 184 p.

Ντάφης, Σ., Παπαστεργιάδου, Ε., Γεωργίου, Κ., Μπαμπαλώνας, Δ., Γεωργιάδης, Θ., Παπαγεωργίου Μ., Λαζαρίδου, Θ., Τσιαούση, Β. (1997). Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Το έργο των Οικοτόπων στην Ελλάδα: Δίκτυο ΦΥΣΗ 2000. Β4-3200/84/756. Γεν. Διεύθυνση ΧΙ Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, Ελληνικό κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων.

UNEP (1976). Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution (1976). (διαθέσιμο στο: <http://www.unep.ch/seas/main/med/medconvi.html>, τελευταία επίσκεψη 9/2006)

UNESCO (2004). International Network of Geoparks. (διαθέσιμο στο: [http://www.unesco.org/science/earth\\_sciences/geoparks/geoparks.htm](http://www.unesco.org/science/earth_sciences/geoparks/geoparks.htm) τελευταία επίσκεψη 4/2006).

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΟΥΛΑΝΤΑ, ΝΟΜΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ**Λέκκας Ε.<sup>1</sup>, Λόγος Ε.<sup>1</sup>, Τσιούμας Β.<sup>2</sup>, Θεοχάρης Δ.<sup>1</sup><sup>1</sup>Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος<sup>2</sup>Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών**Περίληψη**

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι πηγές Σουλαντά που βρίσκονται στο νομό Καρδίτσας. Οι πηγές αναβλύζουν σε τέσσερα κύρια σημεία μέσα από τις ψαμμιτικές ενδαστρώσεις του φλύσχη της γεωτεκτονικής ενότητας της Δυτικής Θεσσαλίας. Στα σημεία εκφόρτισης των πηγών δεν έχουν γίνει τα κατάλληλα έργα υδρομάστευσης με αποτέλεσμα η εκμετάλλευσή τους να γίνεται με πρωτόγονες μεθόδους και οι συνθήκες των λουομένων δεν είναι οι κατάλληλες. Βάση των επιτόπου μετρήσεων καθώς και των υδροχημικών αναλύσεων διαπιστώθηκε ότι το νερό είναι εφάμιλλο με εκείνο του Σμόκοβου και είναι από τα καλύτερα της χώρας μας. Πρόκειται για χαρακτηριστικές αλκαλικές θερμοπηγές.

**THE EXPLOITATION OF THE SOULANTA THERMAL SPRINGS,  
KARDITSA PREFECTURE**Lekkas E.<sup>1</sup>, Logos E.<sup>1</sup>, Tsioumas V.<sup>2</sup>, Theocharis D.<sup>1</sup><sup>1</sup>University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment<sup>2</sup>Institute of Geology and Mineral Exploration**Abstract**

In the present study the Soulanta springs located within the Karditsa Prefecture is presented. The springs discharge at four main locations through the psammitic intercalations within the flysch of Westrn Thessaly (nappe) geotectonic unit. At the discharge points of the springs inefficient works of recovery system result into primitive exploitation methods and inappropriate conditions of thermal bathing. Based on in situ measurements and hydrochemical analysis it was concluded that the Soulanta water is similar to Smokovo water and of the finest quality in Greece. It is typical example of alcalic thermal springs.

**Λέξεις κλειδιά:** Ελλάδα, νομός Καρδίτσας, θερμές πηγές, αξιοποίηση.**Key words:** Greece, Karditsa Prefecture, thermal springs, exploitation.**1. Εισαγωγή**

Οι πηγές Σουλαντά βρίσκονται στα όρια των παλαιών Κοινοτήτων Αηδονοχωρίου και Βαθύλακου του νομού Καρδίτσας. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή των πηγών βρίσκεται 2 χιλ. ανατολικά του Δ.Δ. Βαθύλακου, περίπου 4 χιλ. βόρεια του Δ.Δ. Αηδονοχωρίου και περίπου 30 χιλ. νότια της Καρδίτσας. Η περιοχή των πηγών ανήκει στον ορεινό όγκο των νότιων απολήξεων των Αγράφων που αποτελείται από επιμέρους οροσειρές, γενικής διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ, οι οποίες διακόπτονται από απότομες χαράδρες.

Ειδικότερα, η στενή περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα οι πηγές Σουλαντά βρίσκονται σε υψόμετρο από 465 έως 475 μέτρα, στη νοτιοανατολική όχθη του χειμάρρου Ρέματος, περίπου ένα χιλιόμετρο πριν τη συμβολή του με το ρέμα της Αγ. Μαρίας, κλάδου του Μοσχοβίτικου ποταμού. Ο χειμάρρος Ρέμα έχει γενική διεύθυνση ΝΝΔ-ΒΒΑ. Όπως θα

αιτιολογηθεί και στα επόμενα κεφάλαια, επειδή το νερό είναι εφάμιλλο με εκείνο του Σμοκόβου και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα καλλίτερα της χώρας, πρέπει να βελτιωθούν οι συνθήκες λούσης των λουομένων.

Οι πηγές έχουν φυσική ανάβλυση και δεν έχει γίνει καμία ενέργεια υδρομάστευσης. Τα νερά των πηγών χρησιμοποιούνται για λουτροθεραπεία κάτω από πρωτόγονες συνθήκες. Υπάρχουν τρεις λάκκοι σκεπασμένοι με νάιλον εντός των οποίων εκτελούνται οι λούσεις.

## 2. Γεωλογία

Η ευρύτερη περιοχή των πηγών δομείται από αλπικούς και μεταλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς (Εικ. 1).

### 2.1 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Πλευρικά κορήματα. Αποτελούνται κυρίως από λατύπες, συνήθως ασύνδετες ή χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη αργίλο-πηλό. Οι λατύπες και η άμμος κύρια προέρχονται από τον ψαμμίτη του φλύσχη και ο αργίλο-πηλός από τους ηηλίτες του φλύσχη.

Ποτάμιες αναβαθμιδές. Αποτελούνται κυρίως από τρόχμαλους, κροκάλες διαφόρων μεγεθών, άμμους και αργίλους. Οι κροκάλες προέρχονται από τους ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή του φλύσχη, ενώ υπάρχει μικρός αριθμός από ανθρακικές και πυριτικές. Το πάχος τους κυμαίνεται από μερικές δεκάδες εκατοστά έως λίγα μέτρα και απαντώνται κυρίως στις όχθες των ποταμών και των χειμάρρων σε διάφορα υψόμετρα. Το στοιχείο αυτό φανερώνει τόσο τις μεταβολές του κλίματος όσο και τη διαφοροποίηση στις συνθήκες απόθεσης ή και διάβρωσης αυτών.

### 2.2 Αλπικοί σχηματισμοί

Ο μόνος αλπικός σχηματισμός που απαντάται είναι ο φλύσχη της γεωτεκτονικής ενότητας της Δυτικής Θεσσαλίας (Παπανικολάου & Λέκκας, 1979; Λέκκας 1991).

Στη στενή αλλά και στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος κυριαρχεί το ψαμμιτικό μέλος σε σχέση με το ηηλιτικό, ενώ απαντώνται και κροκαλοπαγή. Το πάχος των ψαμμιτικών πάγκων κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως λίγα μέτρα. Πρόκειται για ασβεστιτικούς ψαμμίτες κυρίως χονδόκοκκους αρκετά συμπαγείς με χρώμα γκρίζο και γκριζοπράσινο καθώς και φαιό έως ανοικτόφαιο. Είναι έντονα τεκτονισμένοι με επιχρίσματα κυρίως από μαγγάνιο. Το φαινόμενο πάχος του φλύσχη στην περιοχή υπερβαίνει κατά πολύ τα 419 μέτρα, όπως αποδεικνύεται από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που έγιναν από το ΙΓΜΕ (ΣΦΕΤΣΟΣ, 1984).

## 3. Τεκτονική - Νεοτεκτονική

Η τεκτονική παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών έχει πραγματοποιηθεί σε δύο μεγάλες περιόδους την αλπική και την μεταλπική ή νεοτεκτονική.

Κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο παρατηρούνται περισσότερες της μίας παραμορφωτικές φάσεις, ενώ στο σύνολό τους όλοι οι αλπικής ηλικίας σχηματισμοί έχουν υποστεί την τελευταία παραμορφωτική φάση του αλπικού ορογενετικού κύκλου. Γενικά στο σύνολό τους, οι αλπικές παραμορφωτικές φάσεις εκδηλώνονται με πτυχές σε διάφορες κλίμακες παρατήρησης, με ρηματογόνο τεκτονισμό (κυρίως ανάστροφα ρήγματα και λεπίώσεις) και με επωθήσεις.

Στη δεύτερη περίοδο, που είναι γνωστή ως Μεταλπική ή Νεοτεκτονική φάση παραμόρφωσης, κυριαρχεί ο θραυσιγενής τεκτονισμός (ρηξιγενείς ζώνες, ρήγματα) χωρίς να λείπει και ο πλαστικού τύπου τεκτονισμός (ανοικτές πτυχές).

Εντός του φλύσχη απαντώνται πτυχές διαφόρων ειδών (κλειστές, ανοικτές, κεκλιμένες, ισοκλινείς, κλπ). Οι άξονες που μετρήθηκαν έχουν διευθύνσεις κυρίως ΒΔ-ΝΑ και κατά

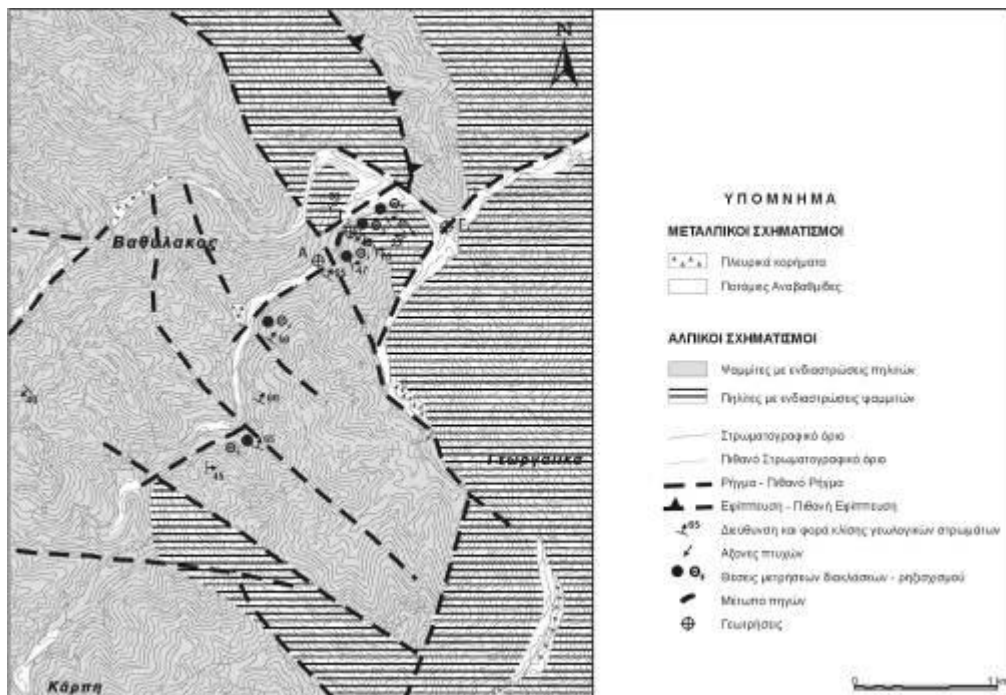


δεύτερο λόγο ΒΑ-ΝΔ. Η βύθιση των αξόνων κυμαίνεται από 0-25°ΒΑ, ΝΔ, ΒΔ και ΝΑ.

Είναι χαρακτηριστικό ότι η ύπαρξη πολλών ρηγμάτων – ρηξιγενών ζωνών στη στενή αλλά και στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος έχει σαν αποτέλεσμα τον κατακερματισμό των γεωλογικών σχηματισμών. Οι ρηξιγενείς ζώνες που επικρατούν έχουν γενικές διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ, Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ.

Παρατηρήθηκε μεγάλος αριθμός διακλάσεων που μετρήθηκε σε πέντε αντιπροσωπευτικές θέσεις (Εικ. 1) και διαπιστώθηκε ότι το πρωτεύον σύστημα είναι διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, το δευτερεύον σύστημα είναι διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ, το τριτεύον σύστημα είναι διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ, και το υπολειπόμενο σύστημα είναι διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ.

Παρουσιάζεται διαφοροποίηση της φοράς μέγιστης κλίσης, που οφείλεται στο ότι σε πολλές περιπτώσεις οι διακλάσεις αντιπροσωπεύουν ρηξισχισμούς. Πρέπει να τονιστεί ότι τόσο οι διακλάσεις όσο και ο ρηξισχισμός αποτελούν σημαντικούς παράγοντες στη διακίνηση του υπόγειου νερού δεδομένης της μικρής περατότητας των υπογείων στρωμάτων του φλύσχη.



Εικ. 1. Γεωλογικός χάρτης της στενής και της ευρύτερης περιοχής των πηγών.

#### 4. Υδρογεωλογία.

Η κίνηση του υπόγειου νερού ελέγχεται κυρίως από τους πρωτογενείς παράγοντες, δηλαδή τη φύση, τη σύσταση και την εσωτερική διάταξη των πετρωμάτων καθώς επίσης και από δευτερογενείς παράγοντες δηλαδή τις ασυνέχειες οι οποίες διακόπτουν τους σχηματισμούς.

Από υδρολιθολογική άποψη μπορεί να γίνει ο ακόλουθος διαχωρισμός:

- Πλευρικά κορήματα. Πρόκειται για σχηματισμό με υδροπερατότητα η οποία μεταβάλλεται από θέση σε θέση, τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια, λόγω της ανομοιογενούς σύστασής τους. Έτσι στις θέσεις που υπερτερεί ο αμμώδης πηλός η περατότητα είναι σχετικά μικρή, ενώ στις θέσεις που παρατηρείται μεγάλη συσσώρευση λατυπών η περατότητα είναι μεγάλη. Στο σύνολό του ο σχηματισμός παρουσιάζει σημαντική υδροπερατότητα διότι υπερτερούν η άμμος, που προέρχεται από τη διάβρωση του ψαμμίτη του φλύσχη, καθώς και οι ψαμμιτικές λατύπες.
- Ποτάμιες αναβαθμίδες. Πρόκειται για σχηματισμό με μεγάλη υδροπερατότητα εξαιτίας της σύστασής του (κυρίως τρόχμαλους, κροκάλες διαφόρων μεγεθών, άμμους και αργίλους).
- Φλύσχης ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας. Ο σχηματισμός του φλύσχη θεωρείται πρακτικά αδιαπέρατος εφόσον δεν παρουσιάζονται σε αυτόν τεκτονικές ασυνέχειες, οι οποίες να διακόπτουν τη συνέχειά του και να προσδίδουν σε αυτόν δευτερογενές πορώδες.

Στα αργιλικά ιζήματα η περατότητα σε γενικές γραμμές είναι πολύ μικρή. Σε ότι αφορά στους ψαμμίτες, η περατότητα επηρεάζεται από την ταξινόμηση και το σχήμα των κόκκων και ιδιαίτερα από το βαθμό συμπαγοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα ο συντελεστής περατότητας σε μεμονωμένο δείγμα ψαμμίτη κυμαίνεται από  $k=10^{-4}$  –  $10^{-5}$  m/sec και για μεμονωμένο δείγμα αργίλου  $k=10^{-6}$  –  $10^{-9}$  m/sec (δηλαδή αδιαπέρατο).

Σχετικά με το συγκεκριμένο σχηματισμό της ευρύτερης περιοχής θα έχει συντελεστή περατότητας που η τιμή του θα μεταβάλλεται τοπικά ανάλογα με την παρουσία ψαμμίτη ή αργίλου – πηλίτη ή κροκαλοπαγούς.

Πρόσθετα, ο προσδιορισμός του ολικού πορώδους είναι αρκετά δύσκολο να γίνει. Βιβλιογραφικά δεδομένα δίνουν το ολικό πορώδες για τον ψαμμίτη με τιμές  $m=5-30\%$  και για την άργιλο  $m=8-30\%$ , ενώ το ενεργό πορώδες για τον ψαμμίτη  $2-8\%$  και για τις αργίλους σχεδόν  $0\%$ .

Στην ανωτέρω περατότητα θα πρέπει να συνυπολογιστεί η μεγάλη αύξηση που παρουσιάζεται δευτερογενώς λόγω των πολλών τεκτονικών ασυνεχειών (διακλάσεις, ρηξιγενείς ζώνες) που υπάρχουν στην περιοχή. Είναι αξιοσημείωτο ότι σε διάφορες θέσεις υπάρχει κατακερματισμός του ψαμμίτη, ο οποίος χάνοντας τη συνεκτικότητά του, συμπεριφέρεται υδρογεωλογικά σαν χονδρόκοκκη άμμος.

Στη μελετηθείσα περιοχή η κατεισδυση των υδάτων έχει άμεση σχέση με την υδροπερατότητα των σχηματισμών αλλά και την τοπογραφία του ανάγλυφου. Έτσι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που πέφτουν:

- Στα πλευρικά κορήματα, στις ποτάμιες αναβαθμίδες και στα τμήματα του φλύσχη, στα οποία έχουμε κύρια ψαμμιτικές ή κροκαλοπαγείς εμφανίσεις, είτε απορρέουν επιφανειακά προς τα χαμηλότερα σημεία, είτε κατεισδύουν στο υπέδαφος μέχρι να συναντήσουν μικρότερης περατότητας γεωλογικό σχηματισμό και τότε το μεγαλύτερο τμήμα τους κινείται παράλληλα προς την επιφάνεια αυτή.
- Στα μέλη του φλύσχη στα οποία υπερισχύει η πηλιτική φάση απορρέουν κύρια επιφανειακά προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία.

Από τα δεδομένα που υπάρχουν για την περιοχή από γεωλογικό, τεκτονικό και υδρολιθολογικό καθεστώς και από τις επιστημονικές θεωρήσεις – απόψεις κυκλοφορίας τόσο των γεωθερμικών πηγών όσο και για την προέλευση των θερμομεταλλικών πηγών συνάγεται το συμπέρασμα ότι:

- Τα νερά που κατεισδύουν αφού φτάσουν σε κάποιο βάθος αποκτούν θερμοκρασία ικανή ώστε να διαλύουν διάφορα άλατα του φλύσχη ή και άλλων γεωλογικών σχηματισμών που πιθανόν να συναντούν στην πορεία τους και στη συνέχεια στην ανοδική πορεία τους λόγω

της πίεσης των αερίων μεταφέρουν τα ιόντα στην επιφάνεια.

- Τα νερά ανέρχονται και αναβλύζουν στην επιφάνεια διάμεσου ρηξιγενούς ζώνης ή διασταύρωση ρηξιγενών ζωνών στην περιοχή των πηγών.

Το βάθος που θα πρέπει να φτάσουν τα κατεισδύοντα νερά λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη γεωθερμική βαθμίδα υπολογίζεται ότι πρέπει να είναι περίπου 1.200 έως 1.300 μέτρα. Αυτό το βάθος θεωρείται υπερβολικό στην παρούσα περίπτωση και λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη αντιστοιχιών νερού – πηγών με την περιοχή Σμοκόβου πιθανότερο θεωρείται η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου, το οποίο θερμαίνει το νερό σε μικρότερο βάθος.

## 5. Υδροχημεία.

Οι πηγές Σουλαντά αναβλύζουν σε υψόμετρο 465 έως 475 μέτρων μέσα από φαιμυτικές ενδιαστρώσεις που ανήκουν στο φλύσχη της ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας, ο οποίος είναι έντονα τεκτονισμένος. Σε απόσταση 100 μέτρα περίπου νότια του μετώπου των πηγών υπάρχει πηγή που είναι στα κτήματα του κυρίου Αντωνόπουλου ο οποίος έχει ανορύξει και γεώτρηση.

Τα νερά των πηγών έχουν φυσική ανάβλυση σε τέσσερα κύρια σημεία, ενώ υπάρχει και μια δευτερεύουσα ανάβλυση πολύ κοντά στη μία κύρια η οποία θεωρείται ενιαία με την κύρια. Στα σημεία εκφόρτισης των πηγών δεν έχουν γίνει τα αντίστοιχα έργα υδρομάστευσης και η εκμετάλλυσή τους γίνεται με πρωτόγονες συνθήκες.

Επί τόπου πραγματοποιήθηκαν άμεσα μετρήσεις φυσικών και χημικών στοιχείων στις πηγές και στις γεωτρήσεις και πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ύδατος για χημικές αναλύσεις.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά στοιχεία

Πηγή/Γεώτρηση	Θερμοκ. Αέρος (σε οC)	Θερμοκ. Ύδατος (σε οC)	Αγωγιμότητα (σε mSimens)	Παροχή (σε m <sup>3</sup> /h)	Διαρροές παροχής %
Π1	17,6	33,3	280	1	20
Π2	17,5	35,6	284	1	
Π3	19,8	35,7	289	2	25-30
Π4	17,3	35,5	281	2,2	25
Π Αντωνόπουλου	20,2	19,2	471	0,18	
Γ1 (αρτεσιανή)	15,6	22,6	293	1	
Γ2 (αρτεσιανή)	17,2	24,1	217	0,15	
Γ Αντωνόπουλου	20,2	19.2 21.7*	295 247*	5,5 3 σταθερά*	

\*μετά από άντληση δύο (2) ωρών.

Από τα φυσικοχημικά στοιχεία θεωρείται ότι η πηγή «Αντωνόπουλου» δεν ανήκει στο σύστημα των θερμομεταλλικών πηγών Σουλαντά.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά τις μετρήσεις των παροχών επειδή δεν υπάρχει η παραμικρή υδρομάστευση των πηγών, ήταν αδύνατος ο ακριβής υπολογισμός της παροχής. Οι τιμές που δίνονται είναι αυτές που πραγματικά μετρήθηκαν, ενώ οι απώλειες υπολογίσθηκαν κατ'εκτίμηση.

Η συνολική παροχή των πηγών Π1, Π2, Π3, Π4 μετρήθηκε στα 6,2 m<sup>3</sup>/h. Υπολογίζεται ότι η πραγματική παροχή είναι 8,5 – 9 m<sup>3</sup>/h.

Από την αξιολόγηση των χημικών αναλύσεων προκύπτει ότι οι κύριες πηγές Π1, Π2, Π3, Π4 έχουν τον ίδιο χημισμό και οι γεωτρήσεις του ΙΓΜΕ Γ1, Γ2 παραπλήσιο. Η μικρή διαφοροποίηση της γεώτρησης του Θ. Αντωνόπουλου έχει ερμηνευθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Συνεπώς από τη συσχέτιση και με τις φυσικοχημικές σταθερές προκύπτει ότι το νερό των Π1, Π2, Π3, Π4 και Γ1, Γ2 προέρχεται από το ίδιο υδροφόρο στρώμα και έχει ακολουθήσει την ίδια υπόγεια πορεία. Πιθανόν το ίδιο να γίνεται και με το τμήμα του νερού του κ. Θ. Αντωνόπουλου.

Πίνακας 2. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού των Πηγών και των Γεωτρήσεων

Στοιχεία δειγματος	Χηλαιοισοδύναμα ανα λίτρο me/lit											θ=25°C		Σκληρότητα (mg/lit) CaCO <sub>3</sub>			Δείκτης πιθανής ρυπαυσης	
	ΚΑΤΙΟΝΤΑ					ΑΝΙΟΝΤΑ						pH	Αγωγιμότητα μS/cm	Ολική	Μόνιμη	Παροδική	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	total	total	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>							
Π1	0.06	0.02	2.60	0.02	2.70	2.80	2.44	0.02	0.10	0.24	0.00	9.50	285	4	0	4	Αρν	Αρν
Π2	0.06	0.02	2.60	0.02	2.70	2.79	2.44	0.02	0.10	0.23	0.00	9.50	285	4	0	4	Αρν	Αρν
Π3	0.06	0.02	2.62	0.02	2.72	2.76	2.32	0.06	0.15	0.23	0.00	9.50	285	4	0	4	Αρν	Αρν
Π4	0.06	0.02	2.62	0.02	2.72	2.73	2.36	0.02	0.20	0.15	0.00	9.50	285	4	0	4	Αρν	Αρν
Γ1 (αρτεσιανή)	0.06	0.02	2.50	0.01	2.59	2.52	2.12	0.02	0.30	0.08	0.00	9.50	295	4	0	4	Αρν	Αρν
Γ2 (αρτεσιανή)	0.06	0.02	2.00	0.01	2.09	2.00	1.68	0.02	0.20	0.10	0.00	9.50	215	4	0	4	Αρν	Αρν
Γ Αντωνόπουλου	0.06	0.02	2.32	0.01	2.41	2.44	1.48	0.36	0.20	0.40	0.00	9.50	250	4	0	4	Αρν	Αρν

Πίνακας 3. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού ξηρής περιόδου έτους 1999

Στοιχεία δειγματος	ΧΙΣΙΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑ ΛΙΤΡΟ mg/lit										Fe <sup>++</sup> ppb	Mn <sup>++</sup> ppb	Cu <sup>++</sup> ppb	Zn <sup>++</sup> ppb	Cd ppb	Pb <sup>++</sup> ppb	SiO <sub>2</sub> ppm
	ΚΑΤΙΟΝΤΑ				ΑΝΙΟΝΤΑ												
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>								
Π1	1.2	0.2	59.8	0.8	73.2	1.2	3.5	11.5	0.0	60	<10	<10	<20	<3	<30	5.0	
Π2	1.2	0.2	59.8	0.8	73.2	1.2	3.5	11.0	0.0	30	<10	<10	<20	<3	<30	5.0	
Π3	1.2	0.2	60.2	0.8	69.6	3.7	5.3	11.0	0.0	30	<10	<10	<20	<3	<30	5.0	
Π4	1.2	0.2	60.2	0.8	70.8	1.2	7.1	7.2	0.0	90	<10	<10	<20	<3	<30	5.0	
Γ1 (αρτεσιανή)	1.2	0.2	57.5	0.4	63.6	1.2	10.6	3.8	0.0	30	<10	<10	<20	<3	<30	5.6	
Γ2 (αρτεσιανή)	1.2	0.2	46.0	0.4	50.4	1.2	7.1	4.8	0.0	30	<10	<10	<20	<3	<30	4.5	
Γ Αντωνόπουλου	1.2	0.2	53.3	0.4	44.4	22.0	7.1	19.2	0.0								

Από τις διάφορες ταξινομήσεις θερμομεταλλικών πηγών που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα και οι οποίες αναφέρονται στην εικόνα 2 (Καλλέργης 1986), έχει επικρατήσει αυτή του Castany, που είναι η ακόλουθη:

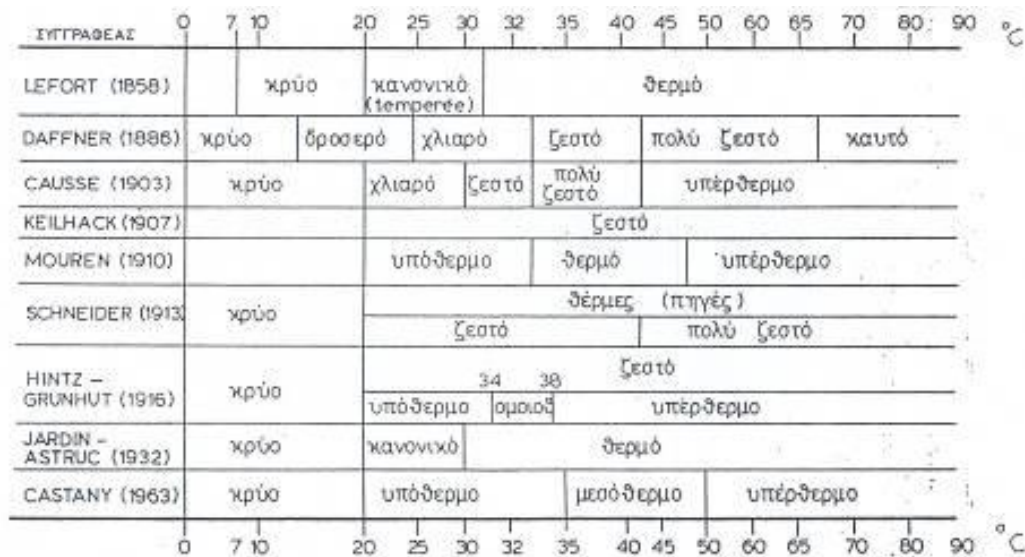
- Υπέρθερμες πηγές με θερμοκρασία  $50 < T < 100 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Μεσόθερμες πηγές με θερμοκρασία  $35 < T < 50 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Υπόθερμες πηγές με θερμοκρασία  $20 < T < 35 \text{ } ^\circ\text{C}$   
Όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$  τότε οι πηγές ονομάζονται ψυχρές.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση Castany, τα νερά των πηγών και των γεωτρήσεων κατατάσσονται ως ακολούθως: στις υπόθερμες ανήκει η Π1, στις μεσόθερμες η Π2, Π3, Π4 και στις υπέρθερμες η Γ1, Γ2 και η Γεώτρηση Αντωνόπουλου

Οι τιμές του pH τόσο στις πηγές όσο και στις γεωτρήσεις είναι σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται από 9,50 έως 9,60. Η τιμή του pH χαρακτηρίζει τα νερά σαν βασικά ενώ οι μικρές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δείχνουν μικρή περιεκτικότητα των νερών σε διαλυμένα άλατα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία, τα οποία παρατίθενται, επιβεβαιώνεται ότι από τα διαγράμματα κατά Shoeller, οι πηγές Σουλαντά και Σμοκόβου είναι χαρακτηριστικές αλκαλικές θερμοπηγές.

Η ύπαρξη των ιόντων και ενώσεων που υπάρχουν στις χημικές αναλύσεις συσχετίζονται άμεσα με τα πετρώματα που απαντώνται στη στενή και στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικ. 2. Ταξινομήσεις θερμών νερών (ΚΑΛΜΕΡΓΗΣ, 1986)

## 6. Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που έχουν προαναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούν να διατυπωθούν οι ακόλουθες απόψεις:

- Από τα φυσικοχημικά στοιχεία των νερών των πηγών, αυτά κατατάσσονται στο όριο των κατηγοριών των υπόθερμων και μεσόθερμων θερμομεταλλικών πηγών (κατά Castany). Πρόκειται για καθ' αυτού αλκαλικών και από ιαματικής πλευράς είναι από τις πιο αξιόλογες, στον Ελλαδικό χώρο, γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για λουτροθεραπεία όσο και για ποσιθεραπεία με άριστα αποτελέσματα, γεγονός που συμβαίνει σε ελάχιστες από τις αξιοποιημένες Ελληνικές ιαματικές πηγές. Στην περίπτωση που τα νερά χρησιμοποιηθούν για

ποσιθεραπεία θα πρέπει να γίνουν λεπτομερείς βιολογικές και χημικές αναλύσεις για να εξακριβωθεί αν υπάρχουν παθογόνοι οργανισμοί ή επικίνδυνα για την υγεία ιχθυοστοιχεία π.χ. μόλυβδος, φθόριο, μόλυβδένιο, κλπ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι μαζί με το νερό τόσο των πηγών όσο και των γεωτρήσεων του κ. Θ. Αντωνόπουλου και των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων του ΙΓΜΕ, εξέρχονται φυσαλίδες αερίων, η σύσταση των οποίων δεν είναι γνωστή. Τα αέρια αυτά αναφλέγονται και εκφράζεται η άποψη να είναι μεθάνιο CH<sub>4</sub>, ή κάποια άλλα αέρια της σειράς των υδρογονανθράκων.

- Από την αξιολόγηση των χημικών αναλύσεων προκύπτει ότι οι πηγές Π1, Π2, Π3, Π4 έχουν τον ίδιο χημισμό και οι γεωτρήσεις που έχουν εκτελεσθεί από το ΙΓΜΕ σχεδόν παραπλήσιο. Λαμβάνοντας υπόψη και τις φυσικοχημικές σταθερές των νερών προκύπτει ότι τα νερά των πηγών και των γεωτρήσεων του ΙΓΜΕ προέρχονται από το ίδιο υδροφόρο στρώμα και ακολουθούν και την ίδια υπόγεια πορεία.
- Κατά τη χρονική περίοδο που εκτελέστηκαν οι μετρήσεις παροχής των πηγών Π1, Π2, Π3, Π4, η συνολική παροχή υπολογίστηκε σε 8,5-9m<sup>3</sup>/h. Η παροχή αυτή δε θεωρείται μεγάλη για να μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες μεγάλου αριθμού ασθενών. Εφόσον επακριβώς καθοριστεί το καθεστώς των πηγών με κατάλληλες ερευνητικές εργασίες, όπως γεωφυσικές διασκοπήσεις, μετρήσεις με VLF και ερευνητικές γεωτρήσεις, τότε θα ήταν δυνατόν να αυξηθούν οι απολήψεις ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί μονάδα λουτροθεραπείας εφάμιλλη εκείνης του Σμοκόβου.

## Βιβλιογραφία

- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1986). - Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμος Β', Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα.
- ΛΕΚΚΑΣ, Ε. (1991). - Η παρουσία της ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας στην περιοχή Δαφνοσπηλιάς - Κτημένης (Νότια Θεσσαλία). 5ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας 1990, Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, Τομ. XXV/1, 231-244.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. & ΛΕΚΚΑΣ, Ε. (1979). - Πλευρική μετάβαση μεταξύ της ζώνης της Πίνδου και της ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας στην περιοχή Ταυρωπού. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, Τομ. XIV/1, 70-84.
- ΣΦΕΤΣΟΣ, Κ. (1984). - Υδρογεωλογική αναγνώριση θερμομεταλλικών πηγών Αηδονοχωρίου Ν. Καρδίτσας. Μελέτη ΙΓΜΕ.

## ΤΑ ΜΩΛΕΙΑ ΤΗΣ ΝΕΣΤΑΝΗΣ (ΑΡΚΑΔΙΑ). Η ΑΡΧΑΙΟΤΕΡΗ ΓΙΟΡΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΜΙΑ ΓΕΩ-ΜΥΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Μαριολάκος Η.

*Dr. rer. nat., Ομ. Καθηγητής*

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, mariolakos@geol.uoa.gr*

### Περίληψη

Στην λεκάνη της Μαντίνειας, που αποτελεί μια πόλγη, αναφέρεται ότι κατά την προϊστορική εποχή μια από τις γιορτές που ετελούντο στον ευρύτερο χώρο της Νεστάνης ήταν και τα Μώλεια. Πρόκειται για μια πολεμική γιορτή που γινόταν σε ανάμνηση του φόνου του Ομηρικού ήρωα **Αρηιθόου Κορυνήτη**, που τον σκότωσε ο βασιλιάς της Τεγέας, Λυκούργος. Πρόκειται για μια Παναρκαδική γιορτή, στην οποία ο Αρηιθόος τιμόταν με την υπόσταση του Ιππίου Ποσειδώνα, ως θεού των νερών, των πηγών και προστάτη της βλάστησης, ενώ ο Λυκούργος με την υπόσταση του Λύκαιου Δία, ως θεού της ατμόσφαιρας, που με τη θερμότητα κατάστρεφε τη βλάστηση.

Τα Μώλεια συνεπώς πρέπει να αποτελούν, κατά πάσα πιθανότητα, την αρχαιότερη γιορτή για το περιβάλλον και το νερό.

### THE MOLEIA OF NESTANI. THE MOST ANCIENT CEREMONY DEDICATED TO THE WATER AND THE ENVIRONMENT: A GEO-MYTHOLOGICAL APPROACH

Mariolakos I.

*Dr. rer. nat., Emeritus Professor*

*National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, mariolakos@geol.uoa.gr*

### Abstract

It is referred that in the Mantinea basin, which constitutes a polje, during prehistoric times, among the many ceremonies that took place at the wider area of Nestani village, were the Moleia. This was a war ceremony in memory of the murder of the Homeric hero Areithoos Korynitis by the king of Tegea, Lykourgos. Moleia were celebrated throughout Arcadia. Areithoos was honoured in the hypostasis of Ippios Poseidon, as god of the sea and waters and protector of the flora, while Lykourgos in the hypostasis of Lykaios Zeus, god of the atmosphere that destroys the flora by heat.

So, Moleia should probably be the most ancient ceremony dedicated to the environment and water.

**Λέξεις κλειδιά:** Μώλεια, Αρκαδία, Νεστάνη, προϊστορικές γιορτές, περιβάλλον, νερό.

**Key words:** Moleia, Arcadia, Nestani village, prehistoric ceremonies, environment, water.

### 1. Εισαγωγή

Στην Αρκαδία διακρίνονται τρία φυσικογεωγραφικά συστήματα: (i) η ορεινή περιοχή, που καταλαμβάνει ολόκληρο σχεδόν το κεντρικό τμήμα της Πελοποννήσου, (ii) το πεδινό τμήμα

και (iii) οι παράκτιες περιοχές που εκτείνονται στον Αργολικό Κόλπο.

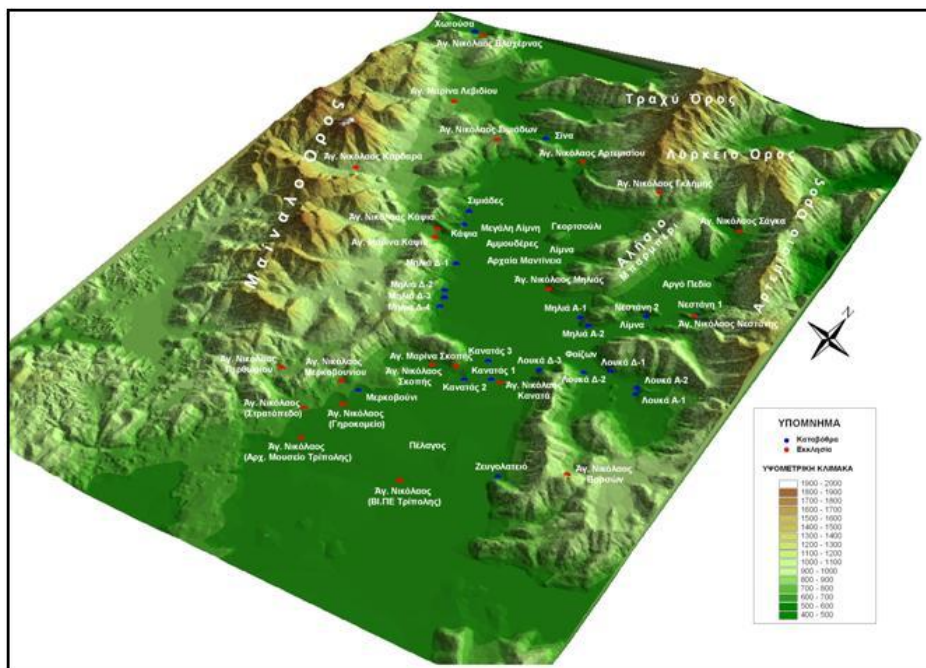
Το πεδινό τμήμα αποτελείται από την Λεκάνη της Μεγαλόπολης, το Αρκαδικό Οροπέδιο και τις λεκάνες της Στυμφαλίας και του Φενεού.

Το Αρκαδικό Οροπέδιο, τμήμα του οποίου αποτελεί το Οροπέδιο της Τρίπολης (Εικ. 1), δεν αντιστοιχεί σε μία ενιαία πεδινή έκταση, αλλά αποτελείται από επιμέρους λεκάνες, με κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι δεν παρουσιάζουν επιφανειακή απορροή. Αυτό σημαίνει ότι στο σύνολό του αποτελεί ένα **κλειστό υδρολογικό σύστημα**, που όμως δεν έχει μετατραπεί σε λίμνη ή σε λίμνες, παρά μόνον περιοδικά, αφού τα νερά περιορίζονται συνήθως στα βαθύτερα σημεία των λεκανών. Τα επιφανειακά νερά, που καταλήγουν στο οροπέδιο από τους ορεινούς όγκους, απομακρύνονται συνήθως μέσα από τις πολλές καταβόθρες. Το Αρκαδικό Οροπέδιο επομένως από **υδρογεωλογική άποψη**, αποτελεί ένα **ανοικτό σύστημα**.

Το Αρκαδικό Οροπέδιο είναι μία σύνθετη γεωλογικο-τεκτονική δομή και παρουσιάζει μια ακόμη πιο σύνθετη μορφοτεκτονική εξέλιξη, που συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας, αφού αποτελεί μια **ενεργή σεισμοτεκτονική δομή**.

Τα ιδιαίτερα φυσικο-γεωλογικά γνωρίσματα του Οροπεδίου είναι τα ακόλουθα:

- Η μεγάλη εξάπλωση των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστολίθων και δολομιτών) και
- η έντονη καρστικοποίηση, ήτοι η έντονη διάλυση των ανθρακικών, που έχουν δημιουργήσει όλων των ειδών τους καρστικούς (διαλυσιγενείς) σχηματισμούς, όπως δολίνες, καταβόθρες, σπήλαια κ.λπ. Ο μεγάλος αριθμός καταβόθρων και σπηλαίων εκτείνεται τόσο στα ανθρακικά περιθώρια, όσο και στον πυθμένα των επιμέρους λεκανών, που συνήθως καλύπτονται από σχετικά μικρού πάχους κλαστικά ιζήματα.



Εικ. 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση του ευρύτερου χώρου του οροπεδίου της Τρίπολης, όπου φαίνεται η θέση των διαφόρων καταβόθριων συστημάτων.



Η Αρκαδία όμως δεν είναι γνωστή στο ευρύτερο κοινό, τόσο στο Ελληνικό όσο και στο παγκόσμιο, για τη γεωλογικοτεκτονική της δομή, αλλά για την συμβολή της στην πολιτιστική εξέλιξη των Ελλήνων, αφού η αρχαιότερη προϊστορία των κατοίκων της περιοχής αυτής, που αργότερα θα ονομαστούν Αρκάδες, χάνεται στο βάθος της προϊστορίας του ανθρώπου.

Η Αρκαδία είναι ουσιαστικά το λίκνο της Ελληνικής Μυθολογίας. Εδώ γεννήθηκαν πολλοί θεοί των αρχαίων Ελλήνων, μεταξύ των οποίων ο Ποσειδών στο Αλήσιο Όρος, ο Δίας στο Λύκαιο, ο Παν στο Μαίναλο, ο Ερμής στην Κυλλήνη και πιθανώς και άλλοι.

Δεν υπάρχουν μεγάλοι θεοί ή άλλες θεότητες, ήρωες κ.λπ. που να μην έχουν δραστηριοποιηθεί στον ευρύτερο χώρο της περιοχής αυτής της Πελοποννήσου, όπως η Ρέα και ο Κρόνος μαζί με τον Άτλαντα από τους Τιτάνες, αλλά και οι Γίγαντες, επίσης η Άρτεμις και ο Απόλλων, η Ήρα και η Δήμητρα, η Αφροδίτη και ο Διόνυσος, ο Ασκληπιός και τόσοι άλλοι.

Εξάλλου οι τοπικοί ήρωες, με γενάρχες τον Πελασγό, το Λυκάονα και τον Αρκάδα, είναι οι ιδρυτές των διαφόρων οικισμών, άλλοι από τους οποίους εξελέχθηκαν σε σημαντικές πόλεις κατά την μακράιωνη ιστορία των κατοίκων της περιοχής και άλλοι όχι. Είναι όμως αξιοσημείωτο ότι ονόματα τοποθεσιών, ποταμών, βουνών, πόλεων και χωριών έχουν μείνει τα ίδια μέχρι τις μέρες μας, παρά το γεγονός ότι πολλά από αυτά άλλαξαν ενδιάμεσα ονόματα, λόγω των ιστορικοκοινωνικών συγκυριών των τελευταίων 1200 ετών κυρίως, όταν σλαβικά, αλβανικά και δυτικοευρωπαϊκά φύλα κατέκτησαν την περιοχή για λιγότερο ή περισσότερο χρονικό διάστημα, χωρίς όμως να καταφέρουν να εξαφανίσουν το τοπικό στοιχείο.

Έτσι, εάν λάβει υπόψη κάποιος και τους τοπικούς ήρωες, δεν είναι υπερβολή να ειπωθεί ότι, είναι πολύ πιθανόν, να μην υπάρχει άλλη περιοχή στον πλανήτη που να έχουν γεννηθεί ή δραστηριοποιηθεί τόσοι θεοί και ήρωες.

Εξαιτίας αυτής της μακράιωνης προϊστορικής και ιστορικής διαδρομής, πολλές είναι οι εορτές που αναφέρονται ότι γίνονταν εδώ, ενώ ορισμένες έχουν μείνει μέχρι τις μέρες μας, με χριστιανικό περιεχόμενο όμως, μετά την απαγόρευση κάθε εκδήλωσης αφιερωμένης στους πανάρχαιους θεούς των αρχαίων Ελλήνων. Μία από αυτές τις πανάρχαιες εορτές, που έχει σχεδόν ξεχαστεί, είναι τα Μώλεια.

## 2. Μώλεια

Τα **Μώλεια** λέγεται ότι ήταν μια πολεμική εορτή που γίνονταν σε ανάμνηση του φόνου του ομηρικού ήρωα **Αρηιθού Κορυνήτη** (ή Αρήθους), που τον σκότωσε ο βασιλιάς της Τεγέας Λυκούργος, που ήταν γιος του **Αλέου**.

Στα Μώλεια, που ήταν μια Παναρκαδική γιορτή, τιμούνταν και οι δύο ήρωες, δηλαδή τόσο ο Αρηιθός όσο και ο **Λυκούργος**. Ο **Αρηιθός** τιμόταν με την υπόσταση του **Ιππίου Ποσειδώνος**, ενώ ο **Λυκούργος** με την υπόσταση του **Λυκαίου Διός**. Ο Μαντίνειος **Ίππιος Ποσειδών**, με την ιδιότητά του ως ο θεός των νερών, των πηγών και προστάτης της βλάστησης, φιλονικεί με τον **Λύκαιο Δία**, που με την θερμότητα καταστρέφει την βλάστηση, αφού αυτός ήταν ο υπεύθυνος για ό,τι συνέβαινε στην ατμόσφαιρα. Ο μύθος λέγεται ότι συμβολίζει την μάχη ανάμεσα στην ξηρασία και την υγρασία, που συμβόλιζε τον αγώνα που έκανε ο κάτοικος του οροπεδίου να καλλιεργήσει την άγονη, λόγω ξηρασίας, γη του. Αξιοσημείωτο είναι ότι ο **Αρηιθός ο Κορυνήτης** προήρχετο από την **Άρνη της Βοιωτίας**, που, σύμφωνα με ορισμένους, συμπίπτει με τον **Γλα**, την Μυκηναϊκή ακρόπολη της Κωπαΐδας, που βρίσκεται κοντά στο σημερινό χωριό **Κάστρο** της Κωπαΐδας, κοντά στο οποίο, κατά τη Μυκηναϊκή εποχή, βρισκόταν ο οικισμός **Κώπαι**.

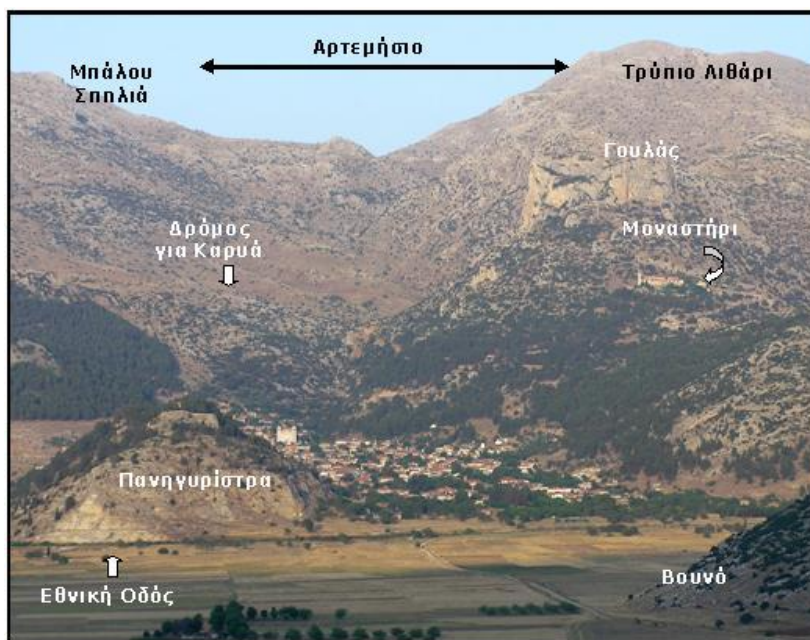
Στην Αρκαδία, όπως είναι γνωστό, έχουν γεννηθεί και οι δυο αυτοί μεγάλοι θεοί του αρχαιοελληνικού πανθέου, ο **Δίας** στην κορυφή του όρους Λύκαιου και ο **Ποσειδών** στις πλαγιές ενός λόφου, του **Αλήσιου**, κοντά στον σημερινό **Κάμπο της Μηλιάς**, που αποτελεί

τμήμα της **Μαντίνειας**. Αξιοπρόσεκτο είναι ότι το **ιερό του Ίππιου Ποσειδώνα** (Εικ. 2) έχει χτιστεί στην περιοχή του Κάμπου, σε μια θέση όμως που δεν πρέπει να κατακλυζόταν από νερά κατά το προϊστορικό παρελθόν, όπως συνέβαινε με το Αργό Πεδίο ή με το τμήμα του Οροπεδίου της Τρίπολης, όπου έχει χτιστεί η Αρχαία Μαντίνεια, το οποίο κατά καιρούς μετατρεπόταν σε λίμνη.

Ο Ποσειδών και ο Δίας, αλλά και οι άλλοι θεοί, όπως είναι γνωστό δεν είχαν από την αρχή την ίδια ισχύ που απέκτησαν αργότερα. Οι δύο αυτοί μεγάλοι θεοί κυριάρχησαν ουσιαστικά μετά την Τιτανομαχία και την Γιγαντομαχία, μετά δηλ. τις μάχες εκείνες που εξαφάνισαν τις δύο μεγάλες αυτές γενιές θεοτήτων και που πρέπει να ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της Μυκηναϊκής Εποχής και πριν από τον Τρωικό Πόλεμο.



Εικ. 2. Το Ιερό του Ίππιου Ποσειδώνα στη Μηλιά.

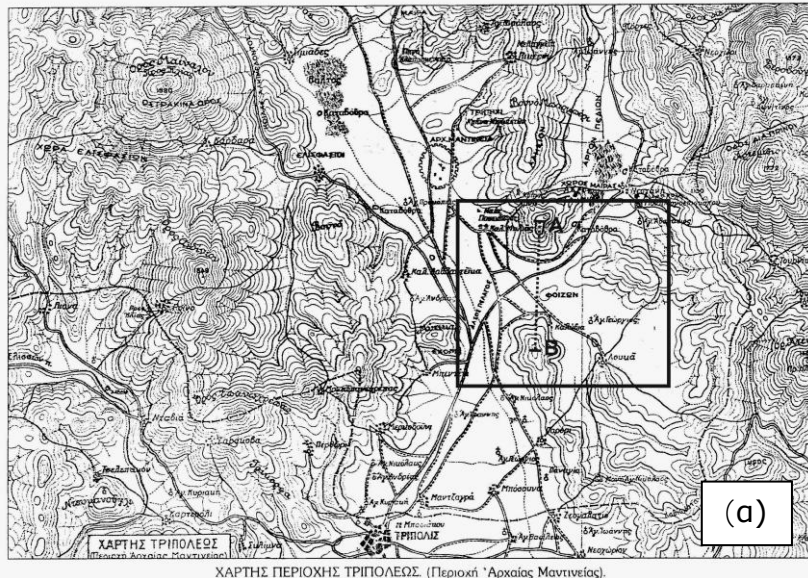


Εικ. 3. Η Νεσπάνη και διάφορες γνωστές τοποθεσίες που βρίσκονται στις ανατολικές πλαγιές του Αλφειού (Μπαρμπέρι), όπως φαίνονται από την πηγή «Μουριές».

Η εορτή των Μωλείων, γινόταν στον τόπο που λέγεται ότι ο Λυκούργος φόνευσε τον Μινύα Αρηίοο Κορυνήτη, και που ονομάζεται **Μωλύχιο ή Φοίζων**, η ακριβής θέση του

οποίου δεν είναι σήμερα γνωστή, αλλά βρίσκεται σε κάποιο σημείο της ευρύτερης περιοχής της Νεστάνης (Εικ. 4) . Η **Νεστάνη** έχει χτιστεί στις δυτικές παρυφές του Αρτεμισίου και συγκεκριμένα στις νότιες λοφώδεις παρυφές της λεκάνης, που είναι γνωστή ως **Αργό Πεδίον** και αποτελεί μια από τις επί μέρους ανεξάρτητες λεκάνες του Αρκαδικού οροπεδίου.

Άλλοι πάλι δέχονται ότι τα Μώλεια τα γιόρταζαν στη θέση της Νεστάνης, που σήμερα είναι γνωστή ως **Πανηγυρίστρα** (βλ. Εικ. 3).



Εικ. 4. Η πιθανή θέση του Μωλυχίου (Φοιζών) σε χάρτη (α) και (β) φωτογραφία.

### 3. Μώλεια και κλιματικές μεταβολές

Πολλοί θα αναρωτηθούν τι είδους γιορτή είναι τα **Μώλεια**. Κατά τη γνώμη μου, για να γίνει κατανοητός ο συμβολισμός των Μωλείων θα πρέπει να συνδεθεί με το **γεωπεριβάλλον** της ευρύτερης περιοχής και ιδιαίτερα με το **κλίμα** που επικρατούσε την εποχή αυτή. Κυρίως πρέπει να ληφθούν υπόψη η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και οι βροχοπτώσεις και φυσικά οι κλιματικές μεταβολές που δεχόμαστε σήμερα ότι επικρατούσαν κατά την προϊστορική – μυθολογική αυτή εποχή.

Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί, τόσο η Μαντινεία όσο και το Αργό Πεδίο, καθώς και όλες

οι άλλες πεδιάδες όπως η Τάκα, η Κανδύλα, η Στυμφαλία και οι άλλες, αυτή την πολύ παλιά εποχή, όπως παρατηρείται και σήμερα, πλημμύριζαν συχνά. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως αναφέρθηκε ήδη, όλες αυτές οι λεκάνες είναι υδρολογικά κλειστά φυσικογεωγραφικά συστήματα, αφού δεν έχουν επιφανειακή απορροή, ενώ είναι ανοικτά υδρογεωλογικά. Αυτό σημαίνει ότι η απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων είναι δυνατή μόνον μέσα από τα υπόγεια σύνθετα καρστικά συστήματα, που επικοινωνούν με την επιφάνεια μέσα από καταβόθρες, που είναι τόσες πολλές σ' ολόκληρη την Αρκαδία. Πολλές φορές όμως οι καταβόθρες φράσσονταν, με συνέπεια ολόκληρες περιοχές να κατακλύζονται για μεγάλα ή μικρά χρονικά διαστήματα. Παρά ταύτα όμως επειδή στην περιοχή το κλίμα είναι ηπειρωτικό, το θέρος είναι σχετικά θερμότερο συγκρινόμενο με εκείνο άλλων περιοχών. Τα καλοκαίρια λοιπόν οι όποιες καλλιέργειες χρειάζονταν νερό, όπως συμβαίνει και σήμερα.

Έτσι, από την μια μεριά οι πλημμύρες δημιουργούσαν προβλήματα τον χειμώνα και από την άλλη η ξηρασία, δημιουργούσε προβλήματα τους θερινούς μήνες. Η αντίθεση αυτή φαίνεται ότι συμβολιζόταν στην φυσικογεωλογική διάσταση του Ποσειδώνα, που ως θεός των υδάτων και του εσωτερικού της Γης ρύθμιζε την αποστράγγιση και του Δία, που ήταν ο κυρίαρχος της ατμόσφαιρας, δηλαδή των βροχοπτώσεων, αλλά και της ηλιοφάνειας και κατά συνέπεια και των υψηλών θερμοκρασιών που προκαλούσαν την ξηρασία. Οι ξηρασίες επομένως «χρεώνονταν» στον Δία. Είναι γνωστό εξάλλου ότι σε διάφορα σημεία του ευρύτερου γεωγραφικού χώρου της Ανατολικής Ελλάδας υπήρχαν Ιερά αφιερωμένα στον **Όμβριο Δία**, όπως για παράδειγμα στις ανατολικές πλαγιές του Υμηττού, πάνω από το Κορωπί. Στην Αττική μάλιστα υπήρχε και ειδική προσευχή, με την οποία παρακαλούσαν στις δεήσεις τους τον Δία να βρέξει:

«Υσον. Υσον ω φίλε Ζευ κατά της αρούρης των Αθηναίων και των πεδίων...»

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το όρος Μαίναλον οριοθετεί στην Αρκαδία το κλιματικό καθεστώς στην κεντρική Πελοπόννησο, όπως η οροσειρά της Πίνδου στην υπόλοιπη Ελλάδα. Έτσι οι περιοχές ανατολικά του Μαινάλου έχουν λίγες βροχοπτώσεις, ενώ στις περιοχές δυτικά της κορυφογραμμής του οι βροχοπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες.

Πέραν όμως της υδρολογικής συμπεριφοράς των κλειστών υδρολογικών συστημάτων, λόγω της περιοδικής μεταβολής του κλίματος, παρατηρούνται μακροχρόνιες περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας.

Για να μπορέσουμε λοιπόν να αντιληφθούμε τη σημασία των Μωλειών θα πρέπει να ανατρέξουμε στους πιθανούς λόγους που οδήγησαν τον Λυκούργο να σκοτώσει τον Αριήθοο. Οι λόγοι αυτοί λοιπόν πρέπει να είναι δύο. Ο πρώτος είναι ο τρόπος με τον οποίο έχει μεταβληθεί το κλίμα κατά την προϊστορική ή/και την μυθολογική περίοδο. Ο δεύτερος είναι το φράγμα, που είχαν κατασκευάσει οι Μινύες στην περιοχή της Σκοπής.

#### 4. Το Κλίμα και οι Παλαιοκλιματικές Μεταβολές

Το κλίμα είναι ο καθοριστικότερος παράγοντας για την ανάπτυξη του πολιτισμού ενός λαού, ιδιαίτερα κατά την προϊστορική εποχή, αφού για να μπορέσει ο άνθρωπος να αναπτύξει δημιουργική δραστηριότητα, οικονομική αρχικά και πολιτιστική στη συνέχεια, πρέπει το κλίμα να είναι ευνοϊκό. Όσο πιο ευνοϊκό είναι το κλίμα, τόσο οι δυνατότητες να αναπτύξει πολιτισμό είναι μεγαλύτερες.

Επιπροσθέτως για την λειψυδρία, αλλά και για να κατακλυστεί μια περιοχή από νερά, ο ρόλος του κλίματος και των κλιματικών αλλαγών είναι καθοριστικός.

Το κλίμα όμως δεν παραμένει σταθερό, αλλά όπως είναι γνωστό μεταβάλλεται περιοδικά και μάλιστα έχουν διαπιστωθεί μεγαλύτερης και μικρότερης διάρκειας περιόδους. Τα κύρια αίτια αυτών των μεταβολών είναι αστρονομικά (θεωρία Milankowitch).

Στην περίπτωση των Μωλειών ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κλιματικές μεταβολές που

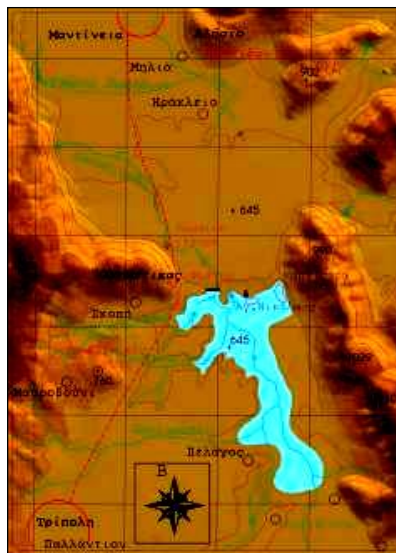
έχουν εξελιχθεί **μετά το κλιματικό Optimum του Ολοκαινίου** που, όπως είναι γνωστό, έχει παρατηρηθεί μεταξύ του 6000 και 4000 χρόνια πριν (4000 έως 2000 π.Χ.)

Σύμφωνα λοιπόν με τον Matthes μετά την περίοδο του κλιματικού Optimum, που χαρακτηρίζεται από υψηλότερες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία ελαττώνεται και χαρακτηρίζεται ως **Μικρή Παγετώγης Περίοδος** (ΜΠΠ). Σύμφωνα με ορισμένους η ΜΠΠ είναι συνεχής ενώ ο Shore (1965) δέχεται ότι είναι ασυνεχής και μάλιστα διακρίνει 4 κρίσιμες ψυχρές περιόδους μετά το 2000 π.Χ., δηλαδή μετά το τέλος της περιόδου του κλιματικού Optimum και συγκεκριμένα

- 1η ΜΠΠ (μέγιστο γύρω στο **1625** π.Χ.) – **Τναχος**
- 2η ΜΠΠ (μέγιστο γύρω στο **1200** π.Χ.) – **Δαναός**
- 3η ΜΠΠ (μέγιστο γύρω στο **850** π.Χ.) – **Αιακός**
- 4η ΜΠΠ (μέγιστο γύρω στο **350** π.Χ.) – **Ξηρασία Αγοράς κλπ.**

## 5. Πιθανά αίτια της αντιπαράθεσης

Τα **Μώλεια** όπως αναφέρθηκε είναι μια πολύ παλιά γιορτή που ξεκίνησε την Μυκηναϊκή περίοδο κατά πάσα πιθανότητα ως γιορτή της **Προϊστορικής Νεοσάνης**, που φαίνεται ότι έχασε σε δύναμη μετά την κατασκευή του φράγματος στην περιοχή ανατολικά της Σκοπής από τους Μινύες (Εικ. 5), οπότε άρχισε η ανάπτυξη της καθ' αυτό **Μαντινείας** κυρίως, επειδή μετά την κατασκευή του φράγματος και την τεχνητή λίμνη, στην οποία συγκρατούνταν τα νερά, προφανώς πλεονεκτούσε, σε σύγκριση με το Αργό Πεδίο της Νεοσάνης, τόσο από άποψη καλλιεργήσιμης γης, όσο και από άποψη δυνατότητας άρδευσης από τα νερά της τεχνητής λίμνης, κάτι που δεν μπορούσε να γίνει στην πεδιάδα της Νεοσάνης – δηλ. το Αργό Πεδίο – επειδή η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους δεν προσφέρεται ούτε για την κατασκευή ενός φράγματος και ταμιευτήρα νερού, που θα προστάτευε την πεδιάδα από τις πλημμύρες και, συγχρόνως, θα επέτρεπε την οικιστική ανάπτυξη της Νεοσάνης προς τον κάμπο που θα ήταν προστατευμένος από τα πλημμυρικά νερά.



Εικ. 5. Σχηματική αναπαράσταση του φράγματος που κατασκεύασαν οι Μινύες ανατολικά της Σκοπής, βασισμένο στον χάρτη του J. Knauss (1991)

Γιατί όμως το μένος του Λυκούργου, δηλαδή ενός Αρκάδα, εναντίον ενός Μινύα, του Αρηιθόου; Και επιπλέον γιατί βρέθηκε στην Μαντίνεια ο Μινύας Αρηιθόος και γιατί να ήλθε σε αντιδικία άραγε ο Τεγεάτης Λυκούργος με τον Αρηιθόο και όχι με έναν Μαντινέα, ή ακόμα με έναν Νεστανιώτη, αφού απ' όσα είναι γνωστά ο φόνος έγινε στον ευρύτερο χώρο της Νεσπάνης; Μήπως θεώρησε τον Αρηιθόο υπεύθυνο της ξηρασίας;

Οι απαντήσεις δεν αναφέρονται βεβαίως από κανέναν αρχαίο συγγραφέα. Πιστεύω όμως ότι πρέπει να συνδέεται με το φυσικόγεωγραφικό καθεστώς που επικρατούσε κατά την Μυκηναϊκή εποχή στην ευρύτερη περιοχή της Μαντίνειας και με τις οικονομοτεχνικές δραστηριότητες των Μινυών. Η περίοδος που έζησε ο Τεγεάτης Λυκούργος είναι πιθανότατα πριν από τον Τρωικό Πόλεμο. Φαίνεται λοιπόν ότι ο φόνος του Αρηιθόου πρέπει να έγινε κατά τη διάρκεια της 2ης Μικρής Παγετώδους Περιόδου, το μέγιστο της οποίας σύμφωνα με τον Shore είναι γύρω στο 1200 π.χ. Την ίδια περίοδο λοιπόν πρέπει να επικρατούσε ξηρασία στην ευρύτερη περιοχή γιατί είναι γνωστό ότι η ελάττωση της θερμοκρασίας συνδέεται, συνήθως, με ελάττωση των βροχοπτώσεων.

Την εποχή αυτή η Μαντίνεια και η Τεγέα πρέπει να ήσαν σύμμαχοι. Σημειώτεον ότι αργότερα η Τεγέα συμμάχησε με τους Λακεδαιμόνιους, ενώ η Μαντίνεια με τους Αργείους και Αθηναίους. Επομένως ο φόνος του Αρηιθόου δεν πρέπει να συνδέεται με πολιτικές διαφορές.

Αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα Μώλεια συνδέονται με τις εγγειοβελτιωτικές δραστηριότητες των Μινυών στην Αρκαδία.

Όπως έχουν αποδείξει οι λεπτομερείς μελέτες του Jost Knauss, οι Μινύες έχουν κατασκευάσει πολλά και μεγάλα γεωτεχνικά και υδραυλικά έργα σε διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου, όπως στη Θεσσαλία, στη Βοιωτία, στην Αργολίδα, στην Αρκαδία και αλλού. Στην Αρκαδία συγκεκριμένα έχουν κατασκευάσει χαμηλά φράγματα στην λεκάνη της Τάκας, στην Μαντίνεια αλλά και στην λεκάνη των Καφυών. Τα γεωτεχνικά αυτά έργα χρησίμευαν τόσο για την αντιπλημμυρική προστασία, όσο και για την συγκέντρωση νερού. Στην Μαντίνεια ειδικότερα οι Μινύες είχαν κατασκευάσει ένα φράγμα στην περιοχή ανατολικά της Σκοπής, όπου σύμφωνα με τον Jost Knauss στην τεχνητή λίμνη που είχε δημιουργηθεί ανάντι μπορούσαν να συγκεντρωθούν γύρω στα 15 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερό. Με το έργο αυτό σταμάτησε η κατάκλιση του Μαντινειακού Πεδίου και έτσι κατέστη δυνατό να χτιστεί η πόλη της Μαντίνειας. Επιπροσθέτως πρέπει να εξασφαλιστηκαν και ποσότητες ύδατος για άρδευση των καλλιεργειών κατά τους θερινούς μήνες, όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές.



Εικ. 6. Η καταβόθρα του Κανατά.

Φαίνεται λοιπόν ότι για κάποιους λίγους, τεχνικούς πιθανότατα, τα νερά της τεχνητής λίμνης δεν εξασφάλισαν σε κάποια μακροχρόνια περίοδο ξηρασίας την επάρκεια σε νερό. Ίσως λοιπόν ο Αρηιθόος, ο οποίος σύμφωνα με ορισμένους ήταν βασιλιάς στην Αρκαδία, ενώ κατ' άλλους όχι, αφού καταγόταν από την Άρνα της Κωπαΐδας, θεωρήθηκε ως τεχνικά υπεύθυνος για ελλειμματική υδροδότηση, εξαιτίας της κακής λειτουργίας του φράγματος. Η λειψυδρία συνεπώς πρέπει πιθανώς να έγινε η αιτία για την διαμάχη μεταξύ Αρηιθόου και Λυκούργου, που κατέληξε στον φόνο του πρώτου. Η άποψη αυτή φαίνεται ως η πιο πιθανή, επειδή στην λεκάνη κατάκλισης του φράγματος υπάρχουν

ορισμένες καταβόθρες μεταξύ των οποίων και η γνωστή **καταβόθρα του Κανατά** (Εικ. 6), που βρίσκεται δυτικά από το εκκλησάκι του Αγίου Νικολάου. Είναι η καταβόθρα στην οποία μέχρι πρότινος κατέληγαν τα υγρά απόβλητα της Τρίπολης.

Ο Αριήθους λοιπόν φαίνεται ότι εκπροσωπούσε τους «κατασκευαστές» Μινύες και ήταν υπεύθυνος για την συντήρηση και καλή λειτουργία του φράγματος.

Και θα αναρωτηθεί κάποιος πως είναι δυνατόν να λειτουργήσει ένα φράγμα όταν στην λεκάνη κατάκλισης υπάρχει μία ή περισσότερες καταβόθρες. Η απάντηση είναι απλή. Οι καταβόθρες αυτές δεν φθάνουν όλες στην επιφάνεια, αλλά είναι καλυμμένες με προσχώσεις, πολλές φορές αρκετού πάχους. Επιπλέον οι Μινύες είχαν μεγάλη εμπειρία στεγανοποίησης του πυθμένα των λεκανών κατάκλισης, ενώ και το ύψος των υδάτων στην τεχνητή λίμνη δεν ήταν μεγάλο, επειδή τα φράγματα ήταν πολύ χαμηλά. Ο Jogst Knauss υπολογίζει τα ύψη των αναχωμάτων στα 2 έως 3 μέτρα το μέγιστο. Οι πιέσεις λοιπόν που θα ασκούσαν στο αργιλικό γέμισμα των καταβόθρων ήταν πολύ μικρό. Θα μπορούσαν βεβαίως να έχουν εφαρμόσει και άλλες τεχνικές απομόνωσης των υδάτων της λίμνης από τις καταβόθρες. Φαίνεται πάντως ότι συνέβει κάποια αστοχία που πρέπει να συνδέεται με την συντήρηση του φράγματος και της λίμνης και όχι με κάποιο φυσικό φαινόμενο.

Συμπερασματικά λοιπόν θα μπορούσε να πει κάποιος ότι τα Μώλεια είναι η αρχαιότερη γνωστή γιορτή για το νερό, τουλάχιστον στην Ελληνική Μυθολογία, παρ' ότι περίοδοι ξηρασίας αναφέρονται και από παλαιότερες εποχές, όπως από την εποχή του Ίναχου, του Αιακού και του Δαναού. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι περίοδοι ξηρασίας ακολουθούν τις περιόδους των κατακλισμών, όπως είναι του Ωγύγη, του Δευκαλίωνα, ενώ ο πολύ παλαιότερος της Σαμοθράκης – Δαρδάνου, όπως περιγράφεται από τον Διόδωρο τον Σικελιώτη, δεν εντάσσεται σ' αυτή την κατηγορία των κατακλισμών, μιας και συνδέεται με άλλα φυσικογεωλογικά αίτια.

## Βιβλιογραφία

- Berger A., 1988: Milankowitch theory and climate. *Review of Geophysics*, 26(4), 624-657.
- Curtius E., 1892: Die Deichbauten der Minyer. *Sitzungsbericht der Berliner Akademie der Wissensch., Philosophisch-Historische Klasse*, V. 55, 1181-1193.
- Dawson A.G., 1992: *Ice Age Earth: Late Quaternary Geology and Climate.* - Routledge, London.
- Duff D., 1993: *Holme's principles of physical Geology* - Chapman & Hall.
- Diodorus Siculus, 1997: *The Library of History, Book 5th – The Greeks*, Kaktos Ed. 405, Athens (in greek).
- Theocharis D., 1993: *Neolithic Civilization*. Educ. Inst. of the National Bank of Greece (in greek).
- Fairbridge R.W., 1983: *Isostasy and Eustasy.* - In D.E. Smith and A.G.Dawson (eds): *Shorelines and Isostasy*, 3-28, Academic Press, London.
- Guiot J., Pons A., Beaulieu L. and Reille M., 1989: A 140.000 year continental climate reconstruction from two European pollen records. *Nature*, 338, 309-13.
- Jacobsen T., 1976. 17.000 Years of Greek Prehistory. *Scientific American*, 234.
- Jinsun Ji., Nicole Petit-Maire and Zhongwei Yan., 1993. The last 1000 Years climatic change in arid Asia and Africa. *Global and Planetary Change*, 7, 203-210.
- Imbrie J. and Imbrie K.P, 1979: *Ice Ages: solving the mystery*. Macmillan, London.
- Isar A. S. and Bruins H.J., 1983: Special climatological conditions in the desserts of Sinai and the Negev during the latest Pleistocene. *Paleo* 3, 43, 63-72, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Kakridis J., 1986: *Greek Mythology.* - Ekdotiki Athinon, v. 4 (in greek).

Knauss J., 1984: Die Wasserbauten der Myner in der Kopais - Die aelteste Flussregulierung Europas (Kopais 1). Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 50. Technische Universitaet Muenchen.

Knauss J., 1987: Die Melioration des Kopaisbeckens durch die Myner im 2 Jt. v. Chr. - Wasserbau und Siedlungsbedingungen im Altertum (Kopais 2). - Wasserbau und Wasserwirtschaft, Nr. 57. Technische Universitaet Muenchen.

**Knauss J., 1991: Mykenische Talsperren in Arkadien und Böotien.** - In: Historische Talsperren 2, 19-40, Verlag Konrad Wittwer. Stuttgart.

Knauss J., 1996: Argolische Studien: Alte Strassen - Alte Wasserbauten.- Wasserbau und Wasserwirtschaft, - Nr. 77, Technische Universitaet Muenchen.

Kraft, J. C., Rapp, G., Szemler, G.J., Tziavos, C., and Kase, E.W., 1987: The Pass at Thermopylae, Greece: Jour. of Field Archaeology, 14, 181-198.

Lehmann H., 1937: Landeskunde der Ebene von Argos und ihrer Randgebiete (Argolis I).- Deutsches Archaeol. Inst., Athen.

Mariolakos, I., 1975: Thoughts and viewpoints on certain problems of the geology and tectonics of Peloponnesus (Greece). Ann. Geol. Des Pays Helln., 27, 215-313 (in greek).

Mariolakos I., Fountoulis I. and Kranis H., 1997. Introduction to the Geology of Sterea Hellas, Hellenic Territory: Current geodynamic regime, Neotectonics of Corinthiakos Gulf, Delphi, Mynan Ancient Flood Prevention works. In: Boat and field trip guide of the 7th International Symposium Engineering Geology and the Environment IAEG (Editors: I. Mariolakos and Fountoulis, Geology and Tectonics, P. Marinis, G. Tsiambaos and M. Kakavas): Engineering Geology and Geotechnical Engineering, Hydrogeology), 60 p.

Mariolakos I., 1998: The Geomythological Geotopes of Lerni Springs (Argolis, Greece). Geologica Balcanica, 28, 3-4, 101-108.

Mariolakos I., 1999: The Contribution of Geotopes to History and Environmental Sensitivity. 3\_days Conference on the Conservation of Geological - Geomorphological Heritage, Syros, 12-14 July 1996, IGME, 45-59 (in greek).

Mariolakos I., 1999: Water, Man and Greek Civilization - **Proc. of Symp. "The Water of Life"**, 18-21 November 1999, European Heritage Days, Athens (in print, in greek).

Mariolopoulos I., 1938: The climate of Greece, 370 p., Athens

Milankowitch M., 1941: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf dem Eiszeitenproblem.- Royal Serbian Sciences, Spec. Publ. 132, Section of Mathematical and Natural Sciences, 33, 633 p., Belgrade.

Milojic V., Boessneck J., Jung D. and Schneider H., 1965: Palaeolithikum um Larissa in Thessalien.- B.A.M., I., Bonn.

Moerner N.- A., 1971: Eustatic changes during the last 20.000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplifted area. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 19, 63-65.

Moerner N.- A., 1976: Eustasy and geoid. Journal of Geology, 88, 123-151.

Ota Y., 1987: Sea-level changes during the Holocene: the Northwest Pacific.- In R.Y.N. Devoy (Eds): Sea Surface Studies - A Global View, 348-374, Room Helm. Ltd, London.

Paepe R., Hatziotis M.E., Thorez J., Overloop V. E. and Demaree G., 1982: Climatic indexes on the basis of sedimentation parameters in geological and archaeological sections.-



Palaeoclimatic Research and Models, Eds.: A. GHAZI, EEC, 129-138.

Paepe R. And Mariolakos I., 1984: Paleoclimatic reconstruction in Belgium and in Greece based on Quaternary lithostratigraphic sequences. Proc. E.C. Climatology Programme Symposium, Sophia Antipolis, France, 2-5 October 1984.

Pausanias: Arkadika. Ekdotiki Athinon.

Philippson A., 1892: Der Peloponnes. - Berlin.

Pirazzoli P.A., 1986: The early Byzantine tectonic paroxysm. Z. Geomorph. N.F., Suppl., 62, 31-49, Berlin.

Pirazzoli P.A., 1987: Sea-level changes in the Mediterranean.- In M.Y.TOOLEY and I. SHENNAN (eds). Sea Level Changes, 152-181, Basil Blackwell, Oxford.

**Pope K. and Van Andel, Tj. H., 1984: Late Quaternary alluviation's and soil formation in the southern Argolid: its history, causes and archaeological implications. Journal of Archaeological Science, 11, 281-306.**

Pouqueville F.-C.-H.-L. 1820: **Voyage dans la Grèce.**- Peloponnes. (Greek translation N. Molfeta), Athens, 1997.

Ranke-Graves R. Von, 1955: Griechische Mythologie. Quellen und Deutung, Rowolts Deutsche Enzyklopadie, 2, 80 - 116.

Rapp G. and Gifford J.A., 1982: Troy. The Archaeological Geology. Supplementary Monograph 4, University of Cincinnati, Princeton University Press.

Roberts N., 1989: The Holocene: An Environmental History. Basil Blackwell, Oxford.

Schneider H., 1968: Zur quartargeologischen Entwicklungsgeschichte Thessaliens (Griechenland), Beitr.Ur- u. Fruhgesch. Archaol. d. Mittelmerr. - Kulturraumes (BAM), 6, Bonn.

Schwarzbach M., 1974: Das Klima der Vorzeit: Eine Einfuhrung in die Palaoklimatologie. - Ferd. Enke Verlag, Stuttgart.

Spyropoulos Th., 1973: An Introduction to the Study of the Kopais Area. - **AAA**, 6, p.201 (in greek).

Spyropoulos P., 1997: A Chronicle of the Earthquakes of Greece from the Antiquity until Today. Dodoni Ed. (in greek).

Thiede J., 1974: A Glacial Mediterranean. Nature, 276, 680-683.

Van Andel T.H., 1998: Middle and upper Paleolithic environments and the calibration of 14C dates beyond 10.000 BP. ANTIQUITY, 72, 26-33.

Vita-Finzi C., 1969: The Mediterranean Valleys. - Cambridge University Press.

Zangger E., 1991: Prehistoric Coastal Environments in Greece: The vanished Landscapes of Dimini Bay and Lake Lerna. - J. Field A., 18 (1991) 1-15.

Zangger E., 1993: The Geoarchaeology of the Argolida (Argolis II) - Deutsches Archaeol. Inst. Athen.

Zervas S., 1965: Hydrogeological study of the water resources of Argolis plain - Hellenic Ministry of Agriculture, Athens, (Report in greek).

## ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΚΗΡΥΞΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ, ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.

Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ., Κοσκερίδου Ε., Μακρή Π.

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος*

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται μια πρόταση δημιουργίας διεθνούς γεωλογικού πλαισίου, για την επιλογή γεωλογικών θέσεων και την ανακήρυξη τους ως Γεωλογικά Μνημεία, στηριζόμενοι σε προκαθορισμένα κριτήρια. Επίσης παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα ταξινόμησης, βάση του οποίου είναι εύκολο οι προταθέντες γεωλογικές θέσεις να κατηγοριοποιηθούν. Τέλος προτείνονται ένα σύνολο κριτηρίων, τα οποία πρέπει να προκαθορισθούν, να προεπιλεγούν και να είναι διεθνώς αποδεκτά, ώστε να γίνουν η απαραίτητη βάση για την επιλογή και ανακήρυξη τους των γεωλογικών θέσεων ως Γεωλογικά Μνημεία.

### A PROPOSAL FOR THE STAGES OF THE SELECTION AND ESTABLISHMENT GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGIC SITES AS GEOLOGICAL MONUMENTS, THE CLASSIFICATION OF THEM AND THE CERTAIN CRITERIA FOR THIS SELECTION.

Bathrellos G., Skilodimou H., Koskeridou E., Makri P.

*National and Kapodistrian University of Athens, Department of Geology and Geoenvironment*

### Abstract

This paper involves the suggestion of the establishment of an international frame, to include the geological sites and their definition as Geological Monuments. A complete system of classification of these sites is also analyzed. Conclusively, a batch of criteria are suggested, which must be defined, and be internationally approved, to become the basis of nominating a geological site as Geological Monument.

**Λέξεις κλειδιά:** γεωλογικά μνημεία, διεθνές γεωλογικό πλαίσιο, κριτήρια επιλογής.

**Key words:** geological monuments, international geological frame, selection criteria.

### 1. Introduction

During the last decade, a new contemporary effort to approach basic geoscientific topics has taken place. This approach studies the protection of the Human Environment and the maintenance of the Natural and Cultural Heritage. This is about a new orientation within the Geo-sciences, which is based on the concept that the geological sites management is as indispensable as the conservation of the protected habitats for the existence and evolution of this planet.

Some important international organisms have organized meetings, congresses, and networks for this purpose. Such organisms are: the UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), the World Heritage Committee, the ICOMOS (International Council on Monuments and Sites), the IUCN (World Conservation Union), the ICCROM (International Center for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural

Property), the IUGS (International Union of Geological Sciences), the ProGeo (European Association for the Conservation of the Geological Heritage). Geologists have also taken other initiatives individually.

The purpose of these activities is the creation of an international coordinated or European network of common research.

There are certain problems in the development of this plan that block the geologists' work and these are the following:

- The great number of suggested geological sites
- The variety of national and regional suggested sites is not uniformly distributed
- The lack of international, national and continental records including the acknowledged sites
- The lack of a classification system
- The variety of criteria or, on the contrary, the total lack of common criteria to work on the evaluation of the proposals
- The lack of a global legislative system of selection
- The lack of international geological contracts
- The individual, social, regional economical parameters that affect the submission of every proposal

In this article, the authors try to put forward some resolutions on the maintenance of the geological sites, which is a very delicate and important topic for everyone.

## 2. Stages of selection process

We are about to resolve the problem of what way that scientists would follow to establish a site as "geological monument". Usually, the standards introduced are regional, economic, social, peripheral or even personal whereas they must be objectively scientific and educational. Thus, our main care should be the research of an internationally acknowledged system of evaluation and selection of a site (Wimbledon, 1996).

The proposal for an internationally approved system of evaluating geological sites includes the stages given below (Figure 1):

- 1st Stage: vote and application of a legislative frame. Apart from the appropriate laws (national and international) Geo-Contracts, intercontinental contracts, international agreements should be also included in this step (Sturm, 1996b). The legislation should promote a balanced development of the topic under discussion.
- 2nd Stage: Establishment of Committees to appropriately examine the proposed geo-sites. The Committees should be consisted of geologists, basically, who would be supposed, firstly, to start by recording and listing the Geological Monuments, in national, peripheral, continental and global context.
- This is a preliminary stage and it is necessary to set up an International Committee of Supervising Geological Monuments under the aegis of UNESCO (United Nations). This Committee would balance the interest expressed by the countries or the regions, which are, so far, different from place to place. In addition, the Committee's task would be the research of new geo-sites located in countries or regions that have not been "sensitive" to such an important issue. The final task of the Committee would be the processing of the submitted Projects of Conservation, Protection and Management of the proposed Geo Monuments.

- 3rd Stage: Submission of the proposals to establish the geological Monuments. Each proposal will be submitted:
  - by the scientists of these Committees
  - by other geologists
  - by national the regional authorities
- A file with justified data must accompany the project and must analyze the natural, educational, aesthetic, and geological features that justify the submission of the suggested site. As a conclusion, the project must propose a Plan of Conservation, Protection and Management of the site for the authorities that will be entitled to apply it.
- 4th Stage: Classification of the submitted projects. The proposed geological sites are classified in terms of the general appearance, the protection they need, the purpose of use, the interest expressed and the importance of their location.
- 5th Stage: Registration of the submitted proposals by the Committees mentioned above. In this stage, the sites are registered at categories.
- 6th Stage: Selecting the geological sites that fulfill given standards so as to be nominated as Geological Monuments. After classifying the geosites the Committees compare the "candidates" each other or each of them with other existent Geological Monuments. The final classification is based on their natural geological characteristics under given globally approve standards.
- 7th Stage: Definition of a geological site as Geological Monument. The Committee is defining the proposed geo-site after fully examining the file.
- 8th Stage: Putting forwards the Plan of Conservation, Protection and Management of the proposed Geological Monument. After the process of nominating a new geological Monument, all necessary activities for the Enacting, the Approval (from the International Committee of Supervising the Geological Monuments), and Application of the Plan of Conservation, Protection and Management (Sturm, 1996a).

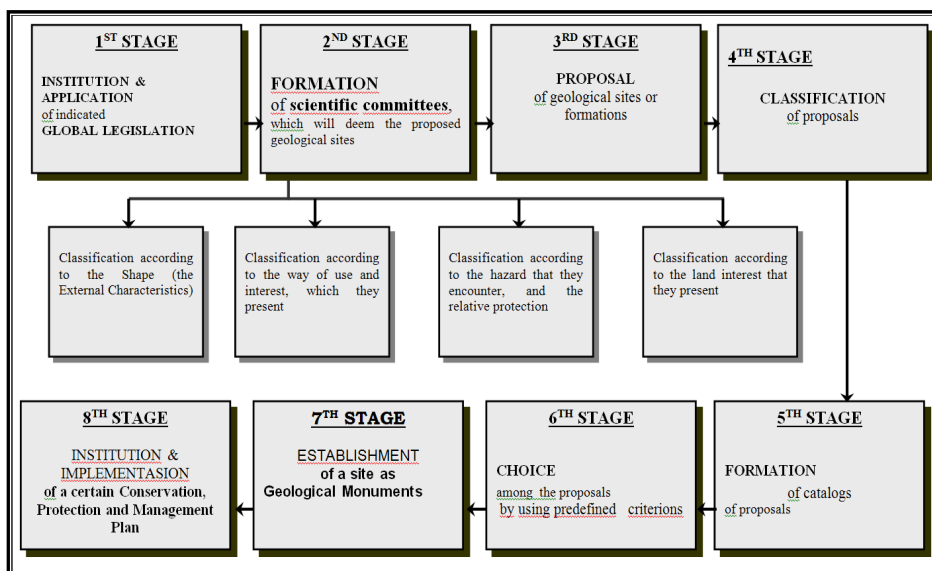


Figure 1. The stages and the choice process of the proposed geological sites, in order to be established as geological monuments

### 3. Classifying the submitted geological sites

Before any evaluation and selections takes place, the recording and listing of the proposed geo-sites must be done in order to compare and assess their common features. For example it is not possible to compare a palaeo-coast endangered by natural or human causes with a cave or a relic formation. Therefore, a comparison exists among formations with the same natural or geological characteristics, or being at the same risk, or needing the same protection. Consequently, the proposed projects must be firstly classified and then compared with existing Geological Monuments or other proposed locations with similar features.

In this paper is suggested four ways to classify the geo-sites (Bathrellos et al., 2004), according to the combination of the classifications given below (Table 1), so that every parameter is taken into consideration.

#### 3.1 Classification as regards the Appearance or the Shape (outward features).

The observation and the use of the outward characteristics can be an important tool in our effort to classify the geo-formations. Consequently we have:

1. Hydrological formations (geomorphologic) such as: springs, rivers, lagoons, delta, old river delta, river meanders, and detached parts of meanders, terraces, alluvial fans, bajandas, warm jet-springs, relics of glaciers, mosaic surfaces, waterfalls, etc
2. Coasts and coastal formations (geomorphologic) such as: coasts, old-coasts, bays, natural harbours (ports), spits, tombolos, fjords etc
3. Relic forms of weathering (geomorphologic) such as: rock masses, arcs or natural bridges (generated by the sea or wind activity), gorges, canyons, fiords, forms of sea weathering, round blocks of granite, deserts, plunge pools, sculptures etc.
4. Karstic forms (geomorphologic) such as: caverns, dolines, poljes, karstic holes, swallow holes, hums, uvalas, etc.
5. Eolian (geomorphologic) shapes such as: dunes
6. Shapes and formations of biological activities: beach rocks, barrier reefs, coral reefs, atolls, etc.
7. Shapes of palaeo-environments.
8. Shapes of palaeo-climates.
9. Stratigraphic shapes: stratigraphic profiles, sequences, sedimentary structures, sedimentary profiles, etc.
10. Palaeontological shapes: fossiliferous shapes, petrified forests, taphocoenosis, etc.
11. Geotectonic shapes: faults, thrusts, saggings, landslides, characteristic joints, horn peaks, overthrust nappes, etc.
12. Shapes of mining and economical activity: abandoned or ancient mines and quarries, obvious mineral deposits, etc.
13. Petrologic and petrographical shapes: rock occurrences, columnar structures, etc.
14. Volcanic shapes: calderas, volcanic craters, volcanic cones, fumarolas, volcanic formations, spines, etc.
15. Geohistoric and archeo-geomorphologic shapes.
16. Compound geological shapes: waterfalls, beach rocks, mud volcanoes, dunes, thermal - hot springs, etc.
17. Cosmic shapes: meteorite craters, etc.

#### 3.2 Classification as regards the danger they are exposed to and the protection they need.

Almost all geological sites and geo-forms are exposed to dangers stemming by human activities; people do not respect their environment. Thus, these geological sites are often at a risk and require protection and management. As a result, it is possible to classify these sites into the following categories:

- regions of Full Protection by every activity
- regions of protection and physical activities
- regions gently affected by human intervention
- National Geological Parks
- protected Formations and Sites
- regions of moderate activities
- regions of any kind of activities

### 3.3 Classification as regards the Purposes of the Use and how attractive they are

The geological sites and the geological formations may attract the public interest depending on their outward appearance or the unusual information they provide. Therefore, we can classify them as following:

- regions of educational or instructing interest
- regions of historical or religious interest associated with the natural beauty
- regions of purely geological interest
- regions of tourist interest along with the natural beauty and the geological information
- regions with economic profit
- regions of various interest

	<i>CLASSIFICATION</i>	<i>SPECIES OF CATEGORIES</i>	
<b>Classification according to the Shape (the External Characteristics)</b>	Hydrologic geomorphologic shapes	springs, rivers, lagoons, river deltas, river meanders, terraces, alluvial fans, bajadas, thermal - hot springs, geyser jets, glaciers, glacial tillites, mosaic surfaces, waterfalls	
	Shore line and coastal (geomorphologic) shapes	shore lines, abandoned - palaeo-shore lines, gulfs, bays, Spits, tombolos, fjords	
	Residual shapes (geomorphologic) of erosion and weathering	rock masses, arches and bridges (formations of marine or eolian origin), gorges, canyons, fjords, marine erosion formations, deserts, plunge pools, sculptures	
	Karst and Eolian (geomorphologic) shapes	caverns, dolines, poljes, karstic holes, swallow holes, hums, uvalas	
	Shapes and formations of biological activities	beach rocks, barrier reefs, coral reefs, atolls	
	Shapes of palaeo-environments		
	Shapes of palaeo-climates		
	Stratigraphic shapes	stratigraphic profiles, sequences, sedimentary structures, sedimentary profiles	
	Palaeontological shapes	fossiliferous shapes, petrified forests, taphocoenosis	
	Geotectonic shapes	faults, thrusts, saggings, landslides, characteristic joints, overthrust nappes	
<b>Classification according to the hazard and the relative protection</b>	Shapes of mining and economical activity	abandoned or ancient mines and quarries, obvious mineral deposits	
	Petrologic and petrographical shapes	rock occurrences, columnar structures	
	Volcanic shapes	calderas, volcanic craters, volcanic cones, fumarolas, volcanic formations, spines	
	Geohistoric & archo-geomorphologic shapes		
	Compound geological shapes	waterfalls, beach rocks, mud volcanoes, dunes, thermal - hot springs	
	Cosmic shapes	meteorite craters	
	Regions of Absolute Protection of all kinds of activities	<b>Classification according to the land interest</b>	Regions of global (universal) interest
	Protection and Natural Activities region		Regions of continental interest
	Regions which are affected from human activities and interventions with no harm		Regions of national interest
	National Geological Parks		
Protected Shapes and Locations	Regions of local interest		
Mild Activities Regions			
Regions in which any kind of activities take place			
<b>Classification according to the way of use and the interest</b>	Regions of didactic and educational interest		
	Regions of historic interest		
	Regions of geological interest		
	Regions of touristic interest		
	Regions of economical interest		
Regions of diverse interest			

Table 1: The classification of geological sites and monuments.

### 3.4 Classification as regards the location itself

The geological sites or formations may attract the public interest at a local, national or international level (frame). According to this, we can have the classifications given below:

- a) sites of international interest
- b) sites of continental interest
- c) sites of national interest
- d) sites of local interest

During the classification, it is necessary to combine the ways of classification, so as to evaluate every feature.

#### **4. Selecting the geological monuments according to specified criteria.**

In this paragraph the authors suggest the use of combined specified criteria to result to a globally approved system of evaluating the geological sites and the geological formations. The standards are the base of selecting geo-forms (Figure 2), which are listed together after the classification and the registration of the submitted proposals. It is very important to make lists in a global, continental, national and regional frame including Geological Monuments and which have been defined according to objective standards (Bathrellos, 2000). Composing any list of Geological Monuments, Geological Forms and Universal Monumental Locations, must be everything but a patchwork of regional or national proposals. The suggestion involving the application and the use of the Evaluation Plan includes the following specified criteria:

A Geological Monument should:

- 1) be a typical example from one of the greatest phases of the History of the Earth
- 2). provide important information for the Earth and its evolution (the evolution of life, the geological or the geomorphologic processes that occurred)
- 3). be justified by its location
- 4). be a proof of the given geological siting
- 5). be the evidence of a particular way of genesis
- 6). have a particular morphology
- 7). be a typical example of ecological or biological processes in terms of the development of a habitat
- 8). represent special natural phenomena
- 9). own a natural beauty, a significant aesthetic and be impressive and striking to people
- 10). comprise natural inhabitants which shall represent and maintain the bio-diversity.
- 11). be a habitat made of either rare and exceptional organisms, or, endangered species.
- 12). provide with educational benefits,
- 13). provide with the research
- 14). give prospects of rescue and maintenance
- 15). possibly demonstrate local social development
- 16). possibly demonstrate economic and tourist development
- 17). possibly demonstrate market opportunities
- 18). be a unique cell of regional and national promotion
- 19). be particularly rare
- 20). be particularly spread
- 21). be physically accessible

Combining and sorting out these criteria result to the basis of universally approved and reliable system of assessment and selection of the geological sites. Nobody may show disbelief towards the List of the Geological Monuments that have been selected with global reliable standards. Apart from the number or the justification of each submitted proposal, the objective judgement will aid the great purposes of this indubitable acknowledgement of the Geological Monuments.

IMPRESSION OF A STAGE OF THE EARTH HISTORY	SPECIFIC GEOLOGIC SURVEY	SPECIFIC GEOLOGIC CHRONO-SETTING	PARTICULAR WAY OF CREATION	PARTICULAR MORPHOLOGY
EVIDENCE OF ECOLOGIC OR BIOLOGIC FERMENTATIONS	EVIDENCE OF EXCEPTIONAL NATURAL PHENOMENON	SIGNIFICANT AESTHETICS	<u>BIODIVERSITY</u>	HABITAT OF REAR ORGANISMS
CONTRIBUTION TO EDUCATION	CONTRIBUTION TO RESEARCH	PROBABILITY OF PRESERVATION & CONSERVATION	ABILITY OF LOCAL SOCIAL DEVELOPMENT	ABILITY OF ECONOMICAL TOURIST DEVELOPMENT
ABILITY OF ECONOMICAL COMMERCIAL DEVELOPMENT	ABILITY OF LOCAL & NATIONAL PROMOTION	WITH UNIQUE <u>RARENESS</u>	WITH UNIQUE EXTENSION	EASY APPROACH (NATURAL & OPTIC)

Figure 2 Predefined criteria, used for the choice of a proposed geological site as a geological monument.

## 5. Conclusions

In this paper is described the suggestion of the establishment of an international frame, to include the geological sites and their definition as Geological Monuments.

The proposal for an internationally approved system of evaluating geological sites includes: vote and application of a legislative frame, establishment of Committees to appropriately examine the proposed geo-sites, submission of the proposals to establish the geological monuments, classification of the submitted projects, registration of the submitted proposals by the Committees mentioned above, selecting the geological sites that fulfil given standards so as to be nominated as geological monuments definition of a geological site as geological monument putting forwards the Plan of Conservation, Protection and Management of the proposed geological monument.

In addition, it is suggested four ways to classify the geo-sites: classification as regards the Appearance or the Shape (outward features), classification as regards the danger they are exposed to and the protection they need, classification as regards the Purposes of the Use and how attractive they are, classification as regards the location itself.

Finally, a group of criteria are suggested, which must be defined, and be internationally approved, to become the basis of nominating a geological site as Geological Monument.

## References

Bathrellos, G. D., 2000: Geological Heritage and Geological Natural Monuments. MSc Thesis. National and Capodistrian University of Athens, Athens (in Greek).



Bathrellos, G. D., H. D. Skylodimou, E. Verykiou, and E. Lykoudi, 2004: Choice process of the proposed geological sites, in order to be established as geological monuments. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*. XXXX, 83-88.

Sturm, B., 1996a: The influence potential of physical planning – a big chance for geotope protection and geosphere focused landscape management. *Geologica Balcanica*. Sofia, 26.1, Mart 1996.

Sturm, B., 1996b: First framework approach and steps towards an International Geo(Diversity) Convention. *Geologica Balcanica*. Sofia, 26.1, Mart 1996.

Wimbledon, W. A., 1996: National site selection, a stop on the road to a European Geosite list. *Geologica Balcanica*, Sofia, 26.1, Mart 1996.



**8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ**  
**της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# *Γεωγραφική Εκπαίδευση*



## ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑ

Κλωνάρη Α.

*Πανεπιστήμιο του Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας*

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή διερευνώνται οι ιδέες των μαθητών σχετικά με τη γνώση που έχουν για το εσωτερικό της γης και για τα ηφαίστεια. Το δείγμα της έρευνας ήταν 100 μαθητές/τριες Β' Γυμνασίου, ηλικίας 13-14 ετών, από 5 σχολεία της Ελεύθερης Επαρχίας της Αμμοχώστου, στην Κύπρο. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια που περιείχαν τόσο κλειστού όσο και ανοικτού τύπου ερωτήσεις. Οι απαντήσεις των μαθητών/τριών κωδικοποιήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν και αναλύθηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS 13.0. Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν ότι οι μαθητές/τριες του δείγματος διατηρούσαν εναλλακτικές αντιλήψεις για τα προς διερεύνηση θέματα (ιδιαίτερα για την περιγραφή της δομής αλλά και της κατάστασης του εσωτερικού της γης, τη χρήση σωστού επιστημονικά λεξιλογίου για έννοιες όπως μάγμα, λάβα, τα αίτια δημιουργίας ηφαιστειακών εκρήξεων και των υλικών τους κ.α), αν και τα είχαν διδαχθεί πρόσφατα στο σχολείο τους. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γνωστοποιήσουν τον τρόπο που οι μαθητές/τριες αντιλαμβάνονται και κατανοούν τις γεωλογικές έννοιες, αλλά και για να αποτελέσουν υλικό για παρά πέρα έρευνα και συζήτηση για τον τρόπο διδασκαλίας των θεμάτων αυτών στα σχολεία. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την εφαρμογή κατάλληλων (εποικοδομητικών) μεθόδων/πρακτικών στην τάξη, ώστε να βοηθήσουν τους μαθητές/τριες στην κατανόηση του πλανήτη πάνω στον οποίο ζουν.

### STUDENT'S ALTERNATIVE IDEAS ABOUT EARTH'S INTERIOR AND VOLCANOES

Klonari Aikaterini

*University of the Aegean, Department of Geography*

### Abstract

This research focused on knowledge and understanding in a number of geosciences topic, such as **earth's** interior and volcanoes, among Cypriot students aged of 13-14 years. Perceptions of 100 students attending the 2<sup>nd</sup> grade in five Junior High Schools in Free Province of Ammochostos were examined. Data were collected through questionnaires containing closed and open-ended questions. The answers of the students were encoded, were categorized and were analyzed using the "SPSS 13.0" statistical package for Windows. The findings of the research revealed that students in the sample do hold alternative conceptions about geosciences, particularly in reference to the composition and interior of the earth, the use of scientifically vocabulary for a number of concepts (magma, lava, etc.), the causes of volcanic eruptions etc. The results of research can be used to inform our understanding of young students' learning in geography and to take into consideration the way that students comprehend **concepts relating to the Earth's structure and processes**. In addition these findings could be used for further research and for classroom practice if teachers want to employ a constructivist model of teaching and learning, where such underlying patterns can be identified and used to target strategies that better facilitate learning in this domain.

**Λέξεις κλειδιά:** εναλλακτικές ιδέες μαθητών, εσωτερικό της γης, ηφαίστεια, Διδακτική Γεωγραφίας.

**Key words:** students' alternative ideas, earth's interior, volcanoes, Geography teaching.

## 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία είκοσι χρόνια, τόσο σε διεθνές όσο και ελληνικό επίπεδο, έχουν δημοσιευθεί πολλές έρευνες, οι οποίες υποστηρίζουν την άποψη ότι οι μαθητές/τριες, έρχονται στο σχολείο, έχοντας πολλές ιδέες και αντιλήψεις για φαινόμενα και έννοιες που πρόκειται να διδαχθούν (Driver *et al.*, 1985, Osborne & Freyberg, 1985, Driver & Bell, 1986, Vosniadou & Brewer, 1992, Vosniadou, 1994, Schnotz *et al.*, 1999, Κουλαϊδής, 1994, Κόκκοτας, 2003). Οι ιδέες αυτές αναπτύσσονται στα παιδιά μέσα από την προσπάθειά τους να εξηγήσουν φαινόμενα που παρατηρούν στον κόσμο μέσα στον οποίο ζουν, με αναφορά τις εμπειρίες τους, τις τρέχουσες γνώσεις τους και τη γλώσσα την οποία χρησιμοποιούν. Συγκεκριμένα οι ιδέες τους για θέματα που αφορούν τη γη ως πλανήτη, τη δομή του εσωτερικού της γης, την ιστορία και την εξέλιξη της στο χρόνο, φαινόμενα που διαμορφώνουν το ανάγλυφο της (ηφαίστεια, σεισμοί, αποσάθρωση διάβρωση, κ.α.) παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον, αφού επισημαίνουν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα παιδιά για να τις κατανοήσουν. Αυτό συμβαίνει γιατί η κατανόηση αυτών των "γεωλογικών" εννοιών είναι σύνθετη, όχι μόνο γιατί κάποιες από αυτές είναι αφηρημένες αλλά και γιατί είναι πολυσύνθετες και ενέχουν μια ιεραρχία (Ault, 1984, Press & Siever, 1986, Duff, 1993). Επιπλέον για πολλές από αυτές τις έννοιες και τα φαινόμενα οι μαθητές δεν έχουν άμεση εμπειρία και έτσι χρησιμοποιούν γνώση που έχουν αποκομίσει μέσα από την καθημερινότητά τους για να τα ερμηνεύσουν.

1. Πλήθος διεθνών ερευνών μας έχουν δώσει μια λεπτομερή εικόνα της κατανόησης των παιδιών για τις "γεωλογικές" έννοιες στο μάθημα της γεωγραφίας π.χ.:
2. τα γήινα υλικά: πετρώματα και μεταλλεύματα (Piaget, 1929, Happs, 1985, Russell *et al.*, 1993, Oversby, 1996, Marques & Thompson, 1997),
3. τη δομή της γης (Sharp *et al.*, 1995, Russell *et al.*, 1993, Lillo, 1994),
4. τις γήινες διαδικασίες: ορογενέσεις, ηφαίστεια, σεισμοί, αποσάθρωση και διάβρωση (Piaget, 1929, Happs, 1984, Leather, 1987, Sharp *et al.*, 1995), και γεωλογικές εποχές (Ross & Schuell, 1993, Oversby, 1996, Marques & Thompson, 1997, Dove, 1997) και
5. το γεωλογικό χρόνο (Hume, 1978, Ault, 1982, 1984, Trend, 1998).

Αυτές οι μελέτες επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι τα παιδιά αναπτύσσουν μια δική τους, συνήθως μη επιστημονική, αντίληψη για τη γη και για έννοιες σχετικές με αυτή, πριν από την διδασκαλία, όπως επίσης ότι περιγράφουν και ερμηνεύουν αυτές τις έννοιες με καθημερινούς όρους που τους είναι γνωστοί. Επιπλέον, οι έρευνες αυτές έχουν διαπιστώσει όχι μόνο το πόσο περιορισμένη είναι η κατανόηση των παιδιών για τη δομή της γης, τις διαδικασίες και τα υλικά, αλλά και το πόσο διαφορετικές είναι οι αντιλήψεις τους από εκείνες των γεωεπιστημόνων.

Σημαντικά, βασικά κρίσιμα εμπόδια για να αναπτύξουν τα παιδιά μια επιστημονική κατανόηση σε αυτά τα θέματα έχουν προσδιοριστεί (Ault, 1982, 1984, 1994, Trend, 1998) και είναι:

1. ο γεωλογικός χρόνος,
2. τα πρότυπα (μοντέλα) μεγάλης κλίμακας στο περιβάλλον και τις φυσικές αλλαγές που αντιπροσωπεύουν,
3. τα πετρώματα: η ύπαρξη, η κλίμακα και η διάταξη τους σε στρώματά.

Παρόλα αυτά στον ελληνικό χώρο οι έρευνες για τις παρανοήσεις των μαθητών για γεωγραφικές ή γεωλογικές έννοιες, φαινόμενα και διαδικασίες είναι ελάχιστες (Κλωνάρη, Τσάμης, 2002;) και αυτός είναι ο λόγος που το επίκεντρο αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση των ιδεών των μαθητών για τη σύσταση και τη δομή του εσωτερικού της γης όπως επίσης και για τα ηφαίστεια.

## 2. Αιτιολογία της έρευνας

Τα παιδιά, όπως ήδη αναφέρθηκε, από την παιδική τους ηλικία και πριν ακόμα διδαχθούν για διάφορα φαινόμενα του φυσικού κόσμου στο σχολείο, σχηματίζουν δικές τους απόψεις, και δίνουν την δική τους ερμηνεία για αυτά. Είναι γνωστό ότι κάθε άτομο ξεχωριστά εσωτερικεύει την εμπειρία του και με αυτό τον τρόπο κατασκευάζει τα δικά του νοήματα. Επειδή όμως οι προσωπικές «ιδέες» των μαθητών επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο προσλαμβάνονται οι επιστημονικές γνώσεις, το αν μπορούν τα παιδιά να μάθουν εξαρτάται, εν μέρει, από το «πώς σκέπτονται», αλλά και από το μαθησιακό πλαίσιο στο οποίο βρίσκονται. Είναι σημαντικό λοιπόν, οι ιδέες των μαθητών να λαμβάνονται υπόψη από τους εκπαιδευτικούς, γιατί έτσι δίνεται η δυνατότητα να είναι καλύτερα προσαρμοσμένη και πιο αποτελεσματική η διδασκαλία τους. Και αυτό γιατί οι εκπαιδευτικοί διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, στο να βοηθήσουν τους μαθητές να προσδιορίσουν τις ιδέες τους (ανίχνευση ιδεών), στο να προετοιμάσουν τα κατάλληλα μαθησιακά έργα ώστε να προκαλέσουν γνωστική σύγκρουση με τις ιδέες που υποστηρίζουν οι μαθητές τους, και στο να προκαλέσουν την εννοιολογική αλλαγή. (Henriques, 2002). Έτσι οι παρανοήσεις των μαθητών, γίνονται η αφετηρία για να αποκτήσουν σωστά τη νέα γνώση που το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών και ο εκπαιδευτικός θέλει να αποκτήσουν. Επειδή λοιπόν, σύμφωνα με το Πρόγραμμα Σπουδών της Γεωγραφίας, τόσο στην Α/θμια όσο και τη Β/θμια Εκπαίδευση, ως σκοπός της διδασκαλίας του μαθήματος ορίζεται: «η απόκτηση βασικών γνώσεων, εξειδικευμένων πληροφοριών, μεθόδων και τεχνικών που συμβάλλουν στην κατανόηση της δομής του γεωγραφικού χώρου, στην ερμηνεία των αλληλεξαρτήσεων και των αλληλεπιδράσεων γεωφυσικών και ...» και ιδιαίτερα «...η αναγνώριση των μερών του εσωτερικού της γης, η διάκριση των δυνάμεων που διαμορφώνουν το ανάγλυφό της, ... η σύνδεση της δράσης των γεωλογικών δυνάμεων με τα αποτελέσματά τους για το γήινο ανάγλυφο, ... η συσχέτιση των φαινομένων των ηφαιστείων και των σεισμών με διεργασίες που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της γης...κ.α.», κρίνεται απαραίτητο ο εκπαιδευτικός όχι μόνο να κατέχει την επιστημονική γνώση για την φυσική γεωγραφία αλλά και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών του για τις έννοιες που σχετίζονται με αυτήν, ώστε οι σκοποί και οι στόχοι του μαθήματος να επιτευχθούν και να μην αποτελούν «κενό γράμμα», μέσα στην εκπαιδευτική διαδικασία.

## 3. Μεθοδολογία της Έρευνας

### 3.1 Εργαλείο της έρευνας

Για την καταγραφή και την αξιολόγηση των απόψεων των μαθητών, για το εσωτερικό της γης και τα ηφαιστεια σχεδιάστηκε ένα ερωτηματολόγιο. Στην πρώτη σελίδα του ερωτηματολογίου υπήρχαν ερωτήματα που αφορούσαν τα δημογραφικά στοιχεία των ερωτώμενων όπως το φύλο, η ηλικία, η τάξη, το σχολείο καθώς και η εκπαίδευση και το επάγγελμα του πατέρα και της μητέρας τους και στην συνέχεια οκτώ ερωτήματα που αφορούσαν το προς διερεύνηση θέμα. Τα τέσσερα από αυτά ήταν ανοικτού τύπου, το ένα ήταν συνδυασμός κλειστού και ανοικτού τύπου και τα υπόλοιπα τρία κλειστού τύπου.

Το πρώτο ερώτημα, ζητούσε από τους μαθητές να αναφέρουν από τι αποτελείται το εσωτερικό της γης (τα μέρη και την κατάσταση τους). Για να είναι δυνατή η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών η ερώτηση χωρίστηκε σε δυο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος κωδικοποιήθηκαν οι απαντήσεις που αναφέρονταν στα μέρη του εσωτερικού της γης και στο δεύτερο σκέλος κωδικοποιήθηκαν οι απαντήσεις που αναφέρονταν στην κατάσταση που βρίσκονται τα μέρη του εσωτερικού της γης.

Το δεύτερο ερώτημα ζητούσε από τους μαθητές να γράψουν πως δημιουργείται ένα ηφαιστείο.

Το τρίτο ερώτημα το τι ονομάζεται ενεργό ηφαιστείο.

Η ερώτηση 4 αποτελείτο από τρία σκέλη: στο πρώτο (4Α) οι μαθητές έπρεπε να επιλέξουν ποια υλικά εκτοξεύονται από ένα ηφαιστείο, στο δεύτερο (4Β) ζητήθηκε να απαντηθεί με να

ή όχι η ερώτηση αν οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν το κλίμα, και στην περίπτωση που οι μαθητές /τριες απαντούσαν θετικά να δικαιολογήσουν την άποψη τους και στο τρίτο (4Γ) το ερώτημα που τίθετο ήταν εάν ένα ηφαίστειο που δεν έχει κάνει έκρηξη τα τελευταία 100 χρόνια μπορεί να ξαναενεργοποιηθεί.

Στο πέμπτο ερώτημα ζητήθηκε από τους μαθητές να απαντήσουν πότε θεωρούν ότι ένα ηφαίστειο είναι σβησμένο.

Και τέλος στο έκτο ερώτημα υπήρχαν έξι φωτογραφίες (όλες ήταν από ηφαίστεια) και ζητήθηκε από τους μαθητές/τριες να σημειώσουν ποιες από τις φωτογραφίες δείχνουν ηφαίστεια.

Για να είναι δυνατή η επεξεργασία των απαντήσεων με το στατιστικό πακέτο "SPSS 13.0" αυτές αρχικά κωδικοποιήθηκαν σε 5 κατηγορίες; επιστημονικά ορθές και πλήρεις, επιστημονικά ορθές αλλά ελλιπείς, σε μη επιστημονικά ορθές ή λάθος, σε συγκεχυμένες(εν μέρει σωστές αλλά περιείχαν και λάθη) και μια κατηγορία για αυτούς που δεν απάντησαν ή δήλωσαν άγνοια. Στην συνέχεια έγινε επανακωδικοποίηση αυτών των απαντήσεων ώστε να εισαχθούν στη βάση δεδομένων του SPSS και να είναι δυνατή η ανάλυσή τους. Για την επεξεργασία των δεδομένων της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι περιγραφικής στατιστικής – ποσοστά και πίνακες συχνότητας. Μέσα από το SPSS, επίσης ελέγχθηκε αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τις απαντήσεις των μαθητών/τριών σε σχέση με το φύλο, το σχολείο, την εκπαίδευση και το επάγγελμα του πατέρα και της μητέρας. Και τέλος ελέγχθηκε αν συσχετίζονται οι απαντήσεις των μαθητών/τριών μεταξύ τους. Για τις συσχετίσεις χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος ανεξαρτησίας  $\chi^2$ .

### 3.2 Δείγμα της έρευνας

Το δείγμα της έρευνας ήταν 100 μαθητές/τριες της Β΄ Γυμνασίου στην Ελεύθερη Επαρχία Αμμοχώστου στη Κύπρο. Το 28% από το Γυμνάσιο Παραλιμνίου, το 23% από το Γυμνάσιο Ξυλοφάγου, το 21% από το Γυμνάσιο Κοκκινοχωριών, το 1% από το Γυμνάσιο Αραδίππου, το 1% από το Γυμνάσιο Δερύνειας. Το υπόλοιπο 26% των μαθητών/τριών δεν έδωσε απάντηση σε ποιο σχολείο ανήκει. Συνολικά το 52% ήταν κορίτσια και το 42% αγόρια, ενώ το 6% δεν δήλωσε το φύλο του. Η ηλικία τους κυμαινόταν από 13-14 ετών, συγκεκριμένα το 42% ήταν 13 χρονών, το 45% 14 χρονών, το 6% ήταν 13.5, το 3% ήταν 15 χρονών. Το υπόλοιπο 4% δεν δήλωσε την ηλικία του.

## 4. Αποτελέσματα

Μια γενική παρατήρηση από την επεξεργασία των ερωτηματολογίων είναι ότι στις ανοικτές ερωτήσεις απάντησαν πολύ λιγότεροι μαθητές/τριες, ενώ στις κλειστές ερωτήσεις απαντούσε σχεδόν όλο το δείγμα.

### 4.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων

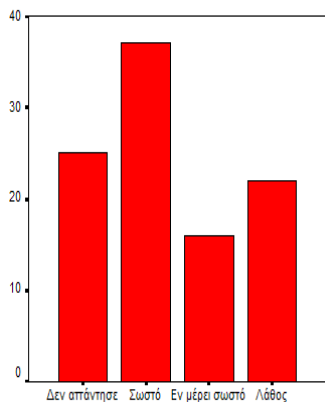
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας μπορούμε να έχουμε μια πρώτη αντίληψη για το πώς οι μαθητές/τριες αντιλαμβάνονται τη δομή του εσωτερικού της γης (τα μέρη του και την κατάστασή τους), και τα ηφαίστεια.

#### Ερώτηση 1<sup>η</sup>

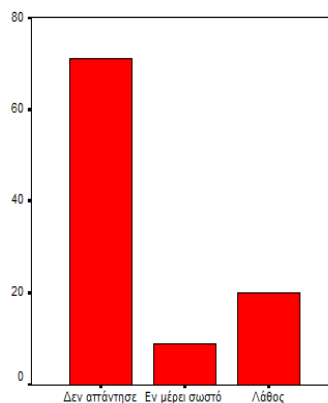
Για τη δομή του εσωτερικού της γης, δεν δόθηκε καμιά ολοκληρωμένη απάντηση. Πολλοί μαθητές/τριες γνωρίζουν ότι το εσωτερικό της γης αποτελείται από το φλοιό, το μανδύα, τον πυρήνα αλλά η πλειοψηφία αναφέρθηκε σε ένα ή δύο από τα πιο πάνω μέρη, και οι απαντήσεις που δόθηκαν δεν ήταν ολοκληρωμένες. Έτσι στο πρώτο σκέλος (1α) αυτής της ερώτησης, όπου έπρεπε να αναφέρουν τα μέρη που αποτελείται το εσωτερικό της γης, το 37% απάντησε σωστά, το 16% έδωσε ελλιπείς ή συγκεχυμένες απαντήσεις (σωστά και λάθος στοιχεία ταυτόχρονα), το 22% απάντησε λάθος και το 25% των μαθητών/τριών δεν έδωσε

απάντηση. Για το δεύτερο σκέλος (1β) της ερώτησης που αφορούσε στην κατάσταση των μερών του εσωτερικού της γης το 71% δεν απάντησε, το 9% απάντησε συγκεκριμένα, το 20% απάντησε λάθος, ενώ κανένας μαθητής /τρια δεν απάντησε σωστά. (Διαγράμματα 1, 2)

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι ένα μεγάλο ποσοστό μαθητών/τριών έχουν λανθασμένες ιδέες όσον αφορά από τι αποτελείται το εσωτερικό της γης, όπως για παράδειγμα, θεωρούν ότι η γη αποτελείται από πέτρες, νερό, χρώμα, λάσπη, στοιχεία που είναι στην επιφάνεια της. Αυτό που κάνει εντύπωση είναι το γεγονός ότι μερικοί μαθητές μπορεί να μην έχουν δώσει την σωστή επιστημονική απάντηση, αλλά δίνουν στοιχεία τα οποία σχετίζονται, όπως ότι στο εσωτερικό της γης υπάρχουν τεκτονικές πλάκες και λάβα (μη διάκριση έννοιας μάγμα-λάβα). Η επικρατούσα λανθασμένη απάντηση που έδωσαν οι μαθητές/τριες για τα μέρη του εσωτερικού της γης ήταν ότι η γη αποτελείται από πέτρες και χρώμα. Για την κατάσταση των μερών του εσωτερικού της γης, επίσης, ένα πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό των μαθητών/τριών δεν έχει δώσει καμία σωστή απάντηση. Από τις απαντήσεις τους γίνεται αντιληπτό ότι, έχουν εναλλακτικές ιδέες έστω και αν τα θέματα αυτά τα είχαν διδαχθεί σχετικά πρόσφατα στο σχολείο τους. Υπάρχει λανθασμένη αντίληψη όμως και για τη θέση των μερών του εσωτερικού της γης. Για παράδειγμα μερικοί μαθητές θεωρούν ότι ο πυρήνας βρίσκεται πάνω από το μανδύα, ή ότι ο μανδύας είναι όλος ρευστός ή ότι αποτελείται από μέταλλα σε ρευστή κατάσταση και μόνο ο φλοιός είναι στερεός. Κάποιοι μαθητές έχουν ακόμα μια εντελώς λανθασμένη άποψη θεωρών ότι ο φλοιός της γης είναι τα βουνά και οι ωκεανοί. Κάποιοι άλλοι επίσης ενώ γνωρίζουν και γράφουν ότι ο πυρήνας χωρίζεται σε εσωτερικό και εξωτερικό, δεν κάνουν καμία αντίστοιχη αναφορά για τον μανδύα ή το φλοιό. Τέλος η επικρατούσα απάντηση που έδωσαν οι μαθητές/τριες για την κατάσταση του εσωτερικού της γης είναι ότι ο φλοιός είναι στερεός και ο μανδύας ρευστός.



Διάγραμμα 1. Από τι αποτελείται το εσωτερικό της γης- τα μέρη του.



Διάγραμμα 2. Από τι αποτελείται το εσωτερικό της γης- την κατάσταση των μερών.

### Ερώτηση 2η

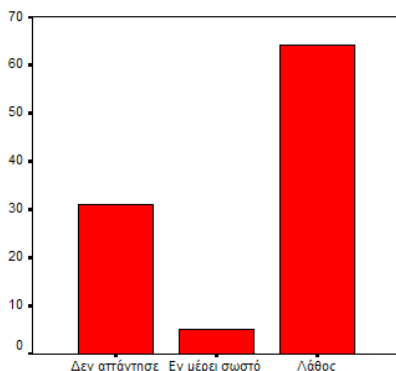
Στην ερώτηση 2, ζητήθηκε οι μαθητές/τριες να γράψουν πως νομίζουν ότι δημιουργείται ένα ηφαίστειο. Το 31% δεν απάντησε, το 5% απάντησε εν μέρει σωστά ή συγκεκριμένα και το υπόλοιπο 64% απάντησε λάθος. Σε αυτή την ερώτηση δεν υπήρχε καμία σωστή απάντηση (Διάγραμμα 3).

Οι απόψεις των μαθητών/τριών για τα ηφαίστεια στην πλειοψηφία τους είναι και αυτές είτε λανθασμένες είτε συγκεκριμένες. Θεωρούν ότι τα ηφαίστεια δημιουργούνται από κάποιες ανωμαλίες που γίνονται στο εσωτερικό της γης, είτε ότι τα ηφαίστεια δημιουργούνται εξαιτίας των σεισμών. Επίσης πιστεύουν ότι το ηφαίστειο είναι ένα βουνό και η έκρηξη γίνεται γιατί



σκάει το βουνό. Κάποιοι μαθητές ανέφεραν ότι η έκρηξη των ηφαιστειών δημιουργείται από μεγάλη πίεση ή όταν βγαίνει λάβα από το εσωτερικό της γης, (γεγονός που είναι ταυτολογία).

Οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών/τριών είναι ελλιπείς. Μια εντελώς λανθασμένη εξήγηση, για την δημιουργία των ηφαιστειών που δόθηκε από τους μαθητές/τριες, είναι ότι η έκρηξη του ηφαιστείου δημιουργείται εξαιτίας εξωγενών δυνάμεων, όπως της βροχής, του ανέμου, της θάλασσας. Άλλες απόψεις που διατυπώθηκαν είναι ότι συγκεντρώνεται στο εσωτερικό της γης θερμότητα η οποία πρέπει να βγει έξω και για αυτό δημιουργούνται τα ηφαιστεια. Η επικρατούσα απάντηση που έδωσαν οι μαθητές για τη δημιουργία του ηφαιστείου είναι ότι δημιουργείται εξαιτίας των σεισμών.



Διάγραμμα 3. Πως νομίζεις ότι δημιουργείται ένα ηφαίστειο;

#### Ερώτηση 3η

Στην ερώτηση 3, οι μαθητές έπρεπε να γράψουν το τι ονομάζεται ενεργό ηφαίστειο. Και σε αυτήν την ερώτηση οι απαντήσεις των μαθητών/τριών ήταν απογοητευτικές. Το 73% των απαντήσεων ήταν λάθος, το 24 % δεν απάντησε, και μόνο το 3% απάντησε σωστά.

Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών/τριών δεν γνωρίζουν τι ονομάζεται ενεργό ηφαίστειο. Πολλοί έχουν την εντύπωση ότι ενεργό είναι το ηφαίστειο που κάνει έκρηξη. Επίσης έχουν συνδυάσει στο μυαλό τους σαν ενεργό ηφαίστειο, το ηφαίστειο που βγάζει λάβα και καπνούς, στάχτες και λιωμένα πετρώματα. Θεωρούν επίσης σωστά ελάχιστοι μαθητές ότι ενεργό ηφαίστειο είναι το ηφαίστειο που έχει ενεργοποιηθεί και μπορεί να ενεργοποιηθεί ξανά. Η επικρατούσα λανθασμένη απάντηση που έδωσαν για το τι ονομάζεται ενεργό ηφαίστειο ήταν ότι είναι το ηφαίστειο που έχει φωτιά.

#### Ερώτηση 4α

Στην ερώτηση 4α, ποια υλικά εκτοξεύονται από ένα ηφαίστειο, απάντησε όλο το δείγμα. Από το σύνολο των μαθητών /τριών το 7% απάντησε σωστά και το υπόλοιπο 93% απάντησε εν μέρει σωστά.

Η πλειοψηφία των μαθητών π.χ. δεν γνωρίζουν ότι υλικά που βγάζει ένα ηφαίστειο μπορεί να είναι η λάβα, στάχτη, κομμάτια από πετρώματα, τοξικά αέρια και υδρατμοί. Στις επιλογές που είχαν πολλοί επέλεξαν μόνο μερικά από τα πιο πάνω υλικά. Οι περισσότεροι επέλεξαν μόνο τα λιωμένα πετρώματα και τις πέτρες.

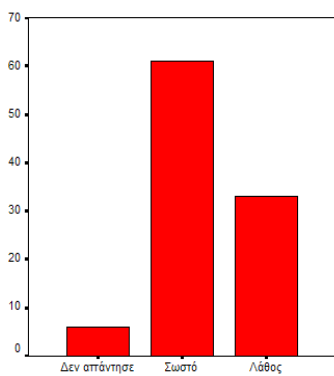
#### Ερώτηση 4β

Στην ερώτηση 4β, η οποία αναφέρεται στο αν οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν το κλίμα, το 4% δεν απάντησε, το 56% απάντησε σωστά και το 40% απάντησε λάθος.

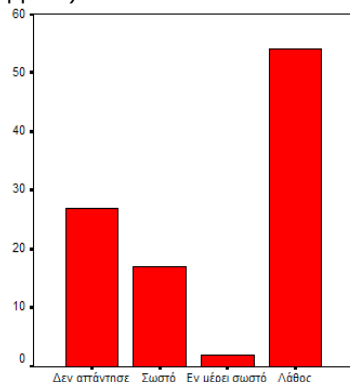
Φαίνεται όμως ότι εδώ η απάντηση των μαθητών ήταν περισσότερο τυχαία ή στηριγμένη σε μια γενική εντύπωση που μπορεί να είχαν διότι στην συνέχεια δεν μπόρεσαν να δικαιολογήσουν την άποψη τους ( 57% δεν απάντησαν) και από όσους απάντησαν το 15% απάντησε λανθασμένα, ενώ το 28% συγκεχυμένα. Υπήρχαν απαντήσεις, όπως ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις αυξάνουν την θερμοκρασία της γης, ή καταστρέφουν τα δάση, ή μειώνεται η βλάστηση ή ότι μολύνουν το κλίμα. Φαίνεται ότι οι μαθητές δεν ξεχωρίζουν ακόμα τις βασικές έννοιες όπως κλίμα-ατμόσφαιρα, ρύπανση-μόλυνση, βλάστηση-περιβάλλον, κ.α.. Η επικρατούσα λανθασμένη απάντηση στην δικαιολόγηση της απάντησης τους ήταν ότι μολύνουν το περιβάλλον.

#### Ερώτηση 4γ

Στη ερώτηση αν ένα ηφαιστειο που δε έχει κάνει έκρηξη τα τελευταία 100 χρόνια μπορεί να ξαναενεργοποιηθεί, η πλειοψηφία απάντησε σωστά (61%), ότι μπορεί να ξαναενεργοποιηθεί, αλλά υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός μαθητών/τριών (33%) που απάντησε λάθος, ενώ το 6% δεν απάντησε (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Ένα ηφαιστειο που δεν έχει κάνει έκρηξη



Διάγραμμα 5. Πότε ένα ηφαιστειο θεωρείται σβησμένο;

#### Ερώτηση 5η

Στην ερώτηση πότε ένα ηφαιστειο θεωρείται σβησμένο, το 27% των μαθητών δεν απάντησε, το 17% απάντησε σωστά, το 2% απάντησε εν μέρει σωστά ή συγκεχυμένα και το 54% λάθος (Διάγραμμα 5).

Οι απόψεις των μαθητών για το πότε ένα ηφαιστειο θεωρείται σβησμένο, είναι είτε συγκεχυμένες είτε λάθος. Αναφέρουν ότι το ηφαιστειο θεωρείται σβησμένο, όταν δεν κάνει έκρηξη, ή όταν δεν βγάζει λάβα, καπνούς, πετρώματα, όταν δεν συγκρούονται οι πλάκες, όταν η λάβα στερεοποιείται, κ.α. Επίσης πιστεύουν ότι σβησμένο θεωρείται το ηφαιστειο που δεν έχει ενεργοποιηθεί ποτέ. Η επικρατούσα απάντηση που έδωσαν είναι ότι είναι σβησμένο όταν δεν βγάζει καπνούς.

#### Ερώτηση 6η

Στην τελευταία ερώτηση, δίνονταν στους μαθητές φωτογραφίες διαφόρων ηφαιστειών και έπρεπε να σημειώσουν όσες από αυτές θεωρούσαν ότι ήταν ηφαιστεια. Από τις απαντήσεις των μαθητών/τριών φαίνεται ότι και σε αυτό το θέμα υπάρχουν ισχυρές παρανοήσεις. Οι περισσότεροι μαθητές πιστεύουν ότι ένα ηφαιστειο είναι ένα βουνό και αυτό επαληθεύεται από το ότι η πλειοψηφία επέλεξε όσες εικόνες απεικόνιζαν βουνό. Έτσι μόνο το 5% των παιδιών απάντησε σωστά, ενώ το 85% απάντησε εν μέρει σωστά και το 10% δεν έδωσε καμία απάντηση.

Από τους πίνακες συχνότητων έχουμε προβεί σε κάποια γενικά συμπεράσματα σε σχέση με τις απαντήσεις και τα δημογραφικά τους στοιχεία. Οι περισσότερες λάθος απαντήσεις δόθηκαν από αγόρια και οι περισσότερες συγκεχυμένες απαντήσεις δόθηκαν από κορίτσια.

Σε σχέση με το σχολείο το οποίο προέρχεται ο μαθητής δεν μπορεί να γίνει αναφορά ότι από κάποιο συγκεκριμένο σχολείο δόθηκαν περισσότερες σωστές ή συγκεχυμένες ή λάθος απαντήσεις γιατί για κάθε ερώτηση διαφορετικό σχολείο παρουσιάζει σημαντική διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα, άρα δεν υπάρχει κάποια γενική τάση. Για παράδειγμα στην ερώτηση για τα μέρη του εσωτερικού της γης περισσότερες συγκεχυμένες ή λάθος απαντήσεις δόθηκαν από μαθητές του σχολείου Κοκκινόχωριών, στην ερώτηση για την κατάσταση των μερών του εσωτερικού της γης δόθηκαν περισσότερες άστοχες απαντήσεις από μαθητές του σχολείου Παραλιμνίου, στην ερώτηση σχετικά με το πώς δημιουργείται η έκρηξη ενός ηφαιστείου δόθηκαν περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις από μαθητές του σχολείου Ξυλοφάγου, κ.λπ.

Όσον αφορά τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές και το επίπεδο εκπαίδευσης των γονέων τους καθώς επίσης και το επάγγελμα τους δεν παρουσιάζεται καμία στατιστικά σημαντική διαφορά.

Όσον αφορά τη συσχέτιση των απαντήσεων των μαθητών, βρέθηκε ότι οι περισσότεροι μαθητές που αναφέρθηκαν στην ερώτηση για τα μέρη του εσωτερικού της γης στο φλοιό, τον μανδύα και το πυρήνα προσπάθησαν να δώσουν μια απάντηση για την κατάσταση τους, η οποία όμως στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν μηεπιδεμένη, δηλαδή πολλοί μαθητές έχουν εναλλακτικές ιδέες για ότι αφορά στα συστατικά που αποτελούν το εσωτερικό της γης. Οι μαθητές που δεν έδωσαν απάντηση για τα μέρη του εσωτερικού της γης δεν έδωσαν ούτε απάντηση για την κατάσταση των μερών τους.

Στην περίπτωση των ερωτήσεων πότε ένα ηφαιστειο θεωρείται ενεργό και πότε σβησμένο οι περισσότεροι μαθητές που ανέφεραν ότι ένα ηφαιστειο θεωρείται ενεργό όταν μπορεί να εκραγεί ανέφεραν ότι ένα ηφαιστειο θεωρείται σβησμένο όταν δεν μπορεί να εκραγεί, δηλαδή απαντούν με ταυτολογία. Κάποιοι μαθητές ανέφερε ότι ένα ηφαιστειο θεωρείται ενεργό όταν έχει κόκκινο υγρό και σβησμένο όταν δεν έχει κόκκινο υγρό. Παρατηρούμε ότι οι απαντήσεις των μαθητών συσχετίζονται μεταξύ τους .

Μια βασική παρανόηση που παρουσιάζεται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι σχετικά με το εσωτερικό της γης. Ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των μαθητών πιστεύει ότι το εσωτερικό της γης αποτελείται από νερό, χρώμα και λάσπη. Επίσης, άλλη παρανόηση που υπάρχει για την κατάσταση των μερών του εσωτερικού της γης είναι ότι ο μόνο ο φλοιός είναι στερεός, ο μανδύας είναι ρευστός και κανένας δεν αναφέρει την κατάσταση του πυρήνα. Τέλος παρανόηση υπάρχει και στη σειρά που βρίσκονται τα μέρη για παράδειγμα κάποιοι μαθητές αναφέρουν ότι ο πυρήνας βρίσκεται πάνω από τον μανδύα.

Όσον αφορά τα ηφαιστεια παρουσιάζονται αρκετές παρανοήσεις. Θεωρούν ότι τα ηφαιστεια δημιουργούνται από το φαινόμενο των σεισμών. Επίσης θεωρούν ότι το ηφαιστειο είναι ένα βουνό (αυτό φάνηκε και από την επιλογή των φωτογραφιών) το οποίο σκάει. Ένα μεγάλο ποσοστό υποστηρίζει ότι ενεργό είναι το ηφαιστειο το οποίο κάνει έκρηξη και σβησμένο είναι το ηφαιστειο που δεν κάνει έκρηξη, επίσης, ένα μεγάλο ποσοστό θεωρεί ότι ένα ηφαιστειο το οποίο δεν έχει κάνει έκρηξη τα τελευταία χρόνια δεν μπορεί να ξαναενεργοποιηθεί.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι αρκετοί μαθητές δεν ξεχωρίζουν βασικές έννοιες όπως μάγμα και λάβα αλλά και κλίμα - ατμόσφαιρα - περιβάλλον. Στην ερώτηση που τους είχε τεθεί με ποιο τρόπο οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν το κλίμα δόθηκαν απαντήσεις όπως, καταστρέφουν τα δάση, μειώνεται η βλάστηση, κ.α.

## 5. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Από τα αποτελέσματα της έρευνας διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των

μαθητών που συμμετείχαν σε αυτήν, είχαν εναλλακτικές ιδέες για το εσωτερικό της γης και τα ηφαίστεια, παρόλο που τα είχαν διδαχθεί στο σχολείο τους και μάλιστα σχετικά πρόσφατα. Τα συμπεράσματα αυτά δεν είναι καθόλου αισιόδοξα, αντίθετα επιβεβαιώνουν την άποψη που έχει κατά καιρούς διατυπωθεί από ερευνητές ότι η διδασκαλία του μαθήματος της γεωγραφίας στα σχολεία της υποχρεωτικής εκπαίδευσης και η γεωγραφική μάθηση των μαθητών είναι σε πολύ χαμηλό επίπεδο (Κατσίκης, 2001, Λαμπρινός, 2002). Επίσης φαίνεται ότι οι σκοποί και οι στόχοι του μαθήματος, όπως αυτοί ορίζονται στο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών δεν πραγματοποιούνται, κατά κύριο λόγο εξαιτίας της στάσης που έχουν οι εκπαιδευτικοί απέναντι στο μάθημα αλλά και στις γνώσεις και το ενδιαφέρον τους για αυτό. (Κλωνάρη, 2004).

Από τα παραπάνω λοιπόν γίνεται φανερό ότι εάν θέλουμε να βελτιωθεί η κατάσταση όσο αφορά στο μάθημα της γεωγραφίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση, θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί που το διδάσκουν όχι μόνο να γνωρίζουν καλά το περιεχόμενο του μαθήματος, αλλά το ίδιο καλά να γνωρίζουν θέματα παιδαγωγικών και διδακτικής του αντικειμένου. Και αυτό γιατί μόνο έτσι θα μπορούν να χρησιμοποιούν τις κατάλληλες διδακτικές προσεγγίσεις για καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από τους μαθητές και φυσικά θα μπορούν να μην μεταφέρουν στους μαθητές τους και τις δικές τους παρανοήσεις.

## Βιβλιογραφία

- Κατσίκης Α., 2001: Γεωγραφία και Γεωγραφική Εκπαίδευση: Αιτιολογία της κρίσης: Πρόταση ανανεωτικής παρέμβασης. *Γεωγραφίες*, 2, 15-29.
- Κλωνάρη Αικ., Τσάμης Ε., 2002: Μελέτη των αντιλήψεων μαθητών, φοιτητών και δασκάλων για τις βασικές έννοιες της Αστρονομίας. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Αθήνα 18-21 Απριλίου 2002, 677-682.
- Κλωνάρη Αικ. 2004: Οι απόψεις των εκπαιδευτικών της Α/Βαθμιας και της Β/Βαθμιας εκπαίδευσης για το μάθημα της Γεωγραφίας. 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη 14-17 Οκτωβρίου 2004, Τόμος II, 602-608.
- Κόκκοτας Π., 2003: Διδακτική των Φυσικών επιστημών Μέρος II Αθήνα
- Κουλαϊδής Β., (Επιμέλεια) 1994: Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου Gutenberg, Αθήνα
- Λαμπρινός Ν., 2002: Πετυχαίνουν οι δάσκαλοι το αποτέλεσμα που επιδιώκουν στο μάθημα της Γεωγραφίας; Τι αποδεικνύεται μέσω των μαθητών τους. Πανελλήνιο Συνέδριο "Σχολική Γνώση και Διδασκαλία στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση", Τόμος Β, Ιωάννινα 2002, 118-129.
- Ault C. R. Jr., 1982: Time in geological explanation as perceived by elementary school students. *Journal of Geological Education*, 30, 304-309.
- Ault C. R. Jr., 1984: Everyday perspective and exceedingly unobvious meaning. *Journal of Geological Education*, 32, 89-91.
- Ault C. R. Jr., 1994: Research on problem solving, in: D. L. Gabel (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*, MacMillan Publishing Company, New York.
- Cleminson A., 1990: Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445.
- Dove J., 1997: Student ideas about weathering and erosion. *International Journal of Science Education*, 19(8), 971-980.
- Driver, R. & Bell, B., 1986: Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review*, 67 (March), 443-455.

Driver R., Guesne E. & Tiberghien A. (Eds), 1985: Children's ideas in science, Open University Press, Buckingham.

Duff D., 1993: Holmes' principles of physical geology. (4th edn) Chapman & Hall, London.

Happs J. C., 1985: Regression on learning outcomes: some examples from the Earth Sciences. *European Journal of Science Education*, 7(4), 431-443.

Haynes D., Symington D. & Martin M., 1994: Drawing during science activity in the primary school. *International Journal of Science Education*, 16(3), 265-277.

Henriques L., 2002: Children's Ideas About Weather: A Review of the Literature. *School Science and Mathematics*, 102(5), 202-215.

Hewson P. W. & Hewson M.G. A., 1984: The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.

Hume J. D., 1978: An understanding of geologic time. *Journal of Geological Education*, (26), 141-143.

Kuiper J., 1994: Student ideas of science concepts: alternative frameworks? *International Journal of Science Education*, 16(3), 279-292.

Leather D. A., 1987: Views of the nature and origin of earthquakes and oil held by eleven to seventeen year-olds. *Geology Teaching*, 12(3), 102-108.

Lillo J., 1994: An analysis of the annotated drawings of the internal structure of the Earth made by students aged 10-15 from primary and secondary schools in Spain. *Teaching Earth Sciences*, 19(3), 83-87.

Marques L. & Thompson D., 1997: Portuguese students' understanding at ages 10-11 and 14- 15 of the origin and nature of the Earth and the development of life. *Research in Science & Technological Education*, 15(1), 29-51.

Newton D. P., 2000: Teaching for understanding. Falmer, London.

Newton D. P. & Newton L. D., 1992 Young children's perception of science and the scientist. *International Journal of Science Education*, 14(3), 331-348.

Osborne R. & Freyberg P. (Eds), 1985: Learning in Science: the implications of children's science Heinemann. London.

Oversby J., 1996: Knowledge of earth science and the potential for its development. *School Science Review*, 78(283), 91-97.

Piaget J., 1929: The child's conception of the world. Paladin, London.

Pine K., Messer D. & St John K., 2001: Children's misconceptions in primary science: a survey of teachers' views. *Research in Science & Technological Education*, 19(1), 79-96.

Press F. & Siever R., 1986: Earth ( 4th edn), W.H.Freeman & Co., New York.

Ross K. E. K. & Shuell T. J., 1993: Children's beliefs about earthquakes. *Science Education*, 77(2), 195-205.

Russell T., Bell D., Longden K. & McGuigan L., 1993: Primary SPACE research report: rocks, soil and weather. Liverpool University Press, Liverpool.

Schnotz W., Vosniadou S. & Carretero M. (Eds), 1999: New perspectives on conceptual change. Pergamon, London.

Sharp J. G., Mackintosh M. A. P. & Seedhouse P., 1995: Some comments on children's ideas about Earth structure, volcanoes, earthquakes and plates. *Teaching Earth Sciences*, 20(1), 28–30.

Trend R., 1998: An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year old children. *International Journal of Science Education*, 20(8), 973–988.

Vosniadou S., 1994 Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45–69.

Vosniadou S., 1999: Conceptual change research: state of the art and future directions, in: W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds), 1999: *New perspectives on conceptual change*. Pergamon, London.

Vosniadou S. & Brewer W. F., 1992: Mental models of the Earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535–585.

**Ο ΧΑΡΤΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**Κουτσόπουλος Κ.<sup>1</sup>, Πηγάκη Μ.<sup>2</sup><sup>1</sup>Καθ. ΕΜΠ, <sup>2</sup>Δρ Χαρτογραφίας ΕΜΠ**Περίληψη**

Η γεωγραφική σκέψη είναι μία νοητική διαδικασία που υποστηρίζεται από μία ή πολλές «εικόνες» του χώρου (Could P., Bailly A., 1995) Επομένως δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι η διδασκαλία της γεωγραφίας συνεπικουρείται από τη χρήση διαφόρων «εικόνων» του γεωγραφικού χώρου. Ως αποτέλεσμα, προκειμένου να προσεγγίσουμε το χώρο και στη συνέχεια να τον αποδώσουμε χρειαζόμαστε εργαλεία καταγραφής, και απεικόνισης, όπως είναι ο χάρτης. Δηλαδή, η γεωγραφία και ακόμα περισσότερο η εκπαίδευση στη γεωγραφική σκέψη, απαιτεί εξοικείωση, στη χρήση και προσέγγιση του γεωγραφικού χώρου μέσω χαρτών, παρόμοια όπως η εκπαίδευση στη γλώσσα απαιτεί την εξοικείωση με τη χρήση της γραφής.

Το γεγονός αυτό οδηγεί στο ερώτημα, πώς μπορούν οι δάσκαλοι να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα της απεικόνισης του χώρου προκειμένου να ενισχυθεί η γεωγραφική σκέψη των σπουδαστών τους. Η απάντηση είναι απλή, αφού ο χάρτης, αν και απόλυτα μετρητικό εργαλείο του χώρου παράγει μέσω απλών διαδικασιών και πράξεων μία αφαιρετική «πραγματικότητα», η κατανόηση της οποίας βοηθά το σπουδαστή να αναλύσει την πολυπλοκότητα ή και να επινοήσει τρόπους που αποσαφηνίζουν το γεωγραφικό χώρο. Βέβαια, ο χάρτης απαραίτητο βοήθημα **ανάγνωσης** του χώρου, στα πλαίσια της γεωγραφικής εκπαίδευσης δεν αποτελεί καινοτομία, ωστόσο σαν εργαλείο **γνώσης** αποτελεί ένα καινούργιο αντικείμενο μελέτης κυρίως γιατί η κατανόηση του συντακτικού και της γραμματικής του οδηγεί σε συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος κατανοεί τον χώρο.

Οι ενότητες που ακολουθούν στοχεύουν στην παρουσίαση του χάρτη ως γνωστικού εργαλείου/μηχανισμού ενδυνάμωσης της διδασκαλίας της γεωγραφίας καθώς επίσης και στους τρόπους χρήσης του, με στόχο την όξυνση της χωρικής αντίληψης και του γεωγραφικού συλλογισμού των σπουδαστών. Πρόκειται, δηλαδή για τη περιγραφή του πλαισίου χρήσεως του χάρτη ως διδακτικού εργαλείου **προσέγγισης του γεωγραφικού χώρου**. Προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτός ο στόχος η επόμενη ενότητα αναλύει το δισπύστατο ρόλο του χάρτη σαν εργαλείο αντίληψης και κατανόησης του χώρου. Στη συνέχεια αναπτύσσεται η διδακτική μεθοδολογία σύνδεσης των βασικών συστατικών της γεωγραφίας με τις εκάστοτε χαρτογραφικές απεικονίσεις. Η παρουσίαση δηλαδή εστιάζει στην αξιολόγηση του παιδαγωγικού ρόλου διαφόρων μορφών χάρτη και κυρίως στην συμβολή τους στην ανάπτυξη της χωρικής σκέψης των σπουδαστών.

**1.Εισαγωγή**

Η γεωγραφική σκέψη είναι μία νοητική διαδικασία που υποστηρίζεται από μία ή πολλές «εικόνες» του χώρου (Could P.and Bailly A., 1995) Επομένως δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι η διδασκαλία της γεωγραφίας συνεπικουρείται από τη χρήση διαφόρων «εικόνων» του γεωγραφικού χώρου. Ως αποτέλεσμα, προκειμένου να προσεγγίσουμε το χώρο και στη συνέχεια να τον αποδώσουμε χρειαζόμαστε εργαλεία καταγραφής, και απεικόνισης, όπως είναι ο χάρτης. Δηλαδή, η γεωγραφία και ακόμα περισσότερο η εκπαίδευση στη γεωγραφική σκέψη, απαιτεί εξοικείωση, στη χρήση και προσέγγιση του γεωγραφικού χώρου μέσω χαρτών, παρόμοια όπως η εκπαίδευση στη γλώσσα απαιτεί την εξοικείωση με τη χρήση της γραφής.

Το γεγονός αυτό οδηγεί στο ερώτημα, πώς μπορούν οι δάσκαλοι να εκμεταλλευτούν

ταπλεονεκτήματα της απεικόνισης του χώρου προκειμένου να ενισχυθεί η γεωγραφική σκέψη των μαθητών τους. Η απάντηση είναι απλή, αφού ο χάρτης, αν και απόλυτα μετρητικό εργαλείο του χώρου παράγει μέσω απλών διαδικασιών και πράξεων μία αφαιρετική «πραγματικότητα», η κατανόηση της οποίας βοηθά το μαθητή να αναλύσει την πολυπλοκότητα ή και να επινοήσει τρόπους που αποσαφηνίζουν το γεωγραφικό χώρο. Βέβαια, ο χάρτης απαραίτητο βοήθημα ανάγνωσης του χώρου, στα πλαίσια της γεωγραφικής εκπαίδευσης δεν αποτελεί καινοτομία, ωστόσο σαν εργαλείο γνώσης αποτελεί ένα καινούργιο αντικείμενο μελέτης κυρίως γιατί η κατανόηση του συντακτικού και της γραμματικής του οδηγεί σε συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος κατανοεί τον χώρο.

Οι ενότητες που ακολουθούν στοχεύουν στην παρουσίαση του χάρτη ως γνωστικού εργαλείου/μηχανισμού ενδυνάμωσης της διδασκαλίας της γεωγραφίας καθώς επίσης και στους τρόπους χρήσης του, με στόχο την όξυνση της χωρικής αντίληψης και του γεωγραφικού συλλογισμού των μαθητών. Πρόκειται, δηλαδή για τη περιγραφή του πλαισίου χρήσεως του χάρτη ως διδακτικού εργαλείου προσέγγισης του γεωγραφικού χώρου. Προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτός ο στόχος η επόμενη ενότητα αναλύει το δισυπόστατο ρόλο του χάρτη σαν εργαλείο αντίληψης και κατανόησης του χώρου. Στη συνέχεια αναπτύσσεται η διδακτική μεθοδολογία σύνδεσης των βασικών συστατικών της γεωγραφίας με τις εκάστοτε χαρτογραφικές απεικονίσεις. Η παρουσίαση, δηλαδή, εστιάζεται στην αξιολόγηση του παιδαγωγικού ρόλου διαφόρων μορφών χάρτη και κυρίως στην συμβολή τους στην ανάπτυξη της χωρικής σκέψης των μαθητών.

## 2. Ο Διπτός ρόλος του χάρτη

Η φύση του χάρτη αλλά και κάθε απεικόνισης της γήινης επιφάνειας λόγω της απουσίας χρώματος και αναλογιών, εγκαθιστά ανάμεσα στην απεικόνιση και στην πραγματικότητα σχέσεις σημαίνοντος – σημαιόμενου. Αυτό οδηγεί σε μία μερική ανάκληση της πραγματικότητας όπου ανάλογα με την κλίμακα προστίθενται ή αφαιρούνται πληροφορίες (Benoist L., 1989). Επομένως, η απεικόνιση αναφέρεται σε μία σημαίνουσα μεταφορά (προσομοίωση) της πραγματικότητας και όχι στον χώρο αυτόν καθ'εαυτόν. Μέσα σ'αυτό το πλαίσιο και με δεδομένο ότι στη σύγχρονη εκπαιδευτική διαδικασία είναι καθολικά αποδεκτό ότι η ύπαρξη ποικίλων απεικονίσεων (χάρτες) ενδυναμώνουν τη διδασκαλία της Γεωγραφίας πρέπει να γίνει κατανοητό και να αποκωδικοποιηθεί το ενδιάμεσο αυτό εργαλείο, δηλαδή ο χάρτης, για να εξεταστεί η συμβολή του στην διδασκαλία της γεωγραφίας.

### 2.1 Αντίληψη του γεωγραφικού χώρου

Ο γεωγραφικός χώρος είναι ένας χώρος «αφηρημένος» στην περιγραφή του και αδιόρατος στις σχέσεις του που σε αντίθεση καταγράφεται σε ένα χώρο, συγκεκριμένο και ορατό. Ο χαρτογραφικός αυτός χώρος, όμως, είναι ένας κατασκευασμένος χώρος που χρησιμοποιεί «οπτικά εργαλεία» για να επικοινωνήσει και να μεταδώσει πληροφορίες (Bertin, J., 1967). Η διπλή αυτή υπόσταση του χώρου προκρίνει τη χαρτογραφία, ως εργαλείο απεικόνισης του γεωγραφικού χώρου, γιατί μέσα από τους κανόνες και το συντακτικό της μπορεί να αντιστοιχίσει τις σχέσεις «απόστασης» «εγγύτητας» και «κατανομής» που χαρακτηρίζουν την γεωγραφική πραγματικότητα. Επομένως, ο όρος «χώρος» που χρησιμοποιείται για να ορίσει το γνωστικό αντικείμενο της γεωγραφίας οριοθετείται από την αλληλεπίδραση δύο διαφορετικών γνωστικών διαδικασιών:

- Την εξοικείωση με το χώρο μέσω ενός ορθολογικού εργαλείου όπως ο χάρτης, που μπορεί να θεωρηθεί η γραφή
- Την δημιουργία του χάρτη ώστε να επιτευχθεί η γεωγραφική σύλληψη του χώρου, που αντιστοιχώς μπορεί να θεωρηθεί η γλώσσα.

Σαν αποτέλεσμα, ο χάρτης, λόγω της διπλής φύσης του απαιτεί δύο διαφορετικές αλλά ταυτόχρονες προσεγγίσεις:



- Ο χάρτης, ως «βιωματικό» χωρικό δημιούργημα, (χώρος ως υποκείμενο)
- Ο χάρτης, ως «αντικείμενο γνώσης» για την ορθολογική κατανόηση και εκλογίκευση του γεωγραφικού χώρου (χώρος ως αντικείμενο) Επομένως, από την μία μεριά υπάρχει ο «βιωματικός χώρος», διάσταση που δημιουργείται από την εμπειρία και την κίνηση του ανθρώπου, χώρος στον οποίο ο άνθρωπος δεσπόζει, κυριαρχεί και ορίζει σχέσεις γειτονίας, εγγύτητας και απόστασης Από την άλλη μεριά υπάρχει ο τοπολογικός χώρος, που είναι η σχηματική νοητική κατασκευή των σχέσεων αυτών μέσω της γεωμετρίας και των μαθηματικών. Ο όρος γεωγραφικός χώρος επομένως, περιγράφει ταυτόχρονα τον πραγματικό και τον νοητικό χώρο. Ο χάρτης σαν εργαλείο απόδοσης του χώρου περιέχει και τις δύο αυτές συμπληρωματικές νοητικές/γνωστικές διαδικασίες που αφορούν αφενός τη καταγραφή του χώρου, δηλαδή τη χωρομετρία και αφετέρου το περιεχόμενο του, δηλαδή την οπτικοποίηση της σύγκρισης των σχέσεων που διαμορφώνονται μεταξύ τους.

## 2.2 Κατανόηση του γεωγραφικού χώρου

Την Γεωγραφία ενδιαφέρουν οι ερωτήσεις που, τι, πως και γιατί, όπου ο χώρος δεν προσεγγίζεται μόνο με κάθετη ανάγνωση (σε αυτό το μέρος τι υπάρχει), αλλά επίσης με οριζόντια (που βρίσκεται αυτό το χαρακτηριστικό σε σχέση ή αντίθεση, σε σύγκλιση, διάχυση ή απόσταση με άλλα, που υπάρχουν σε άλλους τόπους). Με άλλα λόγια, η εκπαίδευση της γεωγραφίας πρέπει να εστιάζεται στις διαδικασίες κατανόησης του χώρου, και επομένως απαιτείται ενεργή συμμετοχή των μαθητών σε αυτές. Την δυνατότητα αυτή προσφέρει η χαρτογραφία με τις διαφορετικές απεικονίσεις οι οποίες συνεπάγονται και διαφορετικές αναγνώσεις του χώρου.

Επομένως, για να γίνει αντιληπτός ο γεωγραφικός χώρος πρέπει να ενεργοποιηθούν μια σειρά από διαδικασίες- στάδια που αποτελούν το γνωστικό εργαλείο για την μετάδοση της γεωγραφικής σκέψης. Με άλλα λόγια, υπάρχει ανάγκη για μια σειρά από στάδια όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 1, που έχουν τελικό σκοπό να εξοικειώσουν το μαθητή με τα τρία συστατικά της γεωγραφίας, και συγκεκριμένα τις δεξιότητες, το περιεχόμενο και τις προοπτικές, τα οποία και καθορίζουν τη γεωγραφική σκέψη.(GESP, 1994)

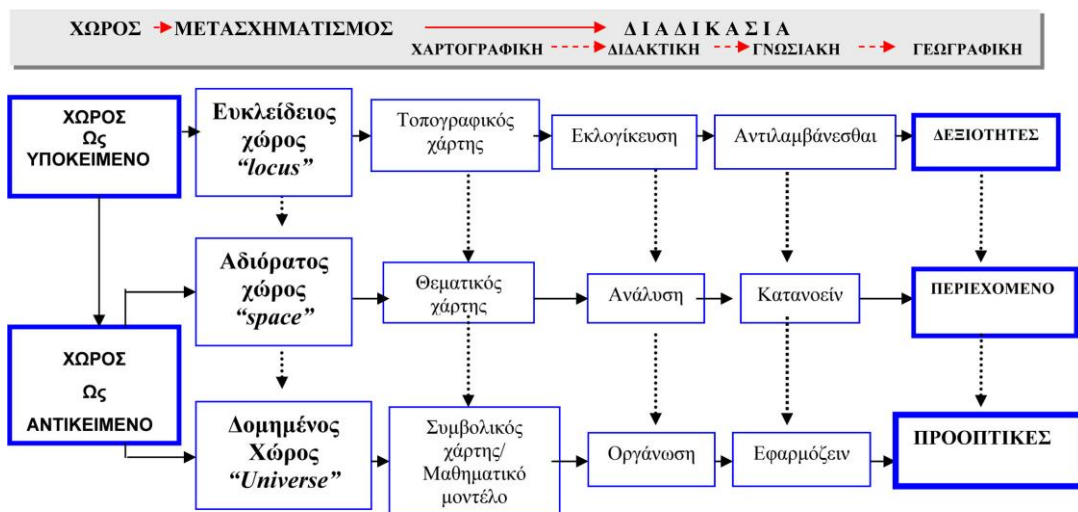
Πιο συγκεκριμένα, η διπλή φύση του χάρτη, οδηγεί σε δύο διαφορετικές αλλά ταυτόχρονες διαδικασίες που αναφέρονται στο χώρο ως υποκείμενο και στον χώρο ως αντικείμενο (Pigaki M.,2000). Στην πρώτη περίπτωση ο χάρτης, λειτουργεί ως η τομή ανάμεσα στον βιωματικό και στον πραγματικό χώρο και αναφέρεται στην μετατροπή του βιωματικού χώρου σε Ευκλείδειο χώρο. Ο χώρος αυτός, με τη βοήθεια του τοπογραφικού χάρτη, σαν διδακτικό χωρικό εργαλείο, μέσω της ορθολογιστικής σκέψης, της εκλογίκευσης του χώρου, προωθεί την αντιληπτική ικανότητα του μαθητή στην ανάγνωση του. Η διαδικασία αυτή της χαρτογραφικής απεικόνισης αναπτύσσει δια της επαγωγής τις δεξιότητες που απαιτεί η γεωγραφική σκέψη. (Σχ.1, πρώτη σειρά)

Η περίπτωση του χώρου ως αντικείμενου, όπου ο χώρος λειτουργεί ως αντικείμενο γνώσης αναφέρεται σε δύο χαρτογραφικές απεικονίσεις που δημιουργούν το υπόβαθρο για τη γεωγραφική σκέψη. Από αυτές, η πρώτη αναφέρεται στην μετάβαση από τον βιωματικό και ευκλείδειο χώρο στο «διορατικό χώρο». Στο χώρο αυτό, ο θεματικός χάρτης, ως διδακτικό χωρικό εργαλείο, ενεργοποιεί τη γνωστική ανάπτυξη της ανάλυσης των χαρακτηριστικών του χώρου και των σχέσεων που έχουν μεταξύ τους και προωθεί την ικανότητα κατανόησης του χώρου από το μαθητή. Το στάδιο αυτό της χαρτογραφικής απεικόνισης αναπτύσσει δια της επαλληλίας το περιεχόμενο που απαρτίζει τη βάση για τη γεωγραφική σκέψη. (Σχ.1, δεύτερη σειρά).

Η δεύτερη προσέγγιση αναφέρεται στην μετάβαση από τον βιωματικό και «διορατικό χώρο» στον «δομημένο» χώρο, όπου ο συμβολικός χάρτης ή τα μαθηματικά μοντέλα σαν διδακτικά χωρικά εργαλεία, ενεργοποιούν τη γνωστική ανάπτυξη της οργάνωσης και προθούν την εφαρμογή στο χώρο. Η διαδικασία αυτή της χαρτογραφικής απεικόνισης

αναπτύσσει συνθετικά τις προοπτικές που αποτελούν την συλλογική/η γεωγραφική οπτική. (Σχ.1, τρίτη σειρά)

Οι διαδικασίες αυτές, που διαρθρώνουν το διδακτικό πλαίσιο για τη γεωγραφική εκπαίδευση μέσω του χάρτη, παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.



Σχ. 1: Διδακτικό πλαίσιο για τη γεωγραφική εκπαίδευση μέσω χάρτων

### 3. Χώρος ως υποκείμενο

Ο χάρτης σαν μία σχηματική απεικόνιση της πραγματικότητας, είναι η σύνδεση δύο «χώρων». Δηλαδή, ο χώρος βιώνεται και κατά συνέπεια υπάρχει για τον άνθρωπο εμπειρικά δια μέσου των αισθήσεων. Από την άλλη πλευρά, η κατανόηση του χώρου απαιτεί μία δραστική απομάκρυνση από τις αισθήσεις για να καταστεί αντικείμενο νοητικής παρατήρησης. Για να μπορέσει, επομένως ο χάρτης να γίνει εργαλείο απόδοσης του χώρου πρέπει πρώτα να γίνει η μετάβαση από το υποκειμενικό χώρο στο χώρο-δημιούργημα. Δηλαδή ο μαθητής θα πρέπει να μετατρέψει την αισθητηριακή οπτική του σε νοητική πραγματικότητα. Με άλλα λόγια θα πρέπει να μάθει να βλέπει τις «εικόνες» από ψηλά μετατρέποντας τις όψεις σε κατόψεις και τις συγκεκριμένες μορφές σε σχήματα γεωμετρικά.

#### 3.1 Βιωματικός μετασχηματισμός: Ευκλείδειος χώρος

Η μετάβαση του ατόμου από τον υποκειμενικό χώρο στον «πραγματικό» ή ευκλείδειο χώρο επιτυγχάνεται δια μέσου διδακτικών διαδικασιών που αφορούν την γεωμετρική έκφραση του χώρου. Ο χώρος στη σύνταξή του είναι απλός, αναγνώσιμος και αποτελείται από ορατές οντότητες οι οποίες μπορούν να καταγραφούν. Η γνώση του σημειολογικού συστήματος σύνταξης του και της κλίμακας, δηλαδή της γραφής του χώρου και της αντιστοιχίας του με την πραγματικότητα, έχουν σκοπό τη αλλαγή της οπτικής αλλά και το μετασχηματισμό των μορφών του, με αποτέλεσμα να βοηθούν στο να «βλέπει» ο διδασκόμενος το χώρο. Ως αποτέλεσμα, οι ερωτήσεις διδακτικής αφορούν την μετάφρασή του σε γεωμετρικά σχήματα δηλαδή σε σημεία, γραμμές και πολύγωνα τα οποία αποτελούν σημεία στίξης και αντίστιξης με τη πραγματικότητα, συμβάλλοντας στη ολική αποδέσμευση του μαθητή από το βιωματικό χώρο. Όσον αφορά, την έννοια της κλίμακας αυτή είναι μία

απλή μαθηματική σχέση αναλογίας του πραγματικού χώρου με το σχέδιο. Επομένως, στο μεν στάδιο της σύνταξης του χάρτη, η κλίμακα είναι προϋπόθεση της ακρίβειας, της αναγνωσιμότητας και της επάρκειας του χάρτη. Στο δε επίπεδο έρευνας η κλίμακα εμπεριέχει την έννοια της «απόστασης» δηλαδή καθορίζει το επίπεδο ανάλυσης του χώρου και υποδηλώνει την έννοια της σχέσης.

Συμπερασματικά, ο ευκλείδειος χώρος παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την διαδικασία του συγκεκριμένου βιωματικού μετασχηματισμού, που αποτελεί τη βάση για την διδασκαλία της Γεωγραφίας με τη βοήθεια της χαρτογραφικής απεικόνισης.

### 3.2 Χαρτογραφική διαδικασία: Τοπογραφικός χάρτης

Η καταγραφή ενός γνώριμου προς τον μαθητή χώρου με όρους απόλυτης θέσης που παρέχει η σύνταξη του τοπογραφικού χάρτη, διευκολύνει την αναγνώριση του και τον απλοποιεί δίνοντας του σχήμα και μορφή. Μέσα, όμως από τα σχήματα και τις μορφές ο χώρος αποκαλύπτεται σταδιακά και αποδίδει συνεχώς πιο σύνθετες πληροφορίες, που οδηγούν στη κατανόηση της *σχετικής θέσης* στο χώρο.

Επιπλέον, η κλίμακα στην απόλυτη έννοια (που είναι τι- κάθετη ανάγνωση), είναι το πρώτο βήμα παρατήρησης και ανάγνωσης του χώρου και οδηγεί σε δεύτερο στάδιο σε μία κλίμακα σχέσεων 1:ν (που είναι τι και πως- οριζόντια ανάγνωση), δηλαδή εισάγει τον μαθητή την έννοια της σχέσης. Επομένως η μύηση σε δεξιότητες όπως είναι η εναλλαγή από την *μερική θεώρηση του χώρου σε μία ολική θεώρηση*, αποκαλύπτει στοιχεία του χώρου που αποτελούν την αρχή της γεωγραφικής σκέψης.

### 3.3 Διδακτική διαδικασία: Εκλογίκευση

Η διαδικασία της εκλογίκευσης με χωρικούς όρους εκφράζεται από δύο ερωτήσεις: «Πού βρίσκεται;» και «Τι είναι;» Δηλαδή μέσω της γεωγραφίας οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση να συμμετέχουν σε διαδικασίες αναγνώρισης παρατήρησης, διαχείρισης και επεξεργασίας, των γεωγραφικών οντοτήτων. Με άλλα λόγια, οι μαθητές της Γεωγραφίας πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν θέσεις, να ταυτοποιούν σε κάθετη ανάγνωση τις μορφές στο χώρο (Που είναι Τι) αλλά και να καταγράφουν σε σχήματα τα γεωγραφικά αυτά χαρακτηριστικά. Οι παραπάνω διαδικασίες μαζί με την έννοια της κλίμακας, αποτελούν τη βάση της εκλογίκευσης του χώρου. Συνεπώς, η αντιμετώπιση και γνώση του χώρου από τους μαθητές απαιτεί την σύγκλιση και την ενεργοποίηση ταυτόχρονων γνωσιακών διαδικασιών που παρέχει η χρήση του τοπογραφικού χάρτη σαν εργαλείο εκλογίκευσης του χώρου.

### 3.4 Γνωστική διαδικασία : Αντιλαμβάνεσθαι

Η εξοικείωση με την αντίληψη του χώρου από το μαθητή, μέσω νοητικών «αφαιρέσεων», αποτελεί την εισαγωγή για την κατανόηση του. Επομένως, με την μαθηματική καταγραφή του χώρου δηλαδή των αναλογιών και της γεωμετρίας, ο μαθητής «βλέπει» και αντιλαμβάνεται την κατανομή του χώρου, διαμορφώνοντας ταυτόχρονα και τις προϋποθέσεις για τη αναγνώριση πιο σύνθετων εννοιών της γεωγραφικής σκέψης. Ο μαθητής μέσω της ευκλείδειας καταγραφής του χώρου παρατηρεί και αναγνωρίζει την δυναμική και την πολυπλοκότητά του, διότι μέσω της αίσθησης της όρασης αντιλαμβάνεται ότι υπάρχουν πολυάριθμοι παράμετροι πίσω από τα φαινόμενα, δηλαδή πολυάριθμες αποφάσεις και διαδικασίες που συνεπάγονται διαφορετικά επίπεδα ενεργειών τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν στην οριοθέτηση της γεωγραφικής σκέψης

### 3.5 Γεωγραφική διαδικασία: Δεξιότητες

Οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω (διδακτική και γνωσιακή) εντός του ευκλείδειου χώρου και με την βοήθεια του τοπογραφικού χάρτη επιτρέπουν στους μαθητές της γεωγραφίας να προάγουν τη χωρική γνώση. Κι αυτό γιατί οι διδασκόμενοι είναι σε θέση να υποβάλουν τις βασικές γεωγραφικές ερωτήσεις, να αποκτήσουν την δεξιότητα της

συλλογής των χωρικών πληροφοριών, να τις οργανώσουν και να τις καταγράψουν που αντιπροσωπεύουν τις Γεωγραφικές δεξιότητες (GESP, 1994).

Πιο συγκεκριμένα οι χάρτες βοηθούν: Κατ' αρχάς, στο ερώτημα του γεωγραφικού προβληματισμού γιατί δηλαδή τα πράγματα είναι εκεί που είναι. Δεύτερον, στην απόκτηση των πληροφοριών με τον εντοπισμό, την παρατήρηση και τη συστηματική καταγραφή των θέσεων, των ανθρώπων και του περιβάλλοντος. Τρίτον, την καταγραφή γεωγραφικών πληροφοριών που αφορούν τις θέσεις και τις δραστηριότητες που υπάρχουν σε αυτές τις θέσεις καθώς και τα φυσικά και ανθρώπινα χαρακτηριστικά. Τέταρον, στην οργάνωση των πληροφοριών, κατά τρόπο ώστε να βοηθούν στην επαρκή ανάγνωση του χώρου. Εν κατακλείδι, η χρήση του τοπογραφικού χάρτη οδηγεί στην διδασκαλία των γεωγραφικών δεξιοτήτων.

#### 4. Χώρος ως αντικείμενο: «Διορατικός χώρος»

Η περίπτωση του χώρου ως αντικείμενο, δηλαδή η διαδικασία μετατροπής του χώρου-αντικείμενο σε χώρο-εργαλείο γεωγραφικής σκέψης, αναφέρεται σε δύο χαρτογραφικές απεικονίσεις που οδηγούν στη σταδιακή γνωσιακή ανάπτυξη του μαθητή μέσω δύο

«χώρων»: του «διορατικού χώρου» και του «δομημένου χώρου». Οι δύο αυτές προσεγγίσεις αναφέρονται σε διαφορετικές διαδικασίες, οι οποίες εξετάζοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά του χώρου, τις σχέσεις μεταξύ τους και την οργάνωση τους οδηγούν σε διαφορετικές διαστάσεις της γεωγραφικής σκέψης.

##### 4.1 Βιωματικός μετασχηματισμός: «Διορατικός» χώρος

Οι οπτικές μεταβλητές σαν εργαλείο έρευνας και σκέψης βοηθούν στην κατανόηση της έννοιας της ομοιότητας, της διαφορετικότητας, της ιεράρχησης και της ποσότητας αποκαλύπτοντας σταδιακά τον «αδιόρατο» χώρο της γεωμετρίας δηλαδή της οργάνωσής του. Ως αποτέλεσμα η μύηση στην γραφική σημειολογία, στους κανόνες και το συντακτικό της ενεργοποιούν γνωστικές διαδικασίες που αντιστοιχούν στο τρίπτυχο: παρατηρώ-κατανοώ-αναλύω, και το οποίο με τη σειρά του βοηθά στην κατανόηση από το μαθητή σημαντικών πτυχών της γεωγραφικής σκέψης.

##### 4.2 Χαρτογραφική διαδικασία: Θεματικός χάρτης

Ο θεματικός χάρτης χρησιμοποιώντας την οπτική διάλεκτο μεταφράζει σε σχήματα και χρώματα τις μορφές του χώρου και αποδίδει τα φαινόμενα με έννοιες της γεωγραφικής σκέψης. Πιο συγκεκριμένα, ο θεματικός χάρτης στο στάδιο της σύνταξης προϋποθέτει την ανάλυση του χώρου μέσω αναλογιών και της γεωμετρικής καταγραφής του. Στο στάδιο της επεξεργασίας του εμπεριέχει έννοιες μη ορατές με την πρώτη ματιά, που αφορούν τον συσχετισμό των στοιχείων αλλά και την σχέση που διαμορφώνουν τον ίδιο ή άλλους χώρους. Επομένως, η σύνθεση ενός χάρτη και συγκεκριμένα ενός θεματικού είναι απαραίτητο εργαλείο που εισαγάγει τον μαθητή σε δεξιότητες επεξεργασίας και γενίκευσης των στοιχείων, δηλαδή στις έννοιες συνόλου - υποσυνόλου που αποδίδουν το τη δομή του χώρου. Μέσω, επομένως αυτού του βιωματικού μετασχηματισμού, ο μαθητής κατανοεί τις εσωτερικές σχέσεις των στοιχείων, ανακαλύπτει φαινόμενα στο χώρο και γίνεται παρατηρητής της εξέλιξης τους.

##### 4.3 Διδακτική διαδικασία: Ανάλυση

Η διαδικασία της ανάλυσης εκφράζεται από τουλάχιστον τρεις ερωτήσεις: «Τι υπάρχει», «που αλλού υπάρχει», «ποια είναι η σχέση μεταξύ τους;» δηλαδή με τη βοήθεια της Γεωγραφίας οι μαθητές μπορούν να αποδώσουν αυτό που παρατηρούν και κυρίως να το εξηγήσουν. Δηλαδή διδάσκονται τις έννοιες που διαμορφώνουν το χώρο και τις αρχές που τον διέπουν. Αλλά αυτές οι δυνατότητες παρέχονται μέσα από τη δημιουργία ενός θεματικού χάρτη, αφού με τη βοήθειά του μπορούν να κατανοήσουν σχέσεις και να δουν συνδέσεις

μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων.

#### 4.4 Γνωστική διαδικασία: Κατανοείν

Τα συστημικά εργαλεία που διατίθενται στο μαθητή μέσω του θεματικού χάρτη, τον βοηθούν στην κατανόηση της έννοιας της συσχέτισης. Ο μαθητής, δηλαδή, κατανοεί ότι ο χώρος αρθρώνεται γύρω από τις έννοιες συνόλου -υποσυνόλου και οργανώνεται σε συστήματα και υποσυστήματα. Σαν αποτέλεσμα, το τρίπτυχο: παρατηρώ-κατανοώ-αναλύω μετατρέπεται σε αναλύω-κατανοώ -συνθέτω και γίνεται ορατή στο μαθητή η σχέση μεταξύ των στοιχείων που τον αποτελούν και η διάδρασή τους με το χώρο. Επομένως, η χρήση του θεματικού χάρτη βοηθά τον μαθητή να συμμετέχει στις γνωσιακές διαδικασίες της ανάλυσης ώστε να χρησιμοποιήσει εκείνες τις πληροφορίες που μπορούν να εξηγήσουν φαινόμενα και διαδικασίες στο χώρο. Με άλλα λόγια, τους παρέχει τα εργαλεία για να διδαχθούν το περιεχόμενο της γεωγραφίας.

#### 4.5 Γεωγραφική διαδικασία: Περιεχόμενο

Το περιεχόμενο της γεωγραφίας αφορά, σύμφωνα με το πρόγραμμα προτύπων εκπαίδευσης της γεωγραφίας των ΗΠΑ (GESP,1994), τα εξής βασικά στοιχεία: **Ο κόσμος με χωρικούς όρους, Οι θέσεις και οι περιοχές, Τα φυσικά συστήματα, Τα ανθρώπινα συστήματα, Το περιβάλλον και η κοινωνία, και Οι χρήσεις της γεωγραφίας**, που όλα τους μπορούν να διδαχθούν με τη βοήθεια του θεματικού χάρτη. Πιο συγκεκριμένα, το ζητούμενο της γεωγραφίας είναι ο καθορισμός των σχέσεων μεταξύ των ανθρώπων, των θέσεων και του περιβάλλοντος που απαιτεί την «αντίληψη» και την κατανόηση του χώρου. Μια τέτοια κατανόηση, όμως, είναι δυνατή μέσα από τη χρήση των χαρτών, δεδομένου ότι χριάζονται οι χάρτες στη συλλογή, στην οργάνωση και στην απεικόνιση των χωρικών πληροφοριών. Με άλλα λόγια, στην εφαρμογή της γεωγραφίας για να κατανοηθούν οι σχέσεις μεταξύ των ανθρώπων, των θέσεων και του περιβάλλοντος.

### **5. Χώρος ως αντικείμενο: «Δομημένος χώρος»**

Η δεύτερη περίπτωση του χώρου ως αντικείμενο, αναφέρεται στην χαρτογραφική απεικόνιση του «δομημένου»χώρου που η εξέτασή του ακολουθεί.

#### 5.1 Βιωματικός μετασχηματισμός: «Δομημένος» χώρος

Η μετάβαση από τον χώρο-αντικείμενο στο «δομημένο» χώρο αναφέρεται σε έναν βιωματικό μετασχηματισμό όπου ο χάρτης μπορεί να αποτελέσει ένα πρότυπο χωρικό μοντέλο και να γίνει ο ίδιος εργαλείο σκέψης και ανάλυσης. Δίνει τη δυνατότητα στο μαθητή, να περιγράψει χαρακτηριστικά, σχέσεις επαλληλίας και ακόμα να αναδομήσει το χώρο με στόχο την επανασχεδίαση του. Η απεικόνιση αυτή, μως, προϋποθέτει την καταγραφή των χωρικών στοιχείων στην απόλυτη θέση τους στο χώρο και την αποσαφήνιση των σχέσεων ανάμεσα τους. Επομένως, εμπεριέχει απλές μαθηματικές πράξεις όπως: πρόσθεση, αφαίρεση και έννοιες όπως: συνόλου, υποσυνόλου, τομής και ένωσης. Σαν αποτέλεσμα, ο ορισμός του χώρου σε σημεία, γραμμές και πολύγωνα δεν είναι απλή καταγραφή θέσης ή χαρακτηριστικών, αλλά προάγει ένα νοητικό μοντέλο του χώρου που περιγράφει έννοιες σύγκλισης απόκλισης, εκφράζοντας τη δυναμική του και προωθώντας τη γεωγραφική σκέψη, απολύτως αναγκαία στην διδασκαλία της Γεωγραφίας.

#### 5.2 Χαρτογραφική διαδικασία: Συμβολικός χάρτης- μαθηματικό μοντέλο

Οι συμβολικοί χάρτες και τα μαθηματικά μοντέλα καθιστούν τον ίδιο το χώρο εργαλείο σκέψης και έρευνας, επεξεργάσιμο σε κάθε ανάλυση και ερώτηση που συνεισφέρει η γεωγραφική σκέψη και τον μετατρέπει σε ένα νοητικό μοντέλο. Στόχος της χαρτογραφικής αυτής διαδικασίας, επομένως, είναι να προάγει τη γνώση αυτή καθ'εαυτή. Στην περίπτωση αυτήν, δηλαδή, δεν ενδιαφέρει η εισαγωγή νέων χαρτογραφικών γνώσεων, αλλά η κατανόηση των γνώσεων και η εφαρμογή τους. Σαν αποτέλεσμα, επειδή ο χάρτης που

προκύπτει απεικονίζει την εσωτερική δομή του χώρου, οι μαθητές κατανοούν την εφαρμογή των συστημάτων που επιβάλλουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες και το φυσικό περιβάλλον. Αναμφίβολα, η χρήση του συμβολικού χάρτη στην εκπαίδευση δεν είναι η κλασσική αντιμετώπιση: εντοπίζω,

αναλύω και κατασκευάζω, αλλά βασίζεται στις καθαρά νοητικές διαδικασίες: αναλύω-επινοώ-εφαρμόζω. Η διαδικασία αυτή βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν ένα οργανωμένο και κριτικό πνεύμα, να προωθήσουν την επίλυση προβλημάτων του χώρου και να εξηγήσουν τα συστήματα που διέπουν το χώρο, βασικά στοιχεία της γεωγραφικής σκέψης.

### 5.3 Διδακτική διαδικασία: Σχεδιασμός

Η διαδικασία του σχεδιασμού στο χώρο εκφράζεται από τη ερώτηση: Πώς μπορεί η γνώση και η κατανόηση να χρησιμοποιηθεί για να λύσει χωρικά προβλήματα; Να απαντήσει, δηλαδή, στα θεμελιώδη ερωτήματα: που, τι, πως, και γιατί, δίνοντας τη δυνατότητα πειραματισμού «μέσα στο χώρο και πάνω στο χώρο». Η διδακτική αυτή διαδικασία στοχεύει στην οργάνωση των δεδομένων και στην ένταξη και εφαρμογή τους στον ευρύτερο χώρο. Η διαδικασία αυτή, επομένως, περιλαμβάνει τη διαμόρφωση προτύπων επίλυσης, τη διατύπωση λύσεων και την εφαρμογή τους στις πραγματικές συνθήκες που επηρεάζουν τον κόσμο γύρω από μας και αποτελούν τη βάση του σχεδιασμού του χώρου. Κατά συνέπεια, η μετάβαση των μαθητών της Γεωγραφίας στο χώρο απαιτεί την κατανόηση του περιεχομένου του χώρου, ώστε να εφαρμόσουν λύσεις στα καθημερινά προβλήματα, που παρέχει η σωστή χρήση του συμβολικού χάρτη, εργαλείου σχεδιασμού του χώρου.

### 5.4 Γνωστική διαδικασία : Εφαρμόζειν

Κάθε χάρτης θεωρείται ένα χωρικό μοντέλο και βασίζεται σε υποθέσεις δηλαδή σε συσχετίσεις μεταξύ δομής και διαδικασιών, σχημάτων και λειτουργιών. Οι χάρτες και τα μοντέλα του υπό μελέτη χωρικού φαινομένου, επομένως, αποτελούν εργαλείο εισαγωγής στην γεωγραφική γνώση και δεν αποτελούν αυτοσκοπό. Χρησιμοποιούνται δηλαδή, για να σχηματίσουν υποθέσεις, να επιβεβαιώσουν και να μεταφέρουν τη δυναμική του χώρου, επιτρέποντας στους μαθητές να επινοούν γραφικά τεχνάσματα για να εφαρμόζουν προοπτικές στη σχέση ανθρώπου και φυσικού περιβάλλοντος, και να αναπτύσσουν νοητικές δεξιότητες, δηλαδή την μετάβαση από τον απόλυτο στο σχετικό και δομημένο χώρο. Ο χώρος γίνεται μία σκηνή που διέπεται από δραστηριότητες που προσδιορίζουν σχέσεις. Επομένως ο συμβολικός χάρτης διαμορφώνει και ενισχύει τη γεωγραφική σκέψη.

### 5.5 Γεωγραφική διαδικασία: Προσέγγιση.

Η γεωγραφική προσέγγιση είναι η συλλογική άποψη των Γεωγράφων που ερμηνεύει την έννοια του χώρου, των διαδικασιών και των σχέσεων του και περιλαμβάνουν τους ανθρώπους, τις θέσεις και το περιβάλλον. Δηλαδή, μια γεωγραφική προσέγγιση (που σύμφωνα με GESP είναι κυρίως χωρική και οικολογική) είναι απλά ένας φακός μέσω του οποίου οι γεωγράφοι εξετάζουν τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τους τρόπους και τις διαδικασίες μέσω των οποίων η γνώση και η κατανόηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λύσουν τα γεωγραφικά προβλήματα. Επομένως, η απεικόνιση της ανθρώπινης εμπειρίας στη γη, που φέρνει τους ανθρώπους, τις θέσεις και το περιβάλλον κάτω από το φακό της χαρτογραφίας, παρέχει τα μέσα εφαρμογής της γεωγραφικής προσέγγισης.

## **Αντί Επιλόγου**

Οι διαδικασίες που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες, δηλαδή το γνωστικό εργαλείο μετάδοσης της γεωγραφικής σκέψης μέσω των χαρτών, που οδηγεί αποτελεσματικά στην διδασκαλία των βασικών συστατικών της Γεωγραφίας, προσφέρει μία σειρά από παιδαγωγικά πλεονεκτήματα κατανεμημένα στα εξής τρία επίπεδα:

Σε γνωστικό επίπεδο: Η κατασκευή του χάρτη και η χρήση του είναι ένας τεκμηριωμένος,

αξιόπιστος, λειτουργικός και αποδοτικός οδηγός για την διδασκαλία και τη μάθηση της γεωγραφίας. Και αυτό γιατί:

- Οι βασικές γνώσεις κατασκευής και ανάγνωσης του χάρτη, βοηθούν στη κατανόηση του χώρου μελέτης.
- Ο χάρτης σαν διαθεματικό εργαλείο, μπορεί να εισάγει έννοιες όπως της αναλογίας, γειτονίας, εγγύτητας, κατανομής κλπ.
- Η κατασκευή του χάρτη ως στρατηγική μάθησης, συμβάλλει στην αναγνώριση και την ερμηνεία των φυσικών και ανθρωπογενών δομών της γης και προωθεί τη διαπαιδαγώγηση της γεω-πραξίας και των προσδοκιών.
- Η κατανόηση των βασικών κανόνων του χάρτη, βάζει τα θεμέλια για την ανάπτυξη της σπειροειδούς μάθησης.

Σε **γεωγραφικό επίπεδο**: Η κατασκευή του χάρτη δίνει στη Γεωγραφία την αναγκαία νοητική ώθηση για την ανάπτυξη των καταστατικών εννοιών της. Κι αυτό γιατί βοηθά στη μετάβαση από:

- Το απόλυτο στο σχετικό
- Το ορατό στο αδιόρατο
- Την οργανωτική κατανόηση του στην δομική εφαρμογή του.
- Την χρήση του χάρτη ως εργαλείο για την κατανόηση του χώρου, στη γνωστική ανάπτυξη για τη παραγωγή γεωγραφικής σκέψης

Σε **διδακτικό επίπεδο**: η εκπαίδευση στη χαρτογραφία αν και παρεμβάλλει ένα επιπλέον εργαλείο, το χάρτη, έμμεσα στοχεύει στο αντικείμενο της Γεωγραφίας. Συνεπώς, η εκπαίδευση των μαθητών στη χαρτογραφική σκέψη, διευκολύνει τη διδασκαλία και τη μάθηση της Γεωγραφίας.

## Βιβλιογραφία

- Benoist L., Signes, Symboles et mythes, PUF, que sais-je, Paris, 1989, 5ème éd.
- Bertin J., La sémiologie Graphique,
- Clary M., Dufau G., Durand R., Ferras R., Cartes et Modèles à l'école, Reclus, 1988
- Could P., Bailly A., Le pouvoir des cartes, Brian Harley et la cartographie, Anthropos, éd. Economica, 1995
- Daudel C., Géographie scolaire: vers une didactique de l'altérité, actes de colloque, 1996
- Geography Education Standards Project. Geography for Life – National Geography Standards, National Geographic Society, 1994
- Joly M., Introduction à l'analyse de l'image, Nathan, Paris, 1997
- Mottet G., Images et construction de l'espace. Apprendre la carte à l'école, INRP, Paris, 1997
- Piaget J., La représentation du monde chez l'enfant, PUF, Paris, 1993, 7ème éd.
- Pigaki M., Enseigner la cartographie : la carte, un outil rationnel pour la compréhension spatiale. Expérimentation pour une élaboration des programmes scolaires. Thèse de doctorat-didactique de la géographie, Paris, 2000
- Reclus E., L'homme et la Terre, La découverte/ Poche, Paris, 1998

## Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Μανωλάς Ε.<sup>1</sup>, Μάρης Φ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα, Ελλάδα.

E-mail: [emanolas@fmenr.duth.gr](mailto:emanolas@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup>Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα, Ελλάδα.

E-mail: [fmarris@fmenr.duth.gr](mailto:fmarris@fmenr.duth.gr)

### Περίληψη

Η πλήρης εμπλοκή των σπουδαστών στη μάθηση επιτυγχάνεται με τη χρήση μεθόδων ενεργητικής παρά παθητικής μάθησης. Η χρήση τεχνικών ενεργητικής μάθησης έχει πολλά πλεονεκτήματα: μπορεί να δημιουργήσει περισσότερα κίνητρα για μάθηση, να αυξήσει την περιέργεια, να διευκολύνει τη συγκράτηση πληροφορήσης, να βελτιώσει την επίδοση στο μάθημα και να καλλιεργήσει την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Η εργασία αυτή προτείνει μια προσέγγιση ενεργητικής μάθησης για την αποτελεσματική διδασκαλία ψηφιακών χαρτών. Μετά την παρουσίαση ενός συστήματος βασικών κανόνων για την αποτελεσματική χρήση ψηφιακών χαρτών στη διδακτική / μαθησιακή διαδικασία, η εργασία επιχειρεί να εφαρμόσει αυτό το σύστημα κανόνων σε ένα ψηφιακό τοπογραφικό χάρτη της περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας.

### THE DIGITAL TOPOGRAPHICAL MAP AS A TEACHING AND LEARNING TOOL: THE CASE OF WESTERN MACEDONIA

Manolas E.<sup>1</sup>, Maris F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Democritus University of Thrace, 193 Pantazidou Street, 68200 Orestiada, Greece.

E-mail: [emanolas@fmenr.duth.gr](mailto:emanolas@fmenr.duth.gr)

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Forestry and

Management of the Environment and Natural Resources,

Democritus University of Thrace, 193 Pantazidou Street, 68200 Orestiada, Greece.

E-mail: [fmarris@fmenr.duth.gr](mailto:fmarris@fmenr.duth.gr)

### Abstract

Fully engaging students to be actively involved in their own learning seems to be a task best achieved through active rather than passive learning approaches. Active learning can enhance motivation, increase inquisitiveness, facilitate retention of material, improve classroom performance, and foster development of critical thinking skills. This paper puts forward an active learning approach for the effective teaching of digital maps. Following presentation of a system of basic rules for effectively using digital maps in the teaching / learning process, an effort is made to apply this system of rules to a digital topographical map depicting the area of Western Macedonia.

**Λέξεις κλειδιά:** ψηφιακός χάρτης, διδασκαλία και μάθηση.

**Key words:** digital map, teaching and learning.



## 1. Εισαγωγή

Αποτελεσματική μάθηση σημαίνει χρήση ενεργητικών και όχι παθητικών μαθησιακών προσεγγίσεων. (Frederick, 2000; Drummond, 2002). Στην ενεργητική μάθηση οι εκπαιδευόμενοι δεν είναι απλά αποδέκτες πληροφόρησης αλλά και συμμετέχουν και πράττουν (McKeachie, 2001). Έρευνες που έχουν διεξαχθεί προτείνουν ότι η χρήση τεχνικών ενεργητικής μάθησης έχει πολλά πλεονεκτήματα: μπορεί να δημιουργήσει περισσότερα κίνητρα για μάθηση, να αυξήσει την περιέργεια, να διευκολύνει τη συγκράτηση πληροφορόρησης, να βελτιώσει την επίδοση στο μάθημα και να καλλιεργήσει την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης (Hartman, 1995; Δερβίσης, 1998).

Για να ενθαρρύνει την επίτευξη των παραπάνω στόχων, η εργασία αυτή προτείνει μια προσέγγιση ενεργητικής μάθησης κάνοντας χρήση ψηφιακών χαρτών. Μετά την παρουσίαση ενός συστήματος βασικών κανόνων για την αποτελεσματική χρήση ψηφιακών χαρτών στη διδακτική/μαθησιακή διαδικασία, η εργασία επιχειρεί να εφαρμόσει αυτό το σύστημα κανόνων σε ένα ψηφιακό χάρτη που αναφέρεται στην τοπογραφία της περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας. Για λόγους πληρέστερης κατανόησης της προτεινόμενης προσέγγισης ενεργητικής μάθησης, πριν τη εφαρμογή της συγκεκριμένης μαθησιακής διαδικασίας, η εργασία επιχειρεί μια παρουσίαση των σκοπών των ψηφιακών χαρτών γενικά, των λειτουργιών που επιτελούν, των βασικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων τους καθώς και της σπουδαιότητάς τους ως μέσα διδασκαλίας και μάθησης.

## 2. Σκοποί των ψηφιακών χαρτών

Ο κύριος στόχος ορισμένων χαρτών είναι να αποθηκεύσουν γεωγραφικές πληροφορίες σε χωρική μορφή. Άλλοι εξυπηρετούν ανάγκες μετακίνησης και πλοήγησης. Άλλοι σχεδιάζονται για αναλυτικούς σκοπούς, που περιλαμβάνουν μετρήσεις και υπολογισμούς. Άλλοι χάρτες, πάλι, χρησιμοποιούνται για τη σύνοψη μεγάλου όγκου στατιστικών δεδομένων και, κατά συνέπεια, είναι χρήσιμοι για την πρόβλεψη χωρικών φαινομένων και τον εντοπισμό τάσεων. Ορισμένες φορές οι χάρτες χρησιμοποιούνται για να οπτικοποιήσουν κάτι που διαφορετικά θα ήταν αόρατο ενώ, τέλος, οι χάρτες μπορεί να αποσκοπούν στην ανάπτυξη της χωρικής σκέψης. Οι περισσότεροι χάρτες, φυσικά, σχεδιάζονται ώστε να εξυπηρετούν ταυτόχρονα αρκετούς από τους παραπάνω στόχους. Λίγοι είναι οι εκείνοι με έναν μόνο στόχο. Αυτή η ασάφεια ως προς τους στόχους καθιστά δύσκολη την ανάπτυξη ενός σαφούς τρόπου ταξινόμησης των ειδών των χαρτών.

## 3. Οι λειτουργίες των ψηφιακών χαρτών

Ο χάρτης επιτελεί δυο σημαντικές λειτουργίες :

1. Λειτουργεί ως μέσο αποθήκευσης δεδομένων τα οποία χρειάζεται η ανθρωπότητα.
2. Παρέχει μια εικόνα του κόσμου, που μας βοηθάει να καταλάβουμε τα χωρικά φαινόμενα, τις σχέσεις και την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος όπου ζούμε.

## 4. Βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ψηφιακών χαρτών

Όλοι οι χάρτες ασχολούνται με δύο στοιχεία της πραγματικότητας: τη γεωγραφική θέση και τα χαρακτηριστικά. Οι γεωγραφικές θέσεις είναι σημεία στο χώρο των δύο διαστάσεων, όπως τόποι με τις συντεταγμένες  $x$ ,  $y$ . Τα χαρακτηριστικά είναι ποιοτικά ή ποσοτικά, όπως οι γλώσσες ή οι θερμοκρασίες.

Από τα δύο αυτά βασικά στοιχεία μπορούν να προκύψουν πολλές σχέσεις. Ορισμένα παραδείγματα είναι:

- Σχέσεις ανάμεσα σε γεωγραφικές θέσεις, χωρίς αναφορά σε χαρακτηριστικά, όπως οι αποστάσεις ή οι διευθύνσεις ανάμεσα στα σημεία εκκίνησης και προορισμού, που χρειάζονται κατά την πλοήγηση.

- Σχέσεις ανάμεσα σε διάφορα χαρακτηριστικά στην ίδια γεωγραφική θέση, όπως η θερμοκρασία, ο υετός και ο τύπος του εδάφους.

Κάθε είδους τοπολογική και μετρητική ιδιότητα σχέσεων μπορεί να αναγνωριστεί και να προκύψει, όπως η απόσταση, η κατεύθυνση, η γειτνίαση, το περιέχεται, οι σχηματισμοί, τα δίκτυα και οι αλληλεπιδράσεις. Ο χάρτης συνιστά συνεπώς ένα πολύ ισχυρό εργαλείο χωρικής ανάλυσης.

Όλοι οι γεωγραφικοί χάρτες είναι σμικρύνσεις. Έτσι, ο χάρτης είναι μικρότερος από την περιοχή που απεικονίζει. Για κάθε χάρτη υπάρχει μια καθορισμένη αναλογία διαστάσεων ανάμεσα στην πραγματικότητα και το χάρτη· η αναλογία αυτή ονομάζεται κλίμακα. Εξαιτίας της σχετικής «στενότητας» στο χώρο του χάρτη, η κλίμακα θέτει ένα όριο στην πληροφορία που αυτός μπορεί να περιλάβει.

Σε όλους τους χάρτες υπεισέρχονται γεωμετρικοί μετασχηματισμοί. Για παράδειγμα, είναι σύνηθες να μετασχηματίζεται η σφαιρική επιφάνεια (το σχήμα της γης κατά βάση) σε μια επιφάνεια όπου είναι ευκολότερη η εργασία, όπως είναι η οθόνη ενός υπολογιστή ή ένα επίπεδο φύλλο χάρτη. Αυτός ο συστηματικός μετασχηματισμός ονομάζεται χαρτογραφική προβολή. Η επιλογή της προβολής του χάρτη επηρεάζει τον τρόπο χρήσης του. Είναι συχνά εξυπηρετικό να χρησιμοποιούμε χαρτογραφικά συστήματα αναφοράς, που ονομάζονται συστήματα επίπεδων συντεταγμένων και μας βοηθούν να υπολογίζουμε αποστάσεις και διευθύνσεις από το χάρτη. Τα συστήματα συντεταγμένων βασίζουν την ακρίβειά τους στην προβολή του χάρτη.

Όλοι οι χάρτες είναι αφαιρέσεις της πραγματικότητας. Ο πραγματικός κόσμος είναι τόσο πολύπλοκος, που μια απλή σμίκρυνση του ή η πιστή απεικόνιση ενός μικρού τμήματος του θα περιέπλεκε περισσότερο τα πράγματα. Κατά συνέπεια, οι χάρτες απεικονίζουν μόνο τις πληροφορίες που έχουν επιλεγεί ως κατάλληλες για τη χρήση του χάρτη. Αυτές οι πληροφορίες έχουν υποστεί μια ποικιλία διεργασιών, όπως ταξινόμηση και απλοποίηση, ώστε να γίνουν ευκολότερα κατανοητές.

Όλοι οι χάρτες χρησιμοποιούν σήματα που παραπέμπουν στα στοιχεία της πραγματικότητας. Τα νοήματα αυτών των σημάτων συνιστούν το συμβολισμό στη χαρτογραφία. Λίγα από τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους χάρτες έχουν οικουμενικό νόημα, όπως άλλωστε λίγες είναι οι λέξεις που σημαίνουν το ίδιο πράγμα σε όλες τις γλώσσες (Robinson et al., 2003).

## 5. Η αξία των ψηφιακών χαρτών στη διδασκαλία και μάθηση

Οι ψηφιακοί χάρτες έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Τα κυριότερα απ' αυτά είναι τα εξής:

- Ο ψηφιακός χάρτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσελκύσει, αλλά και να διατηρήσει την προσοχή, να διευκολύνει μειώνοντας το φόρτο της συνεχούς προφορικής πληροφόρησης στη μνήμη, να εξοικονομήσει χρόνο, να εικονογραφήσει σχέσεις, να ψυχαγωγήσει, να παγιώσει, να προκαλέσει, να αναπτύξει αναλυτικές δεξιότητες (Module 2: Helping People to Learn, 1991).
- Ο ψηφιακός χάρτης μπορεί ακόμη να αξιοποιηθεί στη διδακτική πράξη για να φωτίσει, να εξηγήσει, να συγκινήσει ή να σοκάρει, αλλά και για να ευαισθητοποιήσει, ώστε να αναπτυχθεί στους σπουδαστές ενθουσιασμός και ενδιαφέρον για ποικίλες όψεις και πτυχές της πραγματικότητας (Thuiller and Tulard, 1990).
- Η χρήση του ψηφιακού χάρτη είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου το ακροατήριο στο οποίο απευθύνεται στερείται προσωπικής εμπειρίας για το υπό μελέτη ζήτημα. Στις περιπτώσεις αυτές οι χάρτες που επιλέγονται για χρήση απομακρύνουν τα εμπόδια για μάθηση, π.χ. στερέωτα, και παρέχουν κάποια κοινή βάση πληροφόρησης, την οποία, όλοι οι συμμετέχοντες, και οι διδάσκοντες και οι διδασκόμενοι, μπορούν να χρησιμοποιήσουν ανά πάσα στιγμή (Goldsmid and Wilson, 1980).

## 6. Βασικοί κανόνες αξιοποίησης των ψηφιακών χαρτών στη διδασκαλία και μάθηση

Οι βασικοί κανόνες αξιοποίησης του ψηφιακού χάρτη στη διδασκαλία και μάθηση είναι οι εξής:

- Σημείο αναφοράς κάθε εκπαιδευτικής δραστηριότητας αποτελεί η διατύπωση των στόχων της δραστηριότητας αυτής. Το βασικό ερώτημα που πρέπει να θέτει ο διδάσκων στον εαυτό του είναι «Τι πρέπει να μπορούν να κάνουν οι σπουδαστές στο τέλος μιας δραστηριότητας;» Οι στόχοι πρέπει να διατυπώνονται με σαφήνεια και συντομία. Η διατύπωση των στόχων μιας δραστηριότητας αποτελεί το 25% της επιτυχίας της προσπάθειας αυτής (Module 2: Helping People to Learn, 1991).
- Δεν πρέπει να επιδεικνύονται πολλοί χάρτες. Μερικοί καλά επιλεγμένοι χάρτες είναι περισσότερο αποτελεσματικοί απ' ό,τι ο βομβαρδισμός χαρτών. Αρκεί ένας χάρτης για κάθε ένα από τα κύρια σημεία που πρέπει να θιχθούν (Module 2: Helping People to Learn, 1991).
- Κάθε χάρτης πρέπει να συνοδεύεται από λεκτική επεξήγηση του περιεχομένου του. Στην επεξήγηση αυτή πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η διασαφήνιση νέων όρων, εννοιών, αρχών κλπ., που πιθανότατα είναι άγνωστες στο ακροατήριο (Goldsmid and Wilson 1980; Module 2: Helping People to Learn, 1991).
- Κάθε είδους προφορική επεξήγηση είναι σημαντικό να ακολουθείται από συζήτηση για το πως το ακροατήριο μπορεί να ωφεληθεί από την επίδειξη του χάρτη και τη λεκτική επεξήγηση που ακολούθησε. Σημαντική προϋπόθεση για την επιτυχία της συζήτησης αυτής αποτελεί η ποιότητα των ερωτήσεων που χρησιμοποιούνται. Οι καλές ερωτήσεις είναι σαφείς, σύντομες, χρησιμοποιούν γλώσσα προσιτή και προκαλούν τη σκέψη (Good and Brophy, 1973).
- Μετά το τέλος της συζήτησης μέσα στην τάξη είναι σημαντικό να προταθούν στους σπουδαστές ερωτήσεις ή δραστηριότητες ενδυνάμωσης των πρώτων εντυπώσεων από τη συγκεκριμένη εκπαιδευτική διαδικασία. Υπάρχει, επομένως, αναγκαιότητα για ερωτήσεις και δραστηριότητες που θα υποβοηθούν στη σύνδεση παλαιότερης και νέας γνώσης και στην αξιοποίηση της εμπειρίας που υπάρχει για να προχωρήσει το άτομο σε νέους ορίζοντες. Η εκπαίδευση έχει ως στόχο όχι μόνο να επεκτείνει τους γνωσιολογικούς ορίζοντες του σπουδαστή, αλλά και να τον βοηθήσει να αποκτήσει δεξιότητες συνεχούς αυτομόρφωσης (Θεοφιλίδης, 1988).

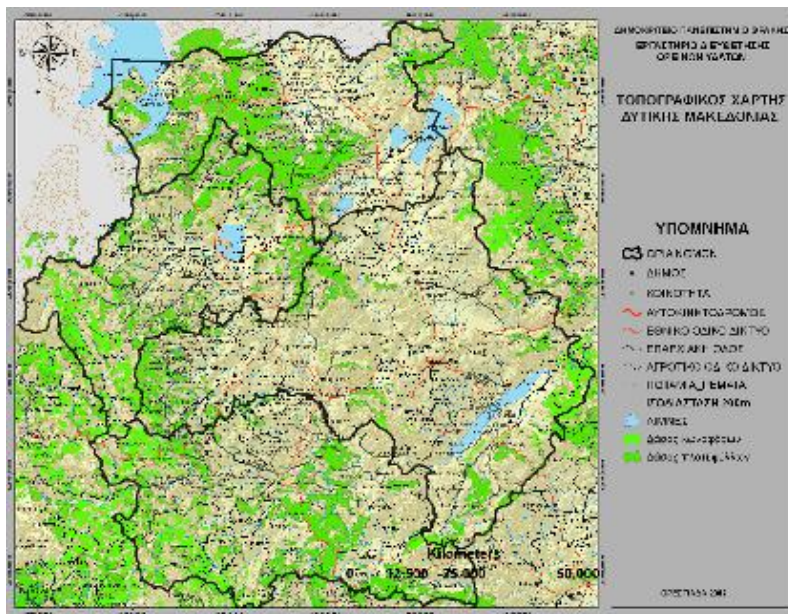
## 7. Μια εφαρμογή: Ο ψηφιακός τοπογραφικός χάρτης Δ. Μακεδονίας

### Στόχοι

Οι εκπαιδευόμενοι πρέπει:

1. Να ερμηνεύσουν τον ψηφιακό τοπογραφικό χάρτη.
2. Να κατανοήσουν πληροφορίες που είναι αδύνατο να ανιχνευτούν με άλλα μέσα ανάλυσης.
3. Να διατυπώσουν προβληματισμούς που δημιουργήθηκαν από την ερμηνεία του χάρτη.
4. Να καταλήξουν σε συμπεράσματα για την περιοχή του χάρτη.
5. Να καλλιεργήσουν δεξιότητες συνεχούς αυτομόρφωσης.

Ο συγκεκριμένος χάρτης (Σχήμα 1) είναι τοπογραφικός χάρτης της Δυτικής Μακεδονίας. Δημιουργήθηκε το έτος 2007 στο Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.



Σχήμα 1. Τοπογραφικός Χάρτης Δυτικής Μακεδονίας

Αποτελείται από δύο τμήματα:

- στο πρώτο τμήμα (χαρτογραφική σύνθεση) δίνεται η οπτική πληροφορία της περιοχής μελέτης και
- στο δεύτερο τμήμα (υπόμνημα) τα περιγραφικά χαρακτηριστικά της οπτικής πληροφορίας.

Στο οπτικό τμήμα του χάρτη μπορούμε επίσης να διακρίνουμε τα βασικά στοιχεία του χάρτη όπως:

- η κλίμακα του, που δηλώνει πόσες φορές έχει σμικρυνθεί μία περιοχή σε σχέση με την πραγματικότητα καθώς επίσης και
- ο γεωγραφικός βορράς, που μας δείχνει την διεύθυνση του βορρά στη συγκεκριμένη περιοχή.

Ο τοπογραφικός χάρτης της Δυτικής Μακεδονίας δημιουργήθηκε με την χρήση του προγράμματος ArcGIS της ESRI. Για την δημιουργία του χρησιμοποιήθηκαν διάφορα επίπεδα πληροφοριών (layers), τα οποία μπορεί να είναι κρυφά ή φανερά. Το κρυφό επίπεδο είναι το επίπεδο των υψομέτρων ενώ τα φανερά επίπεδα είναι:

1. Τα όρια των νομών της περιοχής.
2. Οι ισούψεις καμπύλες, ισοδιάστασης 200μ: Στους χάρτες, η αναπαράσταση του αναγλύφου γίνεται με τη βοήθεια ισουψών καμπυλών. Η ισουψής καμπύλη είναι μια νοητή γραμμή που περνά από όλα τα σημεία που έχουν το ίδιο υψόμετρο. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισούψεις καμπύλες λέγεται ισοδιάσταση.
3. Το οδικό δίκτυο της περιοχής: Η αναπαράσταση του οδικού δικτύου γίνεται με γραμμές διαφορετικού χρώματος για κάθε κατηγορία δικτύου, αυτοκινητόδρομοι, εθνικοί, επαρχιακοί και αγροτικοί οδοί.
4. Τα ρέματα, τα ποτάμια και τις λίμνες: Η αναπαράσταση των ρεμάτων και των ποταμών

γίνεται με γραμμές μπλε χρώματος και ανάλογου πάχους και των λιμνών με μπλε πολύγωνα.

5. Τις δασωμένες περιοχές: Η αναπαράσταση των δασωμένων περιοχών γίνεται με πολύγωνα πράσινης απόχρωσης για κάθε κατηγορία δάσους.
6. Και τέλος τους δήμους και τις κοινότητες της Δυτικής Μακεδονίας: Η αναπαράσταση για τους δήμους και τις κοινότητες γίνεται με σημεία.

## 8. Ερωτήσεις για συζήτηση

Είναι δύσκολο να υπάρξει ποιοτική διδασκαλία χωρίς την υποβολή καλών ερωτήσεων. Το επίπεδο σκέψης στο οποίο κινούνται οι σπουδαστές εξαρτάται από το επίπεδο των ερωτήσεων. Κάθε ερώτηση δραστηριοποιεί και μια νοητική λειτουργία. Η απλούστερη ταξινόμηση των νοητικών λειτουργιών είναι αυτή που αντιδιαστέλλει μεταξύ χαμηλών νοητικών λειτουργιών και ανώτερων. Στις χαμηλές νοητικές λειτουργίες συγκαταλέγεται η ανάμνηση ή ανάκληση και η κατανόηση βασικών εννοιών. Στις ανώτερες νοητικές λειτουργίες συγκαταλέγονται η αναλυτική και συνθετική σκέψη καθώς και η αξιολογική κρίση. Συνήθως, οι ερωτήσεις που στηρίζονται στις ανώτερες νοητικές λειτουργίες ονομάζονται και ερωτήσεις κρίσης. Οι ερωτήσεις κρίσης απαιτούν αφηρημένη σκέψη. Οι σπουδαστές πρέπει να προχωρήσουν πέρα από την απλή περιγραφή, πρέπει να κάνουν συσχετισμούς, να συγκρίνουν και να αντιπαραβάλλουν, να καταλήξουν σε συμπεράσματα, να αντιληφθούν αιτίες και αποτελέσματα. Οι ερωτήσεις κρίσης ζητούν από τους εκπαιδευόμενους να δημιουργήσουν την απάντηση (Θεοφιλίδης 1988). Οι ερωτήσεις που ακολουθούν είναι ερωτήσεις κρίσης:

1. Ποιος είναι ο σκοπός αυτού του τοπογραφικού χάρτη;
2. Να επισημάνετε τρία γνωρίσματα του χάρτη που είναι σημαντικά.
3. Εκτός από τις πληροφορίες που προσφέρθηκαν μέσω της λεκτικής επεξήγησης που συνοδεύει το χάρτη ποιες άλλες πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη του χάρτη;
4. Τι θα αλλάζατε στο συγκεκριμένο χάρτη;
5. Η πληροφόρηση που προσφέρει ο χάρτης υποστηρίζει ή έρχεται σε αντίθεση με πληροφόρηση που είχατε ως τώρα;
6. Τι ερωτήματα μένουν αναπάντητα από το συγκεκριμένο χάρτη;

## 9. Ερωτήσεις / δραστηριότητες προέκτασης

Οι ερωτήσεις / δραστηριότητες προέκτασης που ακολουθούν επίσης στηρίζονται στις ανώτερες νοητικές λειτουργίες. Η βασική διαφορά με τις ερωτήσεις συζήτησης που προηγήθηκαν είναι ότι οι ερωτήσεις αυτές προάγουν τη σύνδεση της γνώσης που αποκτήθηκε με νέα γνώση ούτως ώστε να προχωρήσουν οι σπουδαστές σε νέους ορίζοντες και να καλλιεργήσουν δεξιότητες συνεχούς αυτομόρφωσης:

1. Πως διαφορετικοί επιστήμονες πιστεύετε ότι θα χρησιμοποιούσαν το χάρτη;
2. Βρείτε ένα παρόμοιο χάρτη με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στο μάθημα. Γράψτε μια δική σας λεκτική επεξήγηση του χάρτη χωρίς να διαβάσετε την όποια επεξήγηση συνοδεύει το συγκεκριμένο χάρτη. Αμέσως μετά να συγκρίνετε και να αντιπαραβάλλετε την δική σας επεξήγηση με αυτή του συγγραφέα.
3. Βρείτε παλαιότερους χάρτες για την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας με στόχο τη δημιουργία μιας περισσότερο ολοκληρωμένης εικόνας για τη συγκεκριμένη περιοχή.

## 10. Συμπεράσματα

Η ενεργητική μάθηση, σε αντίθεση με την παθητική μάθηση, προωθεί την άμεση εμπλοκή των σπουδαστών στη μαθησιακή διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι οι εκπαιδευόμενοι δεν είναι απλά αποδέκτες πληροφόρησης, αλλά και δέχονται πληροφορίες και συμμετέχουν και πράττουν. Μετά την παρουσίαση ενός σχήματος ενεργητικής μάθησης για τη χρήση των

ψηφιακών χαρτών η εργασία αυτή επεχείρησε να εφαρμόσει το σχήμα αυτό σε ένα ψηφιακό χάρτη που αναφέρεται στην τοπογραφία της περιοχής της Δυτικής Μακεδονίας.

Παρά τα πλεονεκτήματά του, ο ψηφιακός χάρτης ως μέσο διδασκαλίας και μάθησης από μόνος του δεν αρκεί. Κάθε χάρτης πρέπει να συνοδεύεται από συγκεκριμένους στόχους, είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται ένας μόνο χάρτης για κάθε ένα από τα κύρια θέματα / σημεία που θίγονται, κάθε χάρτης πρέπει να ακολουθείται από σύντομη επεξήγηση του περιεχομένου του, η συζήτηση που θα ακολουθήσει πρέπει να υποστηρίζεται από κατάλληλες ερωτήσεις, ενώ στο τέλος της συγκεκριμένης εκπαιδευτικής δραστηριότητας είναι σημαντικό να ανατίθενται στους εκπαιδευόμενους ερωτήσεις / δραστηριότητες που θα συνδέουν τη γνώση που αποκτήθηκε με νέα γνώση και που θα προωθούν την απόκτηση δεξιοτήτων συνεχούς αυτομόρφωσης.

### Βιβλιογραφία

Δερβίσης Σ.Ν., 1998: Οι Μαθητές μιας Τάξης ως Κοινωνική Ομάδα και η Ομαδοκεντρική Διδασκαλία.. Α΄ Έκδοση. Gutenberg, Αθήνα.

Θεοφιλιδής Χ., 1988: Η Τέχνη των Ερωτήσεων. Γ΄ Έκδοση. Εκδόσεις Γρηγόρη, Αθήνα.

Drummond T., 2002: A Brief Summary of the Best Practices in Teaching. Available <http://northonline.sccd.ctc.edu/eceprog/bstprac.html>

Frederick P. J., 2000: Student Involvement: Active Learning in Large Classes. In: G. S.

Bridges and S. Desmond, eds., Teaching and Learning in Large Classes. American Sociological Association / Teaching Resources Center, Washington, D.C.

Goldsmid C., and Wilson K., 1980: Passing on Sociology: The Teaching of a Discipline.

American Sociological Association / Teaching Resources Center, Washington, D.C. Good T., Brophy J., 1973: Looking in Classrooms. Harper & Row, New York.

Hartman V. F., 1995: Teaching and Learning Style Preferences: Transitions through Technology. VCCA Journal. 2,18-20. Available <http://www.br.cc.va.us/vcca/hart.htm>

McKeachie W., 2001: Active Learning. Available [http://hydro4.sci.fau.edu/~rjordan/active\\_learning.htm](http://hydro4.sci.fau.edu/~rjordan/active_learning.htm)

Module 2: Helping People to Learn, 1991: Polytechnic of West London, Slough.

Praveen Kumar, Folk Mike, Momcilo Markus, Alameda C. Jay, Bajcsy Peter, 2005: Hydroinformatics, Taylor & Francis Ltd.

Gurnell A. M., Montgomery D. R., 2000: Hydrological Applications of GIS. John Wiley and Sons Ltd.

Singh V.P., Fiorentino M., 1996: Geographical Information Systems in Hydrology. Kluwer Academic Publishers Group.

Lyon G., John, 2002: GIS for Water Resources and Watershed Management. Taylor & Francis Ltd.

### Μεταφράσεις:

Thuiller G., Tulard, J., 1990: Οι ιστορικές σχολές. Εκδόσεις Καρδαμίτσα, Αθήνα.

Robinson H. Arthur, Morrison L. Joel, Muehrcke C. Phillip, Kimerling A. Jon, Guptill C. Stephen, 2003: Στοιχεία Χαρτογραφίας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

## Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ 500 ΠΟΛΥΕΘΝΙΚΩΝ ΤΟΥ FORTUNE: ΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΩΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Ρέντζος Ι.

*Τμήμα Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας, Παν. Αιγαίου*

### Περίληψη

Στην εισήγηση περιγράφεται η παιδαγωγική προσέγγιση μιας οικονομικής διδακτέας ύλης σχετικής με τις πολυεθνικές στο πρόγραμμα του μαθήματος της Ανθρωπογεωγραφίας στο Τμήμα Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας του Πανεπιστημίου του Αιγαίου. Η επιλεγείσα ύλη στηρίχθηκε ως θέμα Οικονομικής Γεωγραφίας στη συστηματική χρήση των δεδομένων κατάταξης που δημοσιεύει τον Ιούλιο κάθε έτους το γνωστό περιοδικό *Fortune* (από το 2007 και σε ετήσια ελληνική έκδοση) σχετικά με τη δραστηριότητα των μεγάλων πολυεθνικών επιχειρήσεων. Περιγράφεται και η βάση που σχεδιάστηκε και επέτρεπε την ταχεία ανακατάταξη των πολυάριθμων δεδομένων ώστε να συνάγονται συμπεράσματα σχετικά με την παγκόσμια οικονομική ζωή ως παρουσίαση δραστηριοτήτων κατά χώρα και –με ιδιαίτερη έμφαση– κατά πόλη. Στο κείμενο αυτό που αποτελεί μικρή συμβολή στην ιστορία της ελληνικής γεωγραφικής εκπαίδευσης παρουσιάζεται μια πολιτισμική και ανθρωπολογική προσέγγιση της διεθνούς οικονομικής ζωής, των πολυεθνικών και της παγκοσμιοποίησης.

### THE ECONOMIC GEOGRAPHY OF FORTUNE 500 MULTINATIONALS: ITS SYSTEMATIC UTILIZATION AS AN INTRODUCTORY COURSE IN THE TEACHING OF HUMAN GEOGRAPHY

Rentzos I.

*Department of Social Anthropology and History, University of the Aegean*

### Abstract

The text describes the pedagogic approach of an economic syllabus related to multinational companies in Human Geography in the Department of Social Anthropology and History of the University of the Aegean. The selected matter was based, as a topic of Economic Geography, on the systematic utilization of data on the ranking of major multinational enterprises depending on their business activities, which are published yearly in July by *Fortune* magazine. In addition, a data base was designed allowing the quick sorting of numerous data, and leading to conclusions on global economics as a presentation of activities by country and –with particular emphasis– by city. In the given educational context, the text exposes a cultural and anthropological approach of international economics, of multinational companies, and of globalization.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωγραφική εικονογραφία, πόλη, Σινσινάτι, Matsushita, P&G.

**Key words:** Geographical iconography, city, Cincinnati, Matsushita, P&G.

### 1. Εισαγωγή

Με κεντρικό τίτλο *Tale of 229 Cities* και παιγνιώδη υπαινιγμό στο έργο του Καρόλου Ντίκενς «Ιστορία δύο πόλεων», το αφιέρωμα των «500 του *Fortune*» (Ιούλιος 2006) βάζει την πόλη στο κέντρο της Οικονομικής Γεωγραφίας. Όπως είναι γνωστό, τον Ιούλιο κάθε

έτους το γνωστό αυτό περιοδικό, του οποίου βρίσκουμε, από το 2007, και ετήσια ελληνική έκδοση, δημοσιεύει λεπτομέρειες από τη δραστηριότητα των 500 μεγαλύτερων επιχειρήσεων του κόσμου, δηλαδή των μεγάλων πολυεθνικών. Το σύνολο των δεδομένων υπό μορφή πολλών αναδιατεταγμένων πινάκων συνιστά μια έντυπη βάση στην οποία συμπεριλαμβάνονται –κυρίως– εντυπωσιακές πληροφορίες σχετικά με την ταξινόμηση/κατάταξη κατά διάφορα οικονομικά, επιχειρηματικά και γεωγραφικά μεγέθη των 500 σημαντικότερων διεθνών επιχειρήσεων. Με αφετηρία το υλικό του περιοδικού, από το αρχείο 1992-2006 του Εργαστηρίου Ανθρωπογεωγραφίας του Τμήματος Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας του Πανεπιστημίου του Αιγαίου, ασχοληθήκαμε με τη διδασκαλία της σύγχρονης οικονομικής ζωής και των γεωγραφικών εκδηλώσεών της.

Πιο συγκεκριμένα, στην εκπαιδευτική διαδικασία που ακολουθήσαμε, από το 1994 και συστηματικότερα από το 1997, ως μέρος του προγράμματος της εισαγωγής στην Ανθρωπογεωγραφία στο Τμήμα Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας του Πανεπιστημίου του Αιγαίου, όπως διδασκόταν με συνεχείς τροποποιήσεις, ήδη από το 1990 (και προηγουμένως από τον Λόη Λαμπριανίδη, 1988-90), συμπεριλάβαμε και μια ενότητα σχετική με τις πολυεθνικές εταιρείες. Αυτή βασιζόταν σε μια τριώρη σειρά διαλέξεων (με υλικό σχετικό με τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις του κόσμου) και μια ισόχρονη άσκηση σε βάση δεδομένων (όπου συμπεριλαμβάνονταν και σχετικά άρθρα καθώς και άλλα σχετικά κείμενα). Για τη βάση αυτή 1) καταφύγαμε στα ακριβή δεδομένα που δημοσιεύει κάθε χρόνο το περιοδικό *Fortune* και 2) κάναμε χρήση του λογισμικού *Multiterm* της Trados GmbH.

Πίνακας 1. Οι δέκα μεγαλύτερες επιχειρήσεις από τις 500 του FORTUNE (επιλογή μερικών ετών)

ΘΕΣΗ	1992	1993	1996	1998	2004	2005
1	GENERAL MOTORS	GENERAL MOTORS	GENERAL MOTORS	GENERAL MOTORS	WAL-MART STORES*	EXXON-MOBIL
2	EXXON	FORD MOTOR	FORD MOTOR	DAIMLER-CHRYSLER	BP	WAL-MART STORES*
3	FORD MOTOR	EXXON	MITSUMI	FORD MOTOR	EXXON-MOBIL	ROYAL DUTCH SHELL GROUP
4	ROYAL DUTCH SHELL GROUP	ROYAL DUTCH SHELL GROUP	MITSUBISHI	WAL-MART STORES*	ROYAL DUTCH SHELL GROUP	BP
5	TOYOTA MOTOR	TOYOTA MOTOR	ITOCHU	MITSUMI	GENERAL MOTORS	GENERAL MOTORS
6	IRI*	HITACHI	SHELL	ITOCHU	DAIMLER-CHRYSLER	CHEVRON
7	IBM	IBM	MARUBENI	MITSUBISHI	TOYOTA MOTOR	DAIMLER-CHRYSLER
8	DAIMLER-BENZ	MATSUSHI TAELECTRIC	EXXON	EXXON	FORD MOTOR	TOYOTA MOTOR
9	GENERAL ELECTRIC	GENERAL ELECTRIC	SUMITOMO	GENERAL ELECTRIC	GENERAL ELECTRIC	FORD MOTOR
10	HITACHI	DAIMLER-BENZ	TOYOTA MOTOR	TOYOTA MOTOR	TOTAL	CONOCO-PHILLIPS*

Πηγή: Για κάθε έτος το αντίστοιχο αφιέρωμα των «500 του Fortune» του επομένου έτους. Μερικές επεξηγήσεις (σε παρένθεση η χώρα της μητρικής και ο τομέας δραστηριοτήτων): IRI (Ιταλική/Μικτή), WAL-MART STORES (Αμερικανική/Τρόφιμα), CONOCOPHILLIPS (Ιαπωνική/Ενέργεια).



Όπως και στο περιοδικό έτσι και στη βάση εφαρμόζονται κριτήρια σχετικά με το μέγεθος και την αποδοτικότητα της κάθε επιχείρησης. Στο περιοδικό, τα κριτήρια είναι οι πωλήσεις (κύκλος εργασιών), τα κέρδη, το ενεργητικό, η θέση των μετόχων (stock-holders' equity) και ο αριθμός των εργαζομένων. Οι επιχειρήσεις ταξινομούνται σε 53 κλάδους της επιχειρηματικής δραστηριότητας (στοιχεία του 2006), όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η χημική βιομηχανία, η μεταλλουργική βιομηχανία, τα διυλιστήρια πετρελαίου, η φαρμακευτική βιομηχανία, η εκδοτική βιομηχανία, τα ηλεκτρονικά, τα τρόφιμα και τα ποτά, οι τράπεζες, οι χρηματιστικές εταιρείες, οι ασφαλιστικές εταιρείες κ.ά. Επίσης οι επιχειρήσεις ταξινομούνται και κατά χώρα, οπότε έχουμε την ευκαιρία να δούμε και συνοπτικά τις επιδόσεις της κάθε χώρας. Οι Ηνωμένες Πολιτείες αντιπροσωπεύονται στην ταξινόμηση (στοιχεία του 2006) από 170 βιομηχανίες και αποτελούν τη χώρα με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στον πίνακα. Ακολουθεί η Ιαπωνία με 70 επιχειρήσεις, η Γαλλία έχει 38 επιχειρήσεις, η Γερμανία 35 και η Βρετανία 38. Βέβαια η συμμετοχή των χωρών δεν είναι σταθερή αφού μερικές επιχειρήσεις σε κάποιες χώρες παύουν να ανήκουν στις «500» ενώ νέες επιχειρήσεις κάνουν την εμφάνισή τους στον πίνακα. Μερικές χώρες αντιπροσωπεύονται από μια μόνο επιχείρηση. Αυτές είναι η Αυστρία, η Ιρλανδία, το Λουξεμβούργο, η Μαλαισία, η Σαουδική Αραβία, η Σιγκαπούρη και η Τουρκία. Η Ελλάδα δεν αντιπροσωπεύεται από καμία.

Τα τελευταία 15 χρόνια οι πρώτες δέκα μεγαλύτερες επιχειρήσεις είναι (σε επιλογή) αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 (της προηγούμενης σελίδας), ενώ οι δέκα πόλεις με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μεγάλων επιχειρήσεων είναι αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Είναι ενδιαφέρουσα, από τον Πίνακα 1, η εξαφάνιση της IBM (1992/7 και 1993/7), η θέση της Τογوتا πάντα στις πρώτες 10 και η άνοδος της WAL-MART STORES (1998/4, 2004/1 και 2005/2), αμερικάνικης πολυεθνικής τροφίμων και ειδών καθημερινής καταναλώσεως, στην κορυφή του πίνακα όπου πρωτεύουν οι ενεργειακές και αυτοκινητικές βιομηχανίες.

Πίνακας 2. Οι δέκα πόλεις με την μεγαλύτερη συγκέντρωση μεγάλων επιχειρήσεων από τις 500 του FORTUNE (2005)

ΠΟΛΗ	ΧΩΡΑ	ΠΛΗΘΟΣ
ΤΟΚΙΟ	Ιαπωνία	52
ΠΑΡΙΣΙ	Γαλλία	27
ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ	Ην. Πολιτείες	24
ΛΟΝΔΙΝΟ	Ην. Βασίλειο	23
ΠΕΚΙΝΟ	Κίνα	15
ΣΕΟΥΛ	Ν. Κορέα	9
ΜΟΝΑΧΟ	Ο.Δ. Γερμανίας	6
ΧΙΟΥΣΤΟΝ	Ην. Πολιτείες	6
ΧΑΓΗ	Κάτω Χώρες	3
ΕΡΒΙΝΓΚ	ΗΠΑ, Τέξας	2

Πηγή: Fortune, July 24, 2006, No 13, σελ. 69.

Ας σημειώσουμε εδώ ότι η παρουσίαση των πόλεων στις οποίες κατά κύριο λόγο δραστηριοποιούνται οι μεγάλες επιχειρήσεις και που συνοδεύει την ύλη που πραγματευόμαστε εντάσσεται 1) στο γενικότερο πνεύμα της προσέγγισης της πόλης ως παραγωγού πλούτου (Jacobs, 1985, 1970· Taylor, 2004) και 2) στην παιδαγωγική γεωγραφική αντίληψη που βασίζει το μάθημα στην παρατήρηση του χώρου της πόλης ως έδρας εκδήλωσης των δραστηριοτήτων των επιχειρήσεων (εγκαταστάσεις, καταστήματα, διαφημίσεις έως και προϊόντα στα ράφια).

## 2. Το πρόγραμμα της Ανθρωπογεωγραφίας και η ένταξη σε αυτό των στοιχείων Οικονομικής Γεωγραφίας

Τα στοιχεία που παρουσιάζουμε εδώ εντάχθηκαν στο πρόγραμμά μας σε μια στιγμή κατά την οποία ο οξυδερκέστατος «ανθρωπογεωγράφος» Paul Virilio άρχισε να ανιχνεύει «το τέλος της γεωγραφίας» (Virilio, 1997a, 1997b). Θεωρούμε σκόπιμο συνεπώς να παρουσιάσουμε συνοπτικά το πρόγραμμα της Ανθρωπογεωγραφίας όπως το προτεινάμε στο Τμήμα και όπως διδασκόταν ώστε να γίνει καλύτερα αντιληπτή η ένταξη των εννοιών για τις οποίες κάνουμε λόγο στο μάθημα.

Χωρίς να είναι καινούριο μάθημα, η Ανθρωπογεωγραφία είχε μια καινούρια θέση ενώ τη χαρακτήριζε κάποια ιδιαιτερότητα αφού θα έπρεπε να συγκροτηθεί ένα πρόγραμμα που να απευθύνεται σε φοιτητές/τριες και μελλοντικούς/ές πτυχιούχους Ανθρωπολογίας και Ιστορίας. Η παντελής έλλειψη μαθήματος Γεωγραφίας στο επίπεδο του Λυκείου και των μεταλυκειακών/ προπανεπιστημιακών δοκιμασιών για την εισαγωγή στα ΑΕΙ/ΤΕΙ δημιούργησε ένα ιδιαίζον εκπαιδευτικό περιβάλλον παρακολούθησης και αφομοίωσης των διδασκομένων αντικειμένων. Το μάθημα της Ανθρωπογεωγραφίας προσεγγίστηκε λοιπόν ως γεωγραφικό υπόβαθρο που θα διευκόλυνε 1) το φοιτητή να παρακολουθήσει και να υπηρετήσει τις ανθρωπολογικές και ιστορικές σπουδές του (π.χ. «ατλαντογνωσία» αλλά και χάρτογραφία), και το/τη μελλοντικό/-ή πτυχιούχο 2) να έχει έλθει σε επαφή με ένα ευρύ φάσμα κλάδων της Γεωγραφίας και των μεθόδων της (π.χ. στατιστικές μέθοδοι της Ανθρωπογεωγραφίας) που υπήρχε το ενδεχόμενο να του/της φανούν χρήσιμες σε ένα μεταπτυχιακό επίπεδο Κοινωνικών Επιστημών και 3) να έχει κατακτήσει ως διδάσκαλος Κοινωνικών Επιστημών (και Γεωγραφίας) μια λιγότερο «σχολική» αντίληψη για την επιστήμη της Γεωγραφίας καθώς και μια πολυεπιστημονική και μάλιστα διεπιστημονική θεώρηση του κλάδου και των σχετικών κλάδων.

Στο ανωτέρω πλαίσιο, το εξαμηνιαίο πρόγραμμα της Ανθρωπογεωγραφίας (Ρεντζος, 2004) διαμορφώθηκε ως εξής (σε παρένθεση μερικά παραδείγματα κεφαλαίων): Η Ανθρωπογεωγραφία ως κλάδος της γεωγραφίας (π.χ. Οι γεωγραφικές εταιρείες και τα περιοδικά)· Ο χώρος, η πολιτική του οργάνωση, ο πληθυσμός (π.χ. Περίκλειστα κράτη ή χώρες χωρίς ακτές, Τα νησιωτικά μικροκράτη)· Ο χώρος ως νοητό και γλωσσικό αντικείμενο (π.χ. Νοούμενος χώρος, Ανθρωπογεωγραφία των γεωγραφικών ονομάτων)· Χαρτογραφικές μέθοδοι· Στατιστικές μέθοδοι της Ανθρωπογεωγραφίας (π.χ. Διατύπωση υποθέσεων και επαλήθευση)· Θεωρητική Ανθρωπογεωγραφία (π.χ. Το σύστημα, το κέντρο, το σχήμα/μοντέλο)· Οικονομική Ανθρωπογεωγραφία· Οι πόλεις· Θεματική Ανθρωπογεωγραφία (π.χ. Φυσικές καταστροφές, Τρίτος κόσμος). Ας επισημανθεί ότι η ενότητα της πόλης, που έχει ζωτική σημασία για τη λειτουργία της οικονομίας, αναπτύχθηκε ιδιαίτερα ως «πολεογραφία» αφήνοντας περιθώρια για πολλές φοιτητικές εργασίες με βάση την πόλη/περιφέρεια καταγωγής του κάθε παιδιού.

Στο πρόγραμμα αυτό η Οικονομική [Ανθρωπο]γεωγραφία περιλάμβανε τα εξής κεφάλαια: Περιφερειακή πολιτική στην Ευρωπαϊκή Ένωση· Ο Τρίτος Κόσμος· Οι νέες βιομηχανικές χώρες· Ανθρωπογεωγραφία των πολυεθνικών. Όπως θα επισημάνει ο αναγνώστης η έννοια της «Ανθρωπογεωγραφίας» και ο σχετικός όρος υπερτονίζονται. Αυτό μπορούμε να το συσχετίσουμε με το γεγονός ότι στις αρχές της δεκαετίας του 1990 στη χώρα μας φαινόταν να προωθείται μια ακαδημαϊκή αυτονόμηση του κλάδου της Ανθρωπογεωγραφίας, στο επίπεδο του Πανεπιστημίου του Αιγαίου με το «Τμήμα Ανθρωπογεωγραφίας» (Ρέντζος, 1993), που ιδρύθηκε (1994/95) ενώ αργότερα (1996/97) εγκαταλείφθηκε αυτή η ονομασία τμήματος. Ενθαρρυνόταν πάντως έτσι μια ανθρωποκεντρική/πολιτισμική «μεταγραφή» διαφόρων ανθρωπογεωγραφικών –που είναι βέβαια σαφώς γεωγραφικά– ζητημάτων που φαινόταν να εντάσσονται σε ένα πλαίσιο μιας «εθνικής σχολής» ανεξαρτητοποιούμενης Ανθρωπογεωγραφίας.

Χαρακτηριστικά στοιχεία της τάσης αυτής αναγνωρίζουμε και στις «διδασκτικές σημειώσεις για τα μαθήματα Κοινωνική Γεωγραφία, Χώρος και Κοινωνικές Διαδικασίες» της Λίλας

Λεοντίδου (1989) στα κεφάλαια 1 και 5. Πάντως το ζήτημα «Γεωγραφία vs Ανθρωπογεωγραφία» φαίνεται πως είχε κάποια επικαιρότητα εκείνο τον καιρό. Στη συνάντηση των πανεπιστημιακών που δίδασκαν γεωγραφικά μαθήματα (σε ημερίδα που είχε οργανώσει το «Σύλλογος Φίλων του Ιδρύματος Σάκη Καράγιωργα» στις 17 Δεκεμβρίου 1994 στο Πάντειο Πανεπιστήμιο), ο Ηλίας Μπεριότος, κάνοντας μια σύντομη παρέμβαση, υποστήριξε με ζωντανό τόνο και σε πλαίσιο αποδοχής ότι, χωρίς να παραβλέπεται η αξία των επιμέρους φυσικογεωγραφικών κλάδων, οι κλάδοι της γεωγραφίας που έχουν ως τελική αναφορά και ζητούμενο την ανθρώπινη κοινωνία, δηλαδή η Ανθρωπογεωγραφία γενικά, είναι η Γεωγραφία.

Πριν λοιπόν δώσουμε περισσότερες λεπτομέρειες για τη διδασκαλία των «Fortune 500» διαμέσου του υλικού της βάσης που συγκροτήσαμε, ας υπενθυμίσουμε ότι τα ανωτέρω ζητήματα και μάλιστα η ανθρωπολογική, πολιτισμική και ευρέως διεπιστημονική προσέγγιση της Οικονομικής Γεωγραφίας δεν είναι ξένα στο διεθνές περιβάλλον με ανάκλαση στη σχετική βιβλιογραφία. Βιβλίο που είδε το φως σχεδόν αμέσως μετά την πτώση του τείχους του Βερολίνου, η 6η έκδοση του «International Business» των Daniels και Radebaugh (Daniels & Radebaugh, 1992), αποτελεί για το διδάσκαλο της Γεωγραφίας μια ευχάριστη έκπληξη. Όχι μόνο οι πολυάριθμοι χάρτες του αλλά και ο δεκαεξασέλιδος έγχρωμος θεματικός άτλας, του δίνουν, ούτε λίγο ούτε πολύ, τη μορφή μιας παγκόσμιας γεωγραφίας. Σε ρεαλιστική άλλωστε βάση, η παγκόσμια Ανθρωπογεωγραφία αντιμετωπίζεται σαν μια διεθνής Οικονομική Γεωγραφία. Κατά την έννοια αυτή «International Business» και «Οικονομική Γεωγραφία», σε βιβλιογραφικό επίπεδο, μπορεί να συμβεί να είναι όψεις του ίδιου νομίσματος.

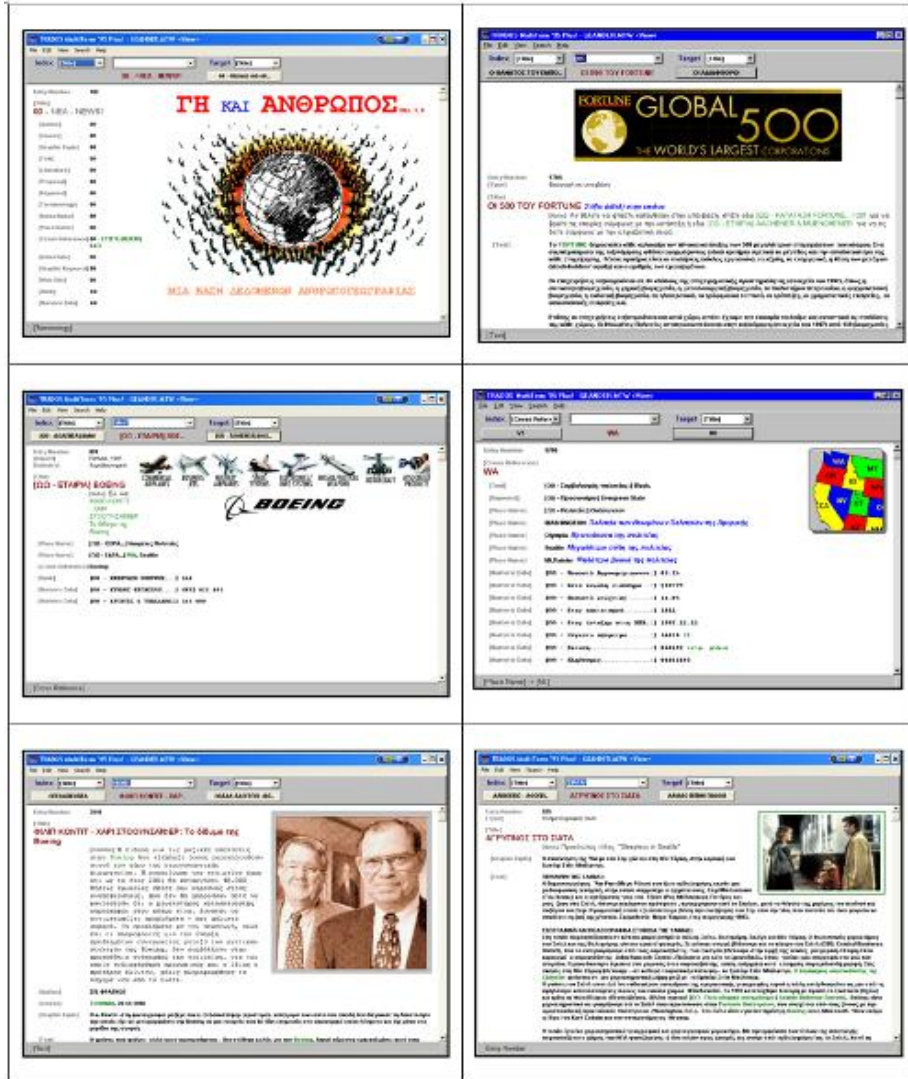
Το περιγραφόμενο βιβλίο αυτό προβάλλει το διεθνώς επιχειρείν ως Πολιτισμική Οικονομική Γεωγραφία. Είναι χαρακτηριστικό, για παράδειγμα, το πρώτο κεφάλαιο που αρχίζει με τις λεπτομέρειες της παραγωγής της ταινίας Ο πόλεμος των άστρων του George Lukas. Είναι βέβαια γνωστό ότι για περισσότερο από ένα αιώνα τώρα ο κινηματογράφος ως περιεχόμενο, χάρη σε μερικά εξωτερικά γυρίσματα σε χώρες άλλες από την έδρα της παραγωγής, και, κυρίως, με τη διεθνή/παγκόσμια διανομή του προϊόντος του είναι διεθνής και παγκόσμιος. Ωστόσο τα στοιχεία που περιέχονται στο βιβλίο των Daniels και Radebaugh αναφορικά με το σχεδιασμό των ταινιών που αποτελούν τη γνωστή κινηματογραφική τριλογία αναδεικνύουν μια εντυπωσιακή Πολιτισμική ή/και Πολιτιστική Οικονομική Γεωγραφία. Τι κόστος συνεπάγεται, για παράδειγμα, ο υποτιπλισμός, σε όλες τις χώρες, των «σκοτεινών γήινων ιδιωμάτων» που χρησιμοποιούνται σε μερικά σημεία στις ταινίες; Ή -πιο πεζά- τι κέρδος αναμενόμενα από τη διαφήμιση των ταινιών με συνδυασμένη πώληση προϊόντων των εταιρειών Coca-Cola και Procter & Gamble, που είναι καθημερινά στοιχεία εμπορικής διείσδυσης με έντονη πολιτισμική παρουσία (ως χρήση και καταγιστική διαφημιστική εικονογραφία) σε πολλά σημεία του πλανήτη;

Από μερικές πλευρές λοιπόν τα ζητήματα της διεθνούς οικονομικής ζωής θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια καλή συνοπτική οικονομικογεωγραφική εισαγωγή προσαρμοσμένη στα ενδιαφέροντα ενός κοινού με σπουδές γεω-πολιτισμικού περιεχομένου.

### **3. Η Οικονομική Γεωγραφία των 500 του Fortune: Περιγραφή και λειτουργία της βάσης δεδομένων**

Η βάση των 500 του Fortune εντάχθηκε ως υπο-βάση (μαζί με άλλες δέκα υπο-βάσεις) στη βάση «"Γη και Άνθρωπος" - Geander 3.0.» που αναπτύξαμε ως διδακτικό εργαλείο των μαθημάτων μας με χρήση του λογισμικού Multiterm '95 της Trados GmbH του οποίου παρουσιάσαμε αναλυτικά τις ιδιότητες (Ρέντζος, 2003). Τα στοιχεία που δίνονται ως πεδία αναζήτησης στη βάση των 500 είναι όνομα, κατάταξη, όνομα, χώρα, έδρα, βιομηχανικός κλάδος, αριθμός απασχολούμενων, κύκλος εργασιών. Η κατάταξη στις διαδοχικές σελίδες έχει γίνει με βάση τον κύκλο εργασιών. Με εσωτερικούς συνδέσμους από το λήμμα μιας πολυεθνικής επιτρέπεται η μετάβαση σε ειδικές σελίδες επιμέρους περιγραφών της επιχείρησης και γεωγραφικών πληροφοριών σχετικών με την χώρα εγκατάστασης της μητρικής και την πόλη της εταιρικής της έδρας (βλ. Εικ. 1). Τα επιμέρους αυτά λήμματα

αναπτύχθηκαν σε κάποια φάση ως εργασίες των φοιτητών/φοιτητριών. Άλλωστε αυτό ήταν ένας από τους στόχους ανάπτυξης της βάσης, δηλαδή η άσκηση των φοιτητών/φοιτητριών.



Εικόνα 1. Η βάση των «500 του Fortune» εντάχθηκε ως υπο-βάση στη βάση «Γη και Άνθρωπος» - Geander 3.0.» που αναπτύξαμε με χρήση του λογισμικού Multiterm '95 της Trados GmbH. Από αριστερά προς τα δεξιά, και από επάνω προς τα κάτω, εμφανίζονται η εισαγωγική σελίδα της φιλοξενούσας βάσης, η εισαγωγική σελίδα της υπο-βάσης των «500 του Fortune», η Boeing ως ένα παράδειγμα και η γεωγραφική περιγραφή της έδρας της στο Σιάτλ της Πολιτείας Ουάσιγκτον. Στην τρίτη γραμμή (αριστερά) εικονίζεται ένα άρθρο για τη Boeing και (δεξιά) παρουσίαση της ταινίας «Άγρυπνος στο Σιάτλ» που έχει ιδιαίτερο γεωγραφικό ενδιαφέρον. Αυτά και πολλά άλλα, όπως π.χ. η Microsoft που εδρεύει επίσης στο Σιάτλ συνδέθηκαν με συνδέσμους (links). Άρθρα για το Σιάτλ ως έδρα της αντιπαγκοσμιοποίησης επακολούθησαν.

Με τον τρόπο αυτό αναδεικνύονται εύκολα, με τη χρήση υπολογιστή, πληροφοριακά στοιχεία όπως η κατανομή των επιχειρήσεων κατά κλάδο δραστηριότητας, χώρα και πόλη, προσεγγίζονται έννοιες όπως η συγκεντρωμένη ή η αποκεντρωμένη οικονομική δραστηριότητα κατά χώρα και πόλη, ή αναζητείται το μέγεθος του προσωπικού μερικών επιχειρήσεων. Μια άσκηση που ανετέθη (και που προτείνεται) ήταν η παρατήρηση των σημάτων (λογότυπων) και των διαφημίσεων των επιχειρήσεων που εμπλούτισαν τη βάση. Αναδεικνύεται έτσι ως χρησιμότερη παιδαγωγική αναφορά πολιτισμικού χαρακτήρα η συχνά υπεροπτική γεωγραφική εικονογραφία των πολυεθνικών: πολλές μεγάλες πολυεθνικές από τις 500 του Fortune εμφανίζονται με έδρα την υδρόγειο, που αποτελεί τον «τόπο τους». Στο κύριο άρθρο της η γερμανική εφημερίδα Die Zeit (14 Μαΐου 1998), τις ημέρες που ανακοινώθηκε η συγχώνευση της Daimler (Benz) με την Chrysler, υπενθυμίζει ότι οι πολυεθνικές ήταν πρώτα «εθνικές με θυγατρικές στο εξωτερικό», τώρα όμως είναι «υπερεθνικές με πατρίδα την υδρόγειο» –έστω και αν ως εταιρική τους έδρα αναφέρεται το Ντιτρόιτ ή η Στουτγάρδη (Jean Heuser, 1998). Εξάλλου, ο αμερικανός ερευνητής Benjamin R. Barber, που εισήγαγε τις έννοιες McWorld και κουλτούρα McWorld, περιγράφει με εντυπωσιακά ανθρωπογεωγραφικό τρόπο την αναδόμηση χωρών, κρατών και εθνότητων που λαμβάνει χώρα, τα τελευταία χρόνια, στην υδρόγειο (Barber, 1998).

Για να γίνουν αυτά αντιληπτά, ήδη σε εισαγωγικό πλαίσιο, αρκεί να παρατηρηθούν μερικοί από τους λογότυπους (Εικ. 2, που παρουσιάζονται στο μάθημα ενώ κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης ζητείται από τους ασκούμενους να προτείνουν ερμηνείες των σχετικών απεικονίσεων και συμβολισμών). Η Alcoa, μεγάλη εταιρία αλουμινίου, παρουσιάζει, άκομψα και γελοιογραφικά, δυο εργάτες που τυλίγουν τη γη σε ένα φύλλο αλουμινίου, δικής της παραγωγής, προφανώς. Η επιχείρηση υπολογιστών Hewlett-Packard παρουσιάζει, εξίσου άκομψα με ένα χοντροκομμένο φωτομοντάζ, τους ιδρυτές της που ανοίγουν την πόρτα ενός μικρού γκαράζ και κοιτάζουν *εκεί μέσα* την υδρόγειο. Το μικρό αυτό γκαράζ είναι, πάντως, γνωστό στον κόσμο των υπολογιστών γιατί αποτέλεσε το πρώτο εργαστήριο της HP. Η μεγάλη χημική βιομηχανία Du Pont είναι πιο ρεαλιστική. Παρουσιάζει τρεις απόψεις της υδρόγειου (και όχι μόνο τη συνήθη «ατλαντική» εικόνα) καθώς και ισομεγέθη με την υδρόγειο χαρτονομίσματα, γεν και δολάρια. Επίσης η ισπανική τράπεζα Banco Bilbao Vizcaya προβάλλει το λογότυπο της BBV πάνω στον Ατλαντικό Ωκεανό που συνδέει ή χωρίζει τους χώρους δραστηριότητας της τράπεζας, δηλαδή την Ιβηρική Χερσόνησο και τη Λατινική Αμερική.



Εικόνα. 2. Πολλές μεγάλες πολυεθνικές από τις 500 του Fortune καθώς και άλλες εμφανίζονται με έδρα την υδρόγειο, που αποτελεί τον «τόπο τους».

#### 4. Παραδείγματα από τα κείμενα που συνοδεύουν τη βάση δεδομένων των 500 του Fortune

Παραθέτουμε κατωτέρω τρία κείμενα σε περίληψη της αρχικής διατύπωσης, από αυτά που είχαν επιλεγεί για τη βάση, και υπογραμμίζονται παιδαγωγικά στοιχεία. Άλλα κείμενα

αφορούσαν την IBM, την McDonald's και τη Monsanto.

#### 4.1. Nestlé: η πολυεθνικότερη πολυεθνική

Η ελβετική εταιρία Nestlé, της οποίας η πρώτη συλλαβή έχει μετατραπεί σε ελληνική λέξη για το στιγμιαίο διαλυτό καφέ –το γνωστό μας νεσ, από το προϊόν της Nescafé–, είναι η κατ'εξοχή πολυεθνική. Όπως το υποστήριξε, με κάποια υπερβολή, ένας παλαιότερος διευθυντής της, είναι «η μόνη πραγματική πολυεθνική που υπάρχει» αφού το 98% των δραστηριοτήτων της Nestlé είναι, παραδοσιακά, χωροθετημένο εκτός της Ελβετίας (Ziegler, 1976). Μέσα στο πλαίσιο επέκτασης και άσκησης περιφερειακού μανάτζμεντ, η Nestlé αποτελεί τον κύριο εμπορικό τροφοδότη καφέ σε χώρες όπως η Αυστραλία (71%), η Γαλλία (67%) και η Ιαπωνία (74%). Το ίδιο γίνεται και σε πολλές άλλες χώρες στις οποίες κυριαρχεί με άλλα προϊόντα της, όπως το γάλα, οι σούπες, οι παιδικές τροφές και τα μπισκότα (Raporport, C., 1994). Στην Ελλάδα η Nestlé αποτελείται ως όμιλος από τις εταιρείες Λουμιόδη, Μεταλλικά Νερά Κορπής, Νεστέ Ελλάς, Όμιλος Δημητριακών Ελλάς και άλλες. Προϊόντα της είναι: γάλα Βλάχας, Coffee-mate («κρέμα καφέ», Εικ. 3), Dolca, Nescafe, Carnation, Nesquik, σούπες Maggi και άλλα. Έχει τέσσερα εργοστάσια: στο Πλατύ Ημαθίας, στο Κορωπί Αττικής, στα Οινόφυτα Βοιωτίας και στο Περιστέρι. Και μάλιστα η «ελληνικότητά» της –με το παγωμένο ελληνικό φραπέ– υιοθετήθηκε και από την Ταϊλάνδη όπου το προϊόν διαφημίστηκε και με διαγωνισμό ανάδειξης του «φραποκόριτσου» shake girl (Raporport, C., ό.π.)! Πρόκειται εδώ για σοβαρά στοιχεία με πολιτισμικό και παιδαγωγικό περιεχόμενο.



Εικόνα 3. Φάσεις «Νεστλεοποίησης» (1995-2000) του παραδοσιακού αμερικανικού προϊόντος Coffee-mate (παρόμοιο με σκόνη γάλα, «λευκαντής καφέ») της Carnation, μετά την ένταξή της στη Νεστέ. Φωτογραφία Ι.Ρ.

#### 4.2. Η ιαπωνική Matsushita Electric Corporation ποτέ δεν πεθαίνει!

Σε κάποιο συμβολικό επίπεδο οι πολυεθνικές και τα κράτη-έθνη ταυτίζονται ως οντότητες, ενώ, επίσης προβάλλονται ανάλογα και οι ηγέτες τους. Ο John P. Kotter (Kotter, 1997) του Πανεπιστημίου του Harvard εκθειάζει τον Kanosuke Matsushita (προφέρεται ως τρισύλλαβη λέξη Mat-sósh-ta – τονίζεται το ο), το «παιδί της δεκαμελούς οικογένειας με τα πεταχτά αυτιά», που κατάφερε να οργανώσει την επιχείρηση Matsushita Electric Corporation. Εκτός από την ιστοριογραφία-αγιογραφία με επίκεντρο τους ιδρυτές των μεγάλων επιχειρήσεων, μπορούμε να αναφερθούμε και στους «εθνικούς» ύμνους που γράφονται και άδονται για τις εταιρείες αυτές από τους εργαζόμενους σ' αυτές. Η Matsushita φαίνεται πως έχει ένα τέτοιο

ύμνο που τραγουδούν (ή τραγουδούσαν) σε ορισμένες ευκαιρίες οι εργαζόμενοι (Schultze, 1979): Για μιας Νέας Ιαπωνίας την ανοικοδόμηση/ δυνάμεις πνεύματος και σώματος κάνουν εξόρμηση./Κάνουμε ό,τι το καλύτερο για την αύξηση της παραγωγής/ και στέλνουμε τα αγαθά μας στους λαούς όλης της γης,./αδιάκοπα και όλο και πιο πολύ/ σαν το νερό που αναβλύζει απ' την πηγή./ Πως μεγαλώνει και αυξάνεται η βιομηχανία,./με πνεύμα σύμπνοιας και αρμονία!./Ζει! Πάντα ζει! Ματσόστα Ηλεκτρική! Είναι φανερά στο στιχούργημα αυτό μερικά στοιχεία που συχνά χαρακτηρίζουν παρόμοια κείμενα: πατριωτισμός, ενθουσιασμός, κάποιος λυρισμός και επικό ύφος. Και εδώ πρόκειται για σοβαρά στοιχεία με ιδιαίτερο πολιτισμικό και παιδαγωγικό γεωγραφικό περιεχόμενο.

#### 4.3. Procter & Gamble: Η πολυεθνική από το Σινισνάτι

Εξίσου διαδεδομένη είναι η P&G, γνωστή κυρίως από το προϊόν της Tide και από άλλα προϊόντα καθαρισμού και ατομικής υγιεινής όπως Ariel, Pampers, Vidal Sassoon, Crest, Always, Vicks, Camay. Η θυγατρική της βρίσκεται εγκατεστημένη στην Ελλάδα από το 1960, αποτελεί δε μια από τις κορυφαίες εμπορικές επιχειρήσεις της χώρας μας. Από τη μελέτη της P&G αποκομίζουμε πολλές γνώσεις για τη λειτουργία των πολυεθνικών με ιδιαίτερο πολιτισμικό και αξιοποιήσιμο παιδαγωγικό-γεωγραφικό περιεχόμενο. Η δημοσιογράφος Alecia Swasy, που ήταν επί χρόνια διαπιστευμένη για να καλύπτει την P&G, σε ένα πολυσέλιδο βιβλίο της (Swasy, 1993) παρουσιάζει μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα οικονομική και πολιτισμική γεωγραφία της P&G με λεπτομερείς αναφορές στην ιστορία, το προσωπικό, το χώρο και την εγκατάσταση-έδρα στο Σινισνάτι, την έρευνα και την παγκόσμια εμπορική διείσδυση της P&G. Ενδιαφέροντα ζητήματα είναι 1) η περίπτωση του προϊόντος γυναικείας υγιεινής *Rely*, 2) τα ομοιόμορφα πατατάκια *Pringles* και 3) οι «ασπικοί θρύλοι» για το (ανύπαρκτο) 666 του λογότυπου της P&G. Το Σινισνάτι (στην πολιτεία Οχάιο, όπου πραγματοποιήσαμε σχετική επιτόπια έρευνα [Ρέντζος, 2006]), είναι έδρα 150 περίπου ερευνητικών κέντρων και μια από τις πρώτες αμερικανικές πόλεις (πρώτη το 1993) για εγκατάσταση οικογένειας (Savageau & Boyer, 1993 και Savageau & Loftus, 1997) ή επιχείρησης (Labich, 1993).

### 5. Συμπεράσματα - προτάσεις

Η εισήγηση αποτελεί μικρή συμβολή στην ιστορία της ελληνικής γεωγραφικής εκπαίδευσης (σημείο 2). Πέρα από την εκτιθέμενη διδακτική χρήση (σημείο 3), το υλικό αυτό μπορεί να δεχθεί συγκεκριμένες στοχοθετήσεις στο πλαίσιο διδασκαλίας της οικονομικής ανθρωπογεωγραφίας και της πολιτισμικής γεωγραφίας (σημείο 4). Κεντρικό παιδαγωγικό στοιχείο αποτελεί η γνωριμία με τις πολυεθνικές ως οντότητες που συμβάλλουν καθοριστικά στη ζωή των κοινωνιών και στην εικόνα των πόλεων [Barber, ό.π.]. Η παιδαγωγική διαδικασία που ακολουθήθηκε και προτείνεται εδώ συγκρότησε ένα πλαίσιο αλληλεπίδρασης σπουδαστών - βάσης δεδομένων - πόλης, αφού βασίστηκε στη τροφοδοσία της βάσης με υλικό που θα αναζητούσαν οι ίδιοι οι σπουδαστές βιβλιογραφικά και με επιτόπια παρατήρηση.

### Βιβλιογραφία

Λεοντίδου, Λ., 1989: Γεωγραφικός χώρος και κοινωνικός μετασχηματισμός, Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού Ε.Μ.Π.

Ρέντζος, Γ., 2006: Ανθρωπογεωγραφίες της πόλης, Εκδ. Τυπωθήτω-Δαρδανός.

Ρέντζος, Ι., 1993: «Πρόταση του Ι.Δ. Ρέντζου για την οργάνωση Τμήματος Ανθρωπογεωγραφίας της Σχολής Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου», Έγγραφο προς τον Πρόεδρο της Δ. Ε. του Π.Α.

Ρέντζος, Ι. 2003: Το λογισμικό Multiterm '95 της Trados GmbH ως εργαλείο γεωγραφικής τεκμηρίωσης και όργανο διδασκαλίας: Η ανάπτυξη της βάσης "Γη και Άνθρωπος" - Geander 3.0., Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τις Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας, Σύρος 9, 10, 11.5., 64-69.

Ρέντζος, Ι., 2004: Ανθρωπογεωγραφία, Πανεπιστημιακές σημειώσεις – Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Barber, B. R., 1998 : Culture McWorld, Le Monde diplomatique, Αύγ. 1998, 1, 24.

Clairmont, F., 1998: Ces deux cents sociétés qui contrôlent le monde, Le Monde diplomatique, avril 1998, 1, 16.

Daniels, John D. & Lee H. Radebaugh, 1992: International Business, 6th Edition, Addison-Wesley.

Jacobs, J., 1970: The Economy of Cities, Vintage Books, New York.

Jacobs, J., 1985: Cities and the Wealth of Nations, Vintage Books, New York.

Jean Heuser, U., 1998: Das Rad der Geschichte, Die Zeit, 14 Mai 1998, 1.

Kotter, J.P., 1997: Matsushita Leadership, New York, Free Press.

Labich, K., 1993: The Best Cities for Knowledge Workers, Fortune, 24, Nov. 15, 1993, 44-57.

Ramonet, I. 1997: Apocalypse médias, Le Monde diplomatique, avril 1997, 24.

Ramonet, I. 1998: Εταιρείες γίγαντες και κράτη νάνοι, Ελευθεροτυπία, 14.6.1998 / Le Monde diplomatique.

Rapoport, C., 1994: Nestlé's Brand Building Machine, Fortune, 19, Sept. 19, 1994, 129-133.

Savageau, D. & R. Boyer, 1993: Places Rated Almanac, Prentice Hall.

Savageau, D. & G. Loftus, 1997: Places Rated Almanac, Macmillan.

Schultze, A. 1979 [Hrsg.], Geographie, Terra, 7/8, Ausgabe B, Ernst Klett Stuttgart, 151.

Swasy, A., 1993: Soap Opera, Random House.

Taylor, P. J., 2004: World City Network – A Global Urban Analysis, Routledge, London.

The Economist, 1993: Multinationals, March 27th 1993, 1-20.

Virilio, P., 1997a: Un monde surexposé, Le Monde diplomatique, août 1997, 17.

Virilio, P., 1997b: Παγκοσμιότητα σημαίνει τέλος της γεωγραφίας, Η Καθημερινή, 17 Αυγούστου 1997.

Ziegler, J. 1976: Das Schweizer Imperium, Rowohlt, 48.



## «ΣΤΗ ΜΟΣΧΑ... ΣΤΗ ΜΟΣΧΑ»: ΙΔΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΙΑΣ ΠΟΛΗΣ, ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΘΕΑΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Ρέντζος Ι.<sup>1</sup>, Καζούκας Κ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας, Παν. Αιγαίου

<sup>2</sup>2ο Λύκειο Πρέβεζας

### Περίληψη

Στην εισήγηση γίνονται προτάσεις διαθεματικού στησίματος μιας θεατρικής παρουσίασης ενός αντικειμένου γεωγραφικής (ή «πολεογραφικής») διδασκαλίας που είναι επικεντρωμένο στη μελέτη μιας μεγάλης πόλης, της Μόσχας, και σε μικρότερο βαθμό μιας άλλης ρωσικής πόλης, του Περμ. Στο κείμενο διαγράφονται οι στόχοι και το περιεχόμενο της δραματοποίησης της πολεογραφικής ύλης ενώ εισάγονται στοιχεία σχετικά με τη γεωγραφία του ρωσικού χώρου καθώς και την πολεοδομία, την αρχιτεκτονική της Μόσχας και τη ζωή της. Η διαθεματικότητα προκύπτει (1) από τη θεατρική διδακτική μορφή και (2) από τις πληροφορίες που θα περιλαμβάνονται στο θεατρικό κείμενο και που εισάγονται εδώ. Ωστόσο η διαθεματικότητα αναδεικνύεται κυρίως ως (1) υπερκείμενος στόχος για τη θετική εικόνα της «σοσιαλιστικής πόλης» της εποχής που περιγράφεται (τέλος δεκαετίας 1950) και (2) ευκαιρία περιγραφής της εικόνας, της μορφής και της θέσης της γυναίκας σε μια σοσιαλιστική κοινωνία.

### "TO MOSCOW... TO MOSCOW": AN IDIOGRAPHIC APPROACH OF A CITY IN THE CONTEXT OF THE EDUCATIONAL CROSS-THEMATIC STUDIES, THROUGH A PLAY PERFORMANCE

Rentzos I.<sup>1</sup>, Kazoukas K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Social Anthropology and History, University of the Aegean

<sup>2</sup>2nd Lyceum, Preveza

### Abstract

The text describes a cross-thematic approach for the theatrical presentation of a subject of geographic teaching, which is focused on the study of a big city, Moscow, and to a smaller extent of another Russian city, Perm. The selected elements are introduced relating to the geography of the Russian space, as well as to Moscow's town planning, architecture, and life. The cross-thematic approach is a result (1) of the theatrical form of teaching and the relevant preparation procedures, as well as (2) of the information included in the theatrical text and introduced here. However, the cross-thematic approach reveals itself mainly (1) as a more general objective for the positive image of the "socialist city" during the time period depicted (late 1950's), and (2) as an opportunity to describe the image, the figure, and the status of women in a socialist society.

**Λέξεις κλειδιά:** Σοσιαλιστική πόλη, γυναικείες σπουδές, Περμ, Μόσχα.

**Key words:** Socialist city, women studies, Perm, Moscow.

### 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια εισήχθη στην Ελλάδα η έννοια της διαθεματικότητας της διδασκαλίας (ΦΕΚ, URL1) και από το σχολικό έτος 2006-07 άρχισε να γίνεται χρήση εγχειριδίων που

προωθούν σχετικές διδακτικές πρακτικές με «διαθεματικές δραστηριότητες». Μερικές από αυτές, στη λογοτεχνία, έχουν επίκεντρο τη γεωγραφική πληροφόρηση, την παρατήρηση της πόλης ή έχουν δημιουργικό χαρακτήρα (Καγιαλής κ.ά., 2006). Επίσης έχουν ήδη δει το φως εκπαιδευτικά δρώμενα ή ανέβηκαν θεατρικές παραστάσεις με στόχο την πολυκλαδική, διακλαδική και διαθεματική διδασκαλία/παρουσίαση μερικών αντικειμένων (Κασσέτας, 2003, 2005).

Μέσα σε ένα γενικότερο πλαίσιο διαθεματικής/διεπιστημονικής παιδαγωγικής, όπου ο ίδιος ο δάσκαλος ειδικότητας ασκεί το δικαίωμά του για διεύρυνση της (μη ειδικής) κουλτούρας του, η διαδικασία που παρουσιάζεται στην εισήγηση αποσκοπεί στη σύνθεση ενός «φακέλου» ως υλικού που θα τύχει επεξεργασίας από μια συγγραφική-σκηνοθετική ομάδα εργασίας στα πλαίσια πανεπιστημιακού μαθήματος διαθεματικής διδακτικής ή εκπαιδευτικού ανεβάσματος ενός έργου. Το έργο θα έχει ως επίκεντρο τη ρωσική πρωτεύουσα Μόσχα, που εμφανίζεται ως αδιάφορη έως αντιπαθής πόλη μεταξύ των μαθητών-μαθητριών των ελληνικών γυμνασίων/λυκείων, όπως προκύπτει από έρευνά μας (Ρέντζος, Ι., 2006). Με το φάκελο γίνεται προσπάθεια αναζήτησης του υλικού για την «ιδιογραφική» περιγραφή της Μόσχας που επιτυγχάνεται διαμέσου του λόγου των πρωταγωνιστών οι οποίοι ζουν στην πόλη αυτή στο τέλος της δεκαετίας του 1950. Ταυτόχρονα διαγράφονται οι στόχοι και οι φάσεις δραματοποίησης

Η ιδιογραφική προσέγγιση της Μόσχας βασίζεται στο ταξιδιωτικό ημερολόγιο που δημοσίευσε το 1956/57 ο έλληνας δημοσιογράφος Παύλος Παλαιολόγος σαν αποτέλεσμα επιτόπιας δημοσιογραφικής-κοινωνικογεωγραφικής έρευνας και της οποίας κάνουμε –ακριβώς μετά πενήντα χρόνια– μια κριτική παρουσίαση. Υποτίθεται ότι στις θεατρικές σκηνές που θα επινοηθούν θα εισαχθούν καταλλήλως επιλεγμένα στοιχεία σχετικά με την ρωσική γεωγραφία, την πολεοδομία μιας γνωστής/άγνωστης μεγάλης πόλης (της Μόσχας), την πνευματική της ζωή, τα καλλιτεχνικά ρεύματα, την ευρωπαϊκότητά της αλλά και το ημίφως και τη νοσταλγία μιας μικρής ρωσικής επαρχιωτικής πόλης (του Περμ), τις ιδέες για την παραγωγή μιας «σοσιαλιστικής πόλης» και τη ζωή σ' αυτή με έμφαση στις σχέσεις μέσα στην πόλη και στο γυναικείο φύλο.

Ας επισημάνουμε εξ αρχής ότι η προτεινόμενη θεατρογραφία, με αφετηρία το έργο «Τρεις Αδελφές» του Α. Τσέχωφ (2004), επικεντρώνεται στη γυναίκα. Τα πρόσωπα είναι κυρίως γυναίκες: γιαγιά, κόρη, εγγονή και άλλα. Αυτό γίνεται (1) για λόγους που θα αναπτυχθούν κατωτέρω αλλά και (2) με βάση το γεγονός ότι τα κορίτσια εκδηλώνουν μια μαθησιακή ιδιαιτερότητα απέναντι στο μάθημα της γεωγραφίας (Ρέντζος, Ι., όπ.π.) οπότε ένα τέτοιο εκπαιδευτικό υλικό, όπως και παρόμοια (Ρέντζος, Γ., 2004), μπορούν να αποτελέσουν κίνητρο ιδιαίτερης ασχολίας τους με το μάθημα της γεωγραφίας (βλ. μέρος 7).

## 2. Από τη «διδασκαλία» του θεάτρου στη διαθεματικότητα του ανθρωπογεωγράφου Άντον Τσέχωφ

Η θεατρογραφική συγκρότηση του υλικού που προτείνουμε αποτελεί μια διαθεματική πρόταση.

Είναι βέβαιο ότι το θέατρο, πριν από την έλευση της διαθεματικότητας, δίδασκε και θα διδάσκει. Διδάσκει την πόλη. Με τη διπλή σημασία της έκφρασης αυτής, αφού 1) δασκαλεύει τους κατοίκους των πόλεων στις οποίες αναδύθηκε ή διαδόθηκε η θεατρική τέχνη ενώ 2) πάντα αξιοποιεί τη σκηνική παράσταση της πόλης και την εξωσκηνική αναφορά της. «Ο εχθρός του λαού» του Ερρίκου Ίψεν ζει σε μια μικρή πόλη της Νορβηγίας που τη βλέπουμε ζωντανά στη σκηνή. Όχι βέβαια σαν καρτ-ποστάλ αλλά σαν ανθρώπινη ουσία. Στο έργο προσεγγίζεται η αλήθεια για τη διαχείριση των κοινών. Η μικρή πόλη έχει αναγάγει τα ιαματικά της λουτρά σε επικερδή επιχείρηση. Όμως ο ιατρός Στόκμαν διαπιστώνει ότι το νερό έχει μολυνθεί και προτείνει ανακατασκευή του συστήματος ύδρευσης. Κανείς δεν θέλει να αναλάβει τα έξοδα. Αν όμως η ύδρευση δεν αλλάξει και η αλήθεια διαρρεύσει θα

επακολουθήσει μεγάλη οικονομική ζημιά.

Πόλεις μικρές αλλά και μεγάλες, άλλες επώνυμα και άλλες ανώνυμα, ή γειτονιές και συνοικίες, ανεβαίνουν στη σκηνή και αισθητοποιούν ανθρώπινες καταστάσεις. Μερικοί τίτλοι θεατρικών έργων είναι εύγλωττοι: *Η πόλη* (της Λούλας Αναγνωστάκη), *Η μικρή μας πόλη* (του Θόρντον Ουάλντερ), *Μια ιστορία από το Ιρκούτσκ* (του Αλεξέι Αρμπούζοφ). Σε άλλα έργα η τραγικότητα των πόλεων είναι βαθύτερα κρυμμένη στο κείμενό τους. Πρέπει να ψάξει κανείς για να βρει τις «πόλεις του εμποράκου» του Άρθουρ Μίλλερ και να τις σημασιοδοτήσει (Ρέντζος, Γ., 2006), ενώ ή πόλη στην οποία είναι χωροθετημένη *Η Αυλή των θαυμάτων* του Ιάκωβου Καμπανέλλα είναι ολοφάνερα η ελληνική μεγαλούπολη της σαρωτικής αντιπαροχής.

Είναι χρήσιμο να υπενθυμίσουμε εδώ και μια ενδιαφέρουσα θεατρική δημιουργία στην Αθήνα (performance) με αφητηρία το έργο του αμερικανού πολυεδούμου και συγγραφέα Μάικ Ντέιβις. Ο συγγραφέας αυτός είναι πολύ γνωστός για την κριτική που έχει ασκήσει στη δομή και τη λειτουργία της «αμερικανούπολης» Λος Άντζελες (Davis, 1990· 1998· 2002) και, πρόσφατα, ενέπνευσε την Αλεξάνδρα Παπαγεωργίου και τους συνεργάτες της (Αναστασόπουλος, 2006). Όχι τόσο για να αναπαραστήσουν σε μια ελληνική σκηνή μια μεγάλη ξένη πόλη, αλλά για να υποδείξουν στον έλληνα θεατή ότι πολλά από τα δεινά που επισημαίνει ο Ντέιβις στο «L.A.» έχουν αρκετή ελληνικότητα. Τα συναντούμε και στις δικές μας πόλεις. Και μάλιστα πολλαπλασιάζονται.

Το θέατρο, λοιπόν, και μαζί με αυτό κάθε δημιουργία, όπως ο κινηματογράφος, η λογοτεχνία ή η ζωγραφική, χαρακτηρίζονται από αξεπέραστες δυνατότητες διαθεματικότητας και στοχοθεσίας που υπαγορεύονται από την ανάγκη να ξεδιπλώσουν με τα εκφραστικά μέσα τους την κεντρική δημιουργική ιδέα γύρω από την οποία συσπειρώνεται το έργο. Κατά την έννοια αυτή και εφόσον υπάρχει μια υπερκείμενη παιδαγωγική, ανθρωπιστική ή διαφωτιστική ιδέα, η εκπαιδευτική διαθεματικότητα, όποια και αν είναι τα μέσα της, αντί απλά να ξανοιχτεί προς εγκυκλοπαιδικές και εξωραϊστικές προσθήκες ή ρηχές και ανώφελες οριζόντιες συσχετίσεις μπορεί να υπηρετήσει υψηλόπνοους διαθεματικούς στόχους.

Και μάλιστα είμαστε πολύ κοντά στους διεπιστημονικούς ανθρωπογεωγραφικούς στόχους αφού πράγματι, η επιλογή της τσεχωφικής δημιουργίας ως αφητηρίας μάς προσεγγίζει στη διεπιστημονικότητα του ιατρού Άντον Τσέχωφ. Αυτός ήταν εκείνος που πραγματοποίησε μια σημαντική κοινωνιολογική, ψυχολογική, γεωγραφική και εθνογραφική μελέτη με το μεγάλο ταξίδι που επιχείρησε το 1890 στη Νήσο Σαχαλίνη, για να μελετήσει τις συνθήκες διαβίωσης των καταδίκων του τσαρικού καθεστώτος (Tchékhof, 2001). Μας υπενθύμιζε μάλιστα πως χρειάστηκε να είναι γεωλόγος, μετεωρολόγος και εθνογράφος ταυτόχρονα, αφού, γι' αυτόν, το πρότυπο υπήρχε: «Στον Γκκαίτε, δίπλα στον ποιητή», υποστήριζε «συνυπήρχε αρμονικά και ο φυσιοδίφης» (Laffite, 1957).

### 3. Από το Περμ της τσαρικής Ρωσίας στη Μέκκα του παγκόσμιου κομμουνισμού: Φυγή προς τη Μόσχα!

Αφητηρία της επεξεργασίας μας αποτελεί, όπως είπαμε, το έργο του Τσέχωφ «Τρεις αδελφές» (1901). Σ' αυτό έχουμε μια δημιουργία που βασίζεται στη «φούγκα» (κυριολεκτικά «φυγή» και μουσικολογικά «ανάπτυξη του θέματος με παραλλαγές» [Πλωρίτη, 2004]), όπου προβάλλεται ένας φαινομενικά χωρικός, γεωγραφικός «στόχος ζωής», δηλαδή η ρωσική πρωτεύουσα που αντιπροσωπεύει ένα χωρικό αντικείμενο επιθυμίας που πρέπει να προσπελαστεί ή, μεταφορικά, ένα ιδανικό που πρέπει να υπηρετηθεί ή να κατακτηθεί. Δια της φυγής προς τη Μόσχα.

Αυτά δραματοποιούνται από ένα συγγραφέα για τον οποίον έχει επισημανθεί ότι η Μόσχα υπήρξε η κατ' εξοχήν θεατρική αναφορά πόλης σε όλο το παγκόσμιο δραματολόγιο όπως ακριβώς υποστηρίζει ο Harai Golomb (1994). Άλλωστε ο θεατής του έργου «Τρεις αδελφές» μπορεί να επισημάνει σε πόσες παραλλαγές ακούει σε αυτό τη φράση «στη Μόσχα!» –που μας προσέφερε και τον τίτλο του θεατρικού σχεδιάσματος– για τη φυγή προς αυτή την πόλη.

Αυτή αντιπαράκειται τόσο στην πρωτεύουσα Αγία Πετρούπολη, όσο και στην μικρή πόλη, όμοια με το Περμ (βλ. κατωτέρω) όπου κατοικούν οι ηρωίδες. «Ποιητική αδεία», στο δικό μας προτεινόμενο σχέδιασμα, ο «διαθεματιστής» εκπαιδευτικός, διδάσκαλος της πόλης, εγκαθιστά τις ηρωίδες του στην πόλη των ονείρων τους, τη Μόσχα, και παρακολουθεί τη ζωή τους μερικές δεκαετίες μετά. Εκπλήρωσαν αλήθεια το όνειρό τους ή μήπως ο στόχος τους ξεφεύγει διαρκώς; Τι, αλήθεια, αναζητούσαν;

Δεν χρειάζεται να υπενθυμίσουμε ότι η έννοια της Μόσχας, επί πολλές δεκαετίες κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα, αποτέλεσε και συμβολισμό για το σοσιαλισμό, το παγκόσμιο κομμουνιστικό κίνημα και τη σοσιαλιστική πόλη. Οι ιδέες αυτές αναμένεται και μπορεί να συμπεριληφθούν σε μια σχετική (όπως αυτή εδώ) θεατρογραφική διαθεματική δοκιμή. Ειδικότερα, σε ό,τι αφορά την αστική γεωγραφία και τη σοσιαλιστική πόλη, έννοια της οποίας η επεξεργασία έγινε κατά κύριο λόγο στη Ρωσία/Σοβιετική Ένωση (Τσουλουβής, 2003), γνωρίζουμε ότι η ίδια η Μόσχα αποτέλεσε, στα πρώτα χρόνια μετά την Επανάσταση (1917), πεδίο συζητήσεων και αντιπαραθέσεων (καθώς και προτάσεων «αποπολεοδόμησης» και «παρκοποίησης») ώστε να εκφράσει έτσι, αυτή η ίδια η μεγαλούπολη, την έννοια της σοσιαλιστικής πόλης (Κορρ, 1976). Εξάλλου, μπορεί να γίνει αναφορά και στην έννοια της μικρής πόλης με το όπτιμουμ, κατά Ένγκελς, των 20.000 κατοίκων (Σαρηγιάννης, 2003), που στην περίπτωση μας φαίνεται ότι το εκφράζει –σε κάποια ενδιάμεση εποχή– το Περμ.

Με κεντρική χρονολογική αναφορά το τέλος της δεκαετίας του 1950, επιχειρούμε να τεκμηριώσουμε το περιεχόμενο του θεατρικού έργου (ή σωστότερα μερικών εναλλακτικών μονόπρακτων ή μερικών δοκιμαστικών σκηνών) με βάση ένα ελληνικό εκδοτικό τεκμήριο εκείνης της εποχής που με μεγάλη διεισδυτικότητα απογράφει τη ζωή στη ρωσική/σοβιετική πρωτεύουσα, εκεί όπου κατοικούν τώρα οι ηρωίδες μας. Πρόκειται για τις εντυπώσεις που κατέθεσε ο πεπειραμένος δημοσιογράφος Παύλος Παλαιολόγος μετά από ταξίδι στη Μόσχα και άλλες πόλεις (Λένινγκραντ, Στάλινγκραντ/Βόλγκογκραντ, Ρίγα) με τη μορφή δημοσιευμάτων στην πρωινή εφημερίδα Το Βήμα και μια κατοπινή αναδημοσίευσή τους, το 1957 (Παλαιολόγος, 1957).

Ο Παύλος Παλαιολόγος (1895-1984) επισκέφτηκε τη Σοβιετική Ένωση το καλοκαίρι του 1956 ως μέλος μιας εννεαμελούς αποστολής, προσκαλεσμένος μαζί με τον ποιητή Γιάννη Ρίτσο, το φωτογράφο Σπύρο Μελετζή, τους καθηγητές του Α.Π.Θ. Γ. Βάρβογλη (Οργανικής χημείας) και Ν. Εμπειρίκο (Φυσικής, του οποίου οι εκτιμήσεις θα του χρησιμεύουν πολύ για να αναφερθεί στο σοβιετικό επιστημονικό οργανισμό εκείνης της εποχής) καθώς και άλλα αξιόλογα μέλη. Επισκέπτης της χώρας αυτής κατά την πρώτη φάση της μετά τον Στάλιν εποχής και λίγους μήνες μετά το περίφημο 20<sup>ο</sup> Συνέδριο του Κομμουνιστικού Κόμματος της Σοβιετικής Ένωσης (Φεβρουάριος 1956, «αποσταλινοποίηση»), ο «αστός» αυτός διανοούμενος μας προσέφερε ένα σημαντικό έργο.

Χωρίς, προφανώς, να έχει πρόθεση να εκθειάσει τη χώρα και το σύστημά της, όπως το δηλώνει συχνά, ο Παλαιολόγος περνάει όλα τα στοιχεία που παρατηρεί από ένα διπλό κόσκινο. (1) Καταδικάζει την αστήριχτη συστηματική δυσφήμιση που υφίσταται η Σοβιετική Ένωση από τους αστούς αντιπάλους της και (2) ελέγχει τις υπερβολές περί «σοσιαλιστικού παραδείσου» εκ μέρους των θιασωτών αυτού του κοινωνικού προτύπου. Πάντως, ενώ δεν παραλείπει να αποσαφηνίσει τη θέση του ως αστού/φιλέλευθερου διανοούμενου με επιμονή 1) στα ιδεολογικά ζητήματα της «ελευθερίας» και 2) τη δυσαρέσκεια του για τη λειτουργία του «κόμματος», το ισοζύγιο της έκθεσής του παραμένει, για κείνη την εποχή «θετικό». Ας συσχετίσουμε χρονολογικά και μόνο το 24,5% της ελληνικής αριστεράς (ΕΔΑ) στις εκλογές του 1958 καθώς και την απονομή του Βραβείου Νόμπελ, την ίδια εκείνη χρονιά, στον Πάστερνακ για το έργο του «Δόκτωρ Ζιβάγκο». Αυτός ο τελευταίος, παιδί του Περμ, ήταν τόσο κοντινός στα πρόσωπα του έργου μας.

#### 4. Σαν σε παρένθεση: Περμ, η ευρωπαϊκή πύλη της Ρωσίας στην Ασία

Μαζί με τη φυγή/φούγκα, που είπαμε, υπάρχει στο τσεχωφικό έργο και η «αντίστιξη» ως

έκφραση της αναντιστοιχίας επιθυμιών και πράξεων. Το αντίθετο της Μόσχας εκφράζεται στο έργο αυτό με την πόλη που αποτελεί τον τόπο κατοικίας των τριών κοριτσιών. Ποια ήταν αυτή η πόλη που δεν ακούμε ποτέ το όνομά της; Κατά τον ίδιο τον Τσέχωφ, όπως φαίνεται από επιστολή του προς στον Μάξιμ Γκόρκι, θα μπορούσε αυτή να αναπαρασταθεί, με τη μορφή και τη ζωή του Περμ (Frayn, 2004). Επιλογή που δεν θα πρέπει να είναι τυχαία λόγω ίσως και της θέσεώς του Περμ στα ασιατικά όρια της ρωσικής Ευρώπης. Αυτή ακριβώς η επιλογή μπορεί να μας οδηγήσει να συμπεριλάβουμε στη διαθεματική επεξεργασία και την έννοια της «ευρωπαϊκότητας» της Ρωσίας (Ρέντζος & Σπανός, 2004), έννοια που είναι συμπαθής και σε έλληνες διανοούμενους (Γιανναράς, 2004). Όσο για τους γεωγράφους, η διηπειρωτική ταυτότητα της Ρωσίας (Ευρώπη/Ασία) είναι μια απλή γεωπολιτική κατασκευή «δι' εσωτερικήν κυρίως χρήση» (Lévy, 1997).

Είναι ενδιαφέρον να αντιληφθούμε τι ακριβώς αντιπροσωπεύει το Περμ κατά την εποχή που συμπίπτει με τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και τις αρχές του 20<sup>ου</sup>, δηλαδή κατά την εποχή κατά την οποία (1901) γράφηκε το θεατρικό έργο «Τρεις αδελφές». Από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα ήδη το Περμ (URL2, URL3, URL4) είναι εμπορικό και βιομηχανικό κέντρο με πληθυσμό 20.000 κατοίκων ενώ το 1870 ιδρύεται σ' αυτό μια όπερα και το 1880 ο πληθυσμός της αναφέρεται ίσως με 32.000 κατοίκους. Το Κρατικό Πανεπιστήμιο του Περμ, γνωστό εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας, επρόκειτο να ιδρυθεί το 1916, ακριβώς ένα χρόνο πριν ξεσπάσει η Οκτωβριανή Επανάσταση, στις 14 Οκτωβρίου 1916. Έκφραση της γεωπολιτικής σημασίας που απέδιδαν οι κεντρικές Αρχές και της προσπάθειας των τοπικών παραγόντων, στο κέντρο μιας περιοχής με υψηλό βιομηχανικό και εξορυκτικό δυναμικό, η ίδρυση του πανεπιστημίου αποδεικνύει ότι η πόλη αποτελούσε στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα ένα εξαιρετικά αναπτυσσόμενο αστικοβιομηχανικό σύμπλεγμα.

Στους πρόποδες των Ουραλίων και στις όχθες του ποταμού Κάμα, το Περμ είναι η περισσότερη ανατολική πόλη της Ευρωπαϊκής Ρωσίας, δηλαδή μια πόλη που ενώνει την Ευρώπη με την Ασία. Η περιφέρειά της αναφέρεται συνήθως ως Ευρασία. Κατά την περίοδο 1940-1955 η πόλη έχει το όνομα του υψηλόβαθμου σοβιετικού στελέχους και υπουργού Εξωτερικών Μολότωφ, στενού συνεργάτη του Στάλιν και γνωστού από την υπογραφή του «Συμφώνου περί μη επιθέσεως» με τη χιτλερική Γερμανία.

Το Περμ είναι γνωστό από το *πέρμιο*, την τελευταία γεωλογική περίοδο του παλαιοζωικού αιώνα, πριν 290 έως 245 εκατομμύρια χρόνια, κατά την οποία έλαβε χώρα ο σχηματισμός της οροσειράς των Ουραλίων. Ονόματα γνωστά στην ιστορία της τέχνης και της επιστήμης συνδέονται με την πόλη αυτή, όπως ο Σεργκέι Ντιάγκιλεφ (1872-1929) που, με τις καλλιτεχνικές και επιχειρηματικές πρωτοβουλίες του, κατέστησε το συμφωνικό μπαλέτο υψηλή μορφή έκφρασης, ο φυσικός και ηλεκτροτεχνικός Αλεξάντρ Ποπόφ (1859-1905) που θεμελίωσε πρακτικά τη ραδιοφωνία και ο Μπαρίς Πάστερνακ (1890-1960), ποιητής και πεζογράφος καθώς και μεταφραστής υψηλού επιπέδου, γνωστός από το μυθιστόρημά του «Δόκτωρ Ζιβάγκο» που βραβεύτηκε με Νόμπελ την εποχή ακριβώς που πραγματεύεται η μελέτη μας (1958).

Το σημερινό Περμ μολονότι είναι μια από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ρωσίας (13<sup>η</sup> με 976.116 κατοίκους σε εκτιμήσεις του 2006) βρίσκεται σε φάση συνεχούς μείωσης του πληθυσμού (1.001.653 το 2002 και 1.090.944 το 1989).

## 5. Η Μοσχοβίτικη πολεογραφία του Παύλου Παλαιολόγου προβλέπει τον Σπούντικ...

Στο ημερολόγιο του ταξιδιού του Παύλου Παλαιολόγου γίνεται ιδιαίτερη προσπάθεια να απογραφούν τα άμεσα στοιχεία διαβίωσης των Σοβιετικών και οι ορατές συνθήκες λειτουργίας της σοβιετικής κοινωνίας. Με ενδιαφέρον κοινωνικού και πολιτισμικού γεωγράφου, ο διαπρεπής εκείνος δημοσιογράφος αποσκοπεί ιδιαίτερα στην απογραφή στοιχείων που ξεφεύγουν από το εγκυκλοπαιδικό και το εντυπωσιακό. Οι παρατηρήσεις του γίνονται εκεί όπου είναι «ο δρόμος, οι άνθρωποι, η έκφραση, η ατμόσφαιρα μέσα στην οποία κινείται ο

κόσμος» (20). Και μάλιστα, καλύτερα και από γεωγράφο, ο Παλαιολόγος περιφέρεται στη Μόσχα «με την περιέργεια του παιδιού» (105).

Βραβευμένος με εθνικό βραβείο ταξιδιωτικών εντυπώσεων, γεννημένος στην Κωνσταντινούπολη και σπουδασμένος στην Αθήνα και το Παρίσι, ο Παλαιολόγος αμφισβητεί την πολεογραφική σημασία του θεαματικού χαρακτήρα της πόλης και αναρωτιέται αν πόλη «είναι τα αρχιτεκτονήματα, τα παλάτια, τα ιστορικά μνημεία, τα μουσεία, οι ναοί της». Η απάντησή του; «Δεν παθαίνει στο νόημα της Αθήνας ανεβαινοντας στην Ακρόπολη. Στο νόημα θα μπεις όταν κέντρο, ξεμακρύνεις στις γειτονιές, προσμιχθείς με το ανώνυμο πλήθος και γίνεις ένα μαζί του» (25). Ίσως μόνον ο Τσίρκας θα μπορούσε να συμπληρώσει και να βελτιώσει αυτό το περιηγητικό ιδανικό με τις δικές του προτάσεις όταν επισκεπτόταν την Αλεξάνδρεια του Πλουτάρχου και των βαμβακάδων, των λιμενεργατών και των δρόμων που δεν ήξερε που βγάζουν (Τσίρκας, 1985).

Ο Παλαιολόγος λοιπόν φροντίζει να μην είναι τουριστική η περιοδεία του. Δεν δίνει σελίδες «ταξιδιωτικές στις οποίες η λογοτεχνική σύνθεση του κειμένου αποτελεί τη βασική μέριμνα του συντάκτη» (60) τους. «Σταθμοί, αεροδρόμια, πλατείες, λεωφόροι, καταστήματα, μετρό, εργοστάσια, αγορές, εκκλησίες ακόμα» (23) είναι οι χώροι της επιτόπιας πολεογραφικής μελέτης του. Έκανε λοιπόν ο συγγραφέας μας «μελέτη, ανίχνευση, έρευνα, παρατήρηση» (93). Παρατήρηση των ανθρωπολογικών τύπων –«το σοβιετικό άνθρωπο ψάχνω [...]» (105), της ένδυσής τους –«ντύνονται για να μην είναι γυμνοί· το ρούχο δεν είναι μέσο προβολής ή έλξεως, είναι κάλυμμα» (22), των εργαζομένων αντρών –«αξιοπρεπής και περήφανος, αλλά χωρίς αυθάδεια ο σοβιετικός εργάτης» (104), των ρωσίδων και σοβιετικών γυναικών –«υγιείς, ροδαλές, καθαρές, φρέσκες, καλοδεμένες, αγαθές· σπάνια όμως συναρπαστικές» (104). Και ακόμα των στεγαστικών συνθηκών –«του λείπει η άνετη στέγη [του σοβιετικού πολίτη]» (23) καθώς και των καταστημάτων –«βιβλιοπωλεία είναι τα πιο επιβλητικά καταστήματα των σοβιετικών πόλεων» (88) αλλά και των μαγαζιών με τις ατέλειωτες ουρές –τόσο γνωστές από την ιστορία και τη γεωγραφία της σοβιετικής πόλης όσο και το περίφημο Κρατικό Γενικό Κατάστημα (ΓΥΜ, γκουμ), το μεγαλύτερο της μεγαλύτερης χώρας του κόσμου, απέναντι από το Κρεμλίνο. Παρατηρεί άλλωστε, ο Παλαιολόγος, ανάμεσα στα άλλα, και την έλλειψη καφεενέδων, καφενείων και καφέ. Ένα που βρίσκει είναι για μη καπνιστές! Από τότε.

Φυσικά δεν διέφυγαν της προσοχής του παρατηρητή μας όλες εκείνες οι παρεμβάσεις στο χώρο της πόλης που κατά κάποιο τρόπο αποτέλεσαν υλική έκφραση των θεσμών της σοβιετικής κοινωνίας στο επίπεδο της σοσιαλιστικής πόλης. Το μοσχοβίτικο μετρό, το Πάρκο Πολιτισμού και Ανάπαυσης Γκόρκι, η Βιβλιοθήκη Λένιν. Τι θαυμασμός, αλήθεια, εκφράζεται στο κείμενο του Παλαιολόγου για το μετρό. Ομολογεί εκεί ο συγγραφέας μας πως για το γιγάντιο συγκρότημα έργων τέχνης, που διακοσμούν τις στοές του μεγάλου αυτού συγκοινωνιακού έργου, έγινε «πιο σοβιετικός από τους σοβιετικούς» (53) με τους επαίρους του. Τι συγκίνηση, ακόμα, εκφράζει για τα πάρκα πολιτισμού –«πάρκα της αγνής χαράς» (41) όπως τα ονομάζει: «Σε συνεπαίρνει το αγαθό, καταλαβαίνεις τη δύναμή του, νιώθεις την ανάγκη ν' ανταλλάξεις αδελφικό ασπασμό με τους ομοίους σου» (22).

Μαζί με τη Βιβλιοθήκη Λένιν, τη «μεγαλύτερη βιβλιοθήκη της Ευρώπης» (52), με ωράριο λειτουργίας 07.00 π.μ. με 11.00 μ.μ., που πάντως είναι μία μόνο από τις δυόμιση χιλιάδες βιβλιοθήκες της Μόσχας, ο Παλαιολόγος περνά ευλαβικά το κατώφλι του Πανεπιστημίου Λομονόσωφ, ιδρυμένο το 1755 από το Μιχαήλ Λομονόσωφ (1711-1765). Ας πούμε, στα πλαίσια της διαθεματικότητας, πως ο Λομονόσωφ είναι ο «πρώτος ρώσος φυσικός», επονομασθείς «πατέρας της σύγχρονης ρωσικής λογοτεχνίας» και μεγάλο καθολικό (universal) πνεύμα της εποχής του που από μόνος του ο άνθρωπος αυτός, κατά τον ρώσο ποιητή Πούσκιν, υπήρξε «το πρώτο ρωσικό πανεπιστήμιο» (Eliseev, 1961). Ο θαυμασμός του Παλαιολόγου για το μοσχοβίτικο πανεπιστήμιο είναι ανυπόκριτος και εξισωτικός: «Οι πόλεις» μας λέγει, «έχουν τα σύμβολά τους. Τον Παρθενώνα εμείς. Το πανεπιστήμιο η Μόσχα» (57).

Ο λόγος γίνεται για το εντυπωσιακό κτίριο που επί πολλά χρόνια ήταν το υψηλότερο της ευρασιατικής ηπείρου (240 μέτρα) και στεγάζει τις θετικές επιστήμες. Τις *σοβιετικές* θετικές επιστήμες που λίγους μήνες μετά την έκδοση του βιβλίου που σχολιάζουμε, στις 4 Οκτωβρίου 1957, θα εξέπλησαν την ανθρωπότητα με τα *μπιπ-μπιπ* του πρώτου γήινου τεχνητού δορυφόρου «Σπούτνικ» τους.

## 6. Κοιτάζοντας τη Μόσχα από τις κορυφές του σταλινικού επταπυργίου

«Στο ενδιαμέσο μεταξύ πνευματικού και λειτουργικού», κομμάτι λαμπρό της σταλινικής αρχιτεκτονικής, το κτίριο του Πανεπιστημίου Λομονόσωφ, συμβιβάζει επίσης «το δεσποτικό με το λαϊκό» (Nivat, 2002). Για το γνώστη της μοσχοβίτικης αρχιτεκτονικής, επτά παρόμοια με το πανεπιστήμιο κτίρια ενσάρκωσαν πτυχές του πολεοδομικού και αρχιτεκτονικού ονείρου του Ιωσήφ Στάλιν στο τέλος της δεκαετίας του 1940. Τα υπόλοιπα έξι παρόμοια κτίρια, που βρίσκονται διάσπαρτα στον κεντρικό χώρο της ρωσικής πρωτεύουσας, έχουν άλλες χρήσεις. Είναι το υπουργείο Εξωτερικών, ξενοδοχεία όπως το Λενινγκράτσακγια και Ουκράινα, καθώς και το «Ψηλό Σπίτι» της Αποβάθρας των Λεβητοποιών (Κατέλνιτσεσκαγια Ναμπερέζναγια). Αυτό πρώτο υψώθηκε θριαμβευτικά προς το μοσχοβίτικο ουρανό και χρησιμεύει ως συγκρότημα 800 διαμερισμάτων-κατοικιών με πρόβλεψη για 3.500 άτομα. Σε ένα τέτοιο διαμέρισμα θα κατοικούν οι ήρωες του έργου μας.

Εύκολα θα μπορούσε να υποστηριχθεί πως το «Ψηλό Σπίτι» και τα όμοια κτίρια αποτελούν περισσότερο στοιχεία εντυπωσιακής μνημειακής αρχιτεκτονικής –που με υπερβολή αντιπαράτιθενται στους ουρανοξύστες του Νέου Κόσμου– παρά προτάσεις δόμησης της σοσιαλιστικής πόλης. Είναι ωστόσο περίεργο που οι εικόνες αυτών των εντυπωσιακών μοσχοβίτικων κτισμάτων δεν βρήκαν την εκλαΐκευση που άξιζαν κάνοντας το γύρο του κόσμου ως σύμβολο της πόλης, όπως δηλαδή έγινε με τη συστηματική και τυποποιημένη προβολή των εικόνων του Μανχάταν. Ούτε άλλωστε και η διαπλατυσμένη Τβέρσακγια (Latour, 2002) μετονομασμένη σε «Οδό Γκόρκι», που οδηγούσε στην πόλη Τβερ (που και αυτή είχε μετονομαστεί σε Καλίνιν, που δεν συγχέουμε με το Καλίνινγκραντ/Κένιγκσμπεργκ, την πατρίδα του δικού μας γεωγράφου-παιδαγωγού Εμμ. Καντ), εμφανιζόταν ποτέ.

Όσον αφορά τα μεγάλα κτίρια, ας υπενθυμίσουμε εδώ ότι η γνωστή καταστροφική δράση της 11ης Σεπτεμβρίου 2001, δηλαδή η αυτοκτονική επίθεση στους διδυμούς πύργους του Κέντρου Παγκοσμίου Εμπορίου στο Μανχάταν, έφερε στην επιφάνεια την –κατά βάθος– ανθρωπολογική συζήτηση σχετικά με τη σύλληψη ψηλών κτιρίων που υποδηλώνουν υπεροχή ενώ βέβαια ικανοποιούν και λειτουργικές «συσσωρευτικές» ανάγκες της καπιταλιστικής οικονομίας. Εξάλλου, το δυσθεώρητο ύψος τους συμπίπτει με τις υψηλές τιμές γης στο κέντρο της καπιταλιστικής πόλης. Τι τους χρειαζόταν τους υπερήφανους πύργους η σοσιαλιστική Μόσχα;

Είναι χαρακτηριστική σχετικά η κατάθεση του William Mitchell, κοσμήτορα της Σχολής Αρχιτεκτονικής και Πολεοδομίας του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT), που σχολίαζε με τόλμη τις γιγάντιες κτιριακές παρεμβάσεις μιλώντας για «παιδικισμό». Σε σχετικό κείμενό του, πράγματι, ο Mitchell τολμά να αναφερθεί στα μεγάλα παράθυρα που αντικαθιστούν τα τοιχώματα στα ουρητήρια στην κορυφή του ουρανοξύστη πολυτελούς ξενοδοχείου του Χονγκ-Κονγκ ώστε από το ύψος του ουρανοξύστη ο ανακουφίζομενος να θαυμάζει την πόλη (Mitchell, 1998). Η επιτόπια έρευνα που κάναμε στο κτίριο της Κατέλνιτσεσκαγια Ναμπερέζναγια (I.P., Αύγουστος 2003) μας επέτρεψε να υποθέσουμε ότι εκεί δεν υπήρχαν τέτοιες κατασκευαστικές εξυπηρετήσεις.

## 7. Στοχοθετώντας μια διαθεματική παράσταση με κέντρο την πόλη και τους ανθρώπους της

Κεντρική μας θέση είναι ότι η χαλαρότητα την οποία ενδέχεται να εισαγάγει στο καθιερωμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα (ωράριο) η διαθεματικότητα μπορεί να ισοφαριστεί

μόνο με μια υπερκείμενη στοχοθεσία που υπερβαίνει τα επιμέρους πολυκλαδικά («πολεογνωστικά») στοιχεία (π.χ. πολεοδομία, αρχιτεκτονική, τοπική ιστορία) και προσφέρει κάτι περισσότερο. Προκύπτει έτσι μεγάλο κέρδος. Στην περίπτωση της μελέτης της πόλης, εκτός από κάποιους επιμέρους γνωστικούς στόχους, για τους οποίους δεν θα χρειαζόταν η διαθεματική παρέμβαση, υψηλότεροι συναισθηματικοί στόχοι (Bloom & Krathwohl, 1991) σχετικοί με τη λειτουργία της πόλης (δηλαδή, εν τέλει, της κοινωνίας) μπορούν να υπηρετηθούν καλύτερα με τη διαθεματικότητα. Η διαθεματικότητα στην πόλη μπορεί να αναγάγει το γνωστικό sightseeing σε υψηλόπνοο μάθημα.

Χρειάζεται εδώ να αναφερθούμε στις έρευνες του Ρόμπερτ Λιβάνιν (Levine, 2003) σε πολλές πόλεις (στις οποίες δεν συμπεριλαμβάνεται ούτε η Μόσχα ούτε η Αθήνα) που πειραματίστηκε αναζητώντας τις «καλές» και τις «κακές» πόλεις του κόσμου. Οι παρατηρήσεις που έκανε ο ερευνητής μας βασίστηκαν στις αντιδράσεις του διερχόμενου κοινού (1) μπροστά σε ένα (δήθεν) αφηρημένο διαβάτη που του πέφτει ένα μολύβι, (2) σε ένα (δήθεν) καταγματία με πόδι στο γύψο που του πέφτουν κάτι έντυπα και (3) μπροστά σε έναν (δήθεν) τυφλό που ετοιμάζεται να περάσει μια διάβαση. Οι κάτοικοι των διαφόρων πόλεων αντέδρασαν κατά ποικίλους τρόπους ανάλογα με τον πληθυσμό, την πυκνότητα πληθυσμού και το κατά κεφαλή εισόδημα των χωρών. Οι πλουσιότερες, μεγαλύτερες και πυκνότερες πόλεις φάνηκαν λιγότερο ευγενικές, αλλά σε κάθε πόλη/κουλούρα το άτομο που θα τύγχανε στατιστικά μεγαλύτερης βοήθειας (ο τυφλός, ο καταγματίας ή ο υγιής αλλά αφηρημένος) διέφερε. Τι γίνεται αλήθεια στη «σοσιαλιστική πόλη»; Και αν μάλιστα ο ανήμπορος είναι «ξένος»;

Τέτοια στοιχεία δεν μπορέσαμε, φυσικά, να αντλήσουμε από το κείμενο του Παλαιολόγου. Γενικότερα, σε σχέση με την περιγραφή της πόλης όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον απλό άνθρωπο ως κάτοικο του αστικού χώρου, ως κοινότυπο χρήστη του και ως αποδέκτη της ομορφιάς και της ασχήμιας του ή του καλού και του κακού, οι τοποθετήσεις του Παλαιολόγου είναι μάλλον λιγιστές. (Φυσικά δεν ξεχνάμε τον ενθουσιασμό του και το δοξαστικό του ξέσπασμα στο Πάρκο Γκόρκι). Όπως συνήθως γίνεται σε κείμενα περιγραφής της ζωής των πόλεων, δεν καταγράφονται παρατηρήσεις για τη σχέση με τον εγγύς και τον «πλησίον» της πόλης, τη βατότητα των πεζοδρομίων και την κατάσταση τους, τη προσβασιμότητα/πρόσβαση στην πόλη εκ μέρους των αναπήρων, τις εικονογραφικές και κειμενογραφικές καλύψεις των επιφανειών της πόλης, την καθαριότητα των δημόσιων χώρων, τη δημόσια εικαστική τέχνη (που εκθειάζει επώνυμους άντρες πάντα) και την αναπαράσταση της (συνήθως ημίγυμνης και πάντα ανώνυμης) γυναίκας, την οδωνυμία, τη θέα/θέαση των αρχιτεκτονημάτων ή το σύνθετο ζήτημα κατά πόσο η πόλη που περιγράφεται είναι όμορφη.

Στην παρούσα κατάσταση της ελληνικής πόλης, κυρίως της μεγάλης πόλης, η στοχοθεσία μιας θεατρικής διδακτικής παρέμβασης πρέπει να βασιστεί και σε τέτοια στοιχεία ευαισθητοποίησης απέναντι στον ανοιχτό δημόσιο χώρο. Θα σταθούμε λίγο εδώ σε ένα από τα ζητήματα αυτά που σχετίζεται με την παρουσία της γυναίκας σε μια σοσιαλιστική πόλη (στο βαθμό που αυτή αποτελεί πιστή εικόνα της κοινωνίας). Κάτι τέτοιο δεν είναι άσχετο με το θέμα μας αφού, όπως είναι γνωστό, το «γυναικείο ζήτημα» αποτέλεσε ειδικό αντικείμενο στη θεωρία του σοσιαλισμού (Μαρξ, Ένγκελς, Λένιν, 1987<sup>6</sup>: Marx-Aveling & Aveling, 1986). Εξάλλου, ο Έλληνας/η ελληνίδα παιδαγωγός και γεωγράφος στο βαθμό που «επιζητεί να αλλάξει τις ανισότητες φύλου (gender inequalities) τόσο στην ανθρωπότητα όσο στο γεωγραφικό κλάδο» (Blunt & Wills, 2000) είναι ευαίσθητος/ευαίσθητη απέναντι στη θλιβερή ελληνική ανθρωπογεωγραφία της σωματεμπορίας που έχει ως θύματά της πολλές χιλιάδες γυναικών, όπως Ρωσίδες και Ουκρανές (URL5, URL6), που προέχονται από την ηττημένη στον ψυχρό πόλεμο Σοβιετική Ένωση. Έδειχνε η κοινωνία αυτή ότι ήταν ευάλωτη σε μια τέτοια «ηθική» καταστροφή; Μήπως τα σοσιαλιστικά ιδεώδη «προάγουν» την ελευθεριότητα; Ποια ήταν η θέση του Παλαιολόγου;

Η Ρωσίδα, ως παρουσία και εμφάνιση, κίνηση και δράση, σε όλες της ποικίλες μορφές της γυναίκας στο σύγχρονο πολιτισμικό περιβάλλον, γίνεται αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής,



κριτικής προσέγγισης και συγκριτικής προτυποποίησης εκ μέρους του Παλαιολόγου –«πόσες φορές δεν προχωρούσαμε σε συγκρίσεις με τα "καθ' ημάς" και δεν ευχηθήκαμε ανάλογη απλότητα να επικρατήσει και στις δικές μας εμφανίσεις» (22)...

Τη γυναίκα τη συναντά ο Παλαιολόγος ως εργαζόμενη της πόλης –«με το βιβλίο βρίσκουμε την κοπέλα του ασανσέρ» (88), με ανώτερα καθήκοντα –«ο ιδανικός τύπος της εξελιγμένης γυναίκας, [έ]τσι όπως τον οραματιστήκαμε, τον βλέπουμε στη Μόσχα» (130), ως μπάμπουσκα (γιαγιά), φωνή της παραδόσεως –«μέγιστη προσωπικότητα στο σοβιετικό κόσμο» (67), ως μητέρα –«θα χρειαζόταν ειδική αποστολή στη Σοβιετική Ένωση με αποκλειστικό σκοπό την παρακολούθηση της μέριμνας για το παιδί» (65).

Τη βλέπει επίσης ο συγγραφέας μας ως νοικοκυρά, σύντροφο ζωής και μάλιστα χαριτωμένο κοριτσιάκι πρόσωπο με «μάτια που χαμηλώνουν στην ανδρική αυθάδεια» (112). «Καμιά προκλητικότητα, καμιά εκκεντρικότητα» (113) στην εμφάνιση και τη συμπεριφορά των Ρωσίδων, μας λέγει. Κύριο χαρακτηριστικό της σοβιετικής γυναίκας, η απλότητά της (114). Η διαδρομή της ρωσίδας γυναίκας φαίνεται πως είναι κοινωνικά (μικροαστικά;) φυσιολογική στα μάτια του Παλαιολόγου: «Η γνωριμία, τα φλερτ, το ειδύλλιο, ο γάμος. Σπάνια η διαφθορά [...Α]ν υπήρχε ξετσιπωσιά, κατά ένα τρόπο, θα υπέπιπε στην αντίληψή μας» (113). Είναι πιθανότατο λοιπόν πως δεν ήταν οι σοσιαλιστικοί θεσμοί εκείνοι που προετοίμαζαν το εμπόριο λευκής σαρκός αλλά οι νομοθεσίες πολλών δυτικών και επισήμως χριστιανικών χωρών, όπως και η Ελλάδα, που υποθάλλουν την πορνεία.

\*Πιστεύουμε ότι τα στοιχεία που θίγονται ως ιδέες, συλλέγονται ως πραγματολογικό υλικό και προβάλλονται ως βιβλιογραφία στην παρούσα εργασία συγκροτούν μια πλήρη εικόνα για την προσέγγιση της διαθεματικής μας πρότασης-δοκιμής και συμβάλλουν στη θεμελίωση της «πολεογραφικής» διδασκαλίας.

## Βιβλιογραφία

- Αναστασόπουλος, Δ., 2006: Για την κοινωνία του φόβου, Ελευθεροτυπία, 11 Μαΐου 2006, 35.
- Γιανναράς, Χ., 2004: «Βέτο» ευρωπαϊκής αυτοάμυνας, Η Καθημερινή, 17 Οκτωβρίου 2004.
- Καγιαλής, Π., Χ. Ντουσιά και Θ. Μέντη, 2006: Κείμενα Νεοελληνικής Λογοτεχνίας, Γ' Γυμνασίου, ΟΕΔΒ, 40, 89, 119, 160.
- Κασσέτας, Α., 2003: «Εξομολογήσεις του Σιδήρου» σε γλώσσα διαθεματικότητας, Video του δημιουργού από εκτέλεση στον Πολυχώρο Booze, Αθήνα.
- Κασσέτας, Α., 2005: Η Ποίηση στο εδώλιο, μαζί και η Σελήνη, Video του δημιουργού από ανέβασμα στο Ευγενίδειο Ίδρυμα, Αθήνα.
- Μαρξ, Ένγκελς, Λένιν, 1987: Για το γυναικείο ζήτημα, Σύγχρονη Εποχή, 1987
- Παλαιολόγος, Π., 1957: Η Ρωσία όπως την είδα, Εκδοτικών Ινστιτούτων Αθηνών, Αθήνα.
- Πλωρίτης, Μ., 2004: Η «φούγκα» των Τριών Αδελφών, Θέατρο Κάτια Δανδουλάκη, Τρεις Αδελφές, Πρόγραμμα, 2004-2005, 21.
- Ρέντζος, Γ., 2004: Μια έγκυος «ελευθερία» στο δημόσιο χώρο: ένα πείραμα πολιτισμικής γεωγραφίας στην πόλη του Λουξεμβούργου, 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Τόμος ΙΙ, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου, Μυτιλήνη 2004.
- Ρέντζος, Γ., 2006: Ανθρωπογεωγραφίες της πόλης, Εκδ. Τυπωθείτω – Γιώργος Δαρδανός.
- Ρέντζος, Ι. & Κ. Σπανός, 2004: Η γεωγραφική και γεωπολιτική αντίληψη της Τουρκίας, της Ρωσίας και της Ευρώπης που έχουν οι μαθητές και οι μαθήτριες του γυμνασίου και του λυκείου: αποτελέσματα από δυο πανελλήνιες έρευνες, 7ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό

Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Πρακτικά, Τόμος ΙΙ, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου, Μυτιλήνη, 2004.

Ρέντζος, Ι., 2006: Επιδόσεις των αγοριών και των κοριτσιών του γυμνασίου / λυκείου σε γεωγραφικές δοκιμασίες γνώσεων, εκτιμήσεων και προτιμήσεων: Στοιχεία από μια πανελλήνια έρευνα, Σύγχρονη Εκπαίδευση, 146, 154-162.

Σαρηγιάννης, Γ.Μ., 2003: Οι κλασικοί του Μαρξισμού για την έννοια και τον ρόλο της πόλης, Συνέδριο «Μετασχηματισμοί της Ελληνικής Πόλης - σοσιαλιστική θεωρία, προοπτικές και καθημερινή πράξη», Αθήνα, 9-10-11 Μαΐου 2003, Πρακτικά σε CD-Rom, 52-57.

Τσέχωφ, Α., 2004: Οι Τρεις Αδελφές, Μετάφραση Ερρίκος Μπελιές, Κέδρος.

Τσίρκας, Σ., 1985: [Ακυβέρνητες πολιτείες] Η νυχτερίδα, Κέδρος, 19η έκδ., 14.

Τσουλουβής, Λ. 2003: Αστικοποίηση, το δίκτυο οικισμών και παράγοντες διαμόρφωσης της διάρθρωσης της πόλης στις χώρες της κεντρικο-ανατολικής Ευρώπης: ομοιότητες και διαφορές με τη δυτική και την ελληνική πόλη, Συνέδριο «Μετασχηματισμοί της Ελληνικής Πόλης - σοσιαλιστική θεωρία, προοπτικές και καθημερινή πράξη», Αθήνα, 9-10-11 Μαΐου 2003, Πρακτικά σε CD-Rom, 352-366.

ΦΕΚ: 1366, τ. Β' 18-10-2001 / 1373, τ. Β', 18-10-2001 / 1374, τ. Β', 18-10-2001 / 1375, τ. Β', 18-10-2001 / 1375, τ. Β', 18-10-2001 / 1376, τ. Β', 18-10-2001 και ΦΕΚ 303 & 304, τ. Β', 13-3-2003 / 1196, τ. Β', 26-8-2003.

Bloom, B. S. & D. R. Krathwohl, 1991: Ταξινομία διδακτικών στόχων, Τόμος Β', Συναισθηματικός τομέας, [Μτφ. Α. Λαμπράκη – Παγανού], Εκδόσεις Κώδικας.

Blunt, A., J. Wills, Dissident Geographies, Prentice Hall, 2000, σελ. 91.

Davis, M., 1990: City of Quartz, Pimlico.

Davis, M., 1998: Ecology of Fear, Picador.

Davis, M., 2002: Dead Cities, The New Press.

Eliseev, 1961: Елисеев, А., И. Литинцкий, М.В. Ломоносов – Первый русский физик, ФМ, Москва, 1961, 3.

Frayn, M., 2004: Για τις Τρεις Αδελφές, Θέατρο Κάτια Δανδουλάκη, Τρεις Αδελφές, Πρόγραμμα, 2004-2005, 15.

Golomb, H., 1994: В МОСКВУ! [To Moscow!] On Moscow's Role in Controlling Performance and Audience Response in Chekhov's: The Seagull and Three Sisters., 12th Congress of the International Federation for Theatre Research, Moscow, June 1994. [B МОСКВУ: Διαβάζεται βμασκβού].

Kopp, A., 1976: Πόλη και επανάσταση, Εκδ. Νέα Σύνορα – Λιβάνης.

Laffite, S., 1957: Tchekhov par lui-meme, Ecrivains de toujours/Seuil, 1957, 62, 72-74.

Latour, Alessandra [Editor], 2002: Birth of a Metropolis, Moscow 1930 - 1955, XXI BEK, 2002.

Levine, R., 2003: The Kindness of Strangers, American Scientist, Vol. 91, 3, 226-233.

Lévy, J., 1997: Europe, Une géographie, Hachette, 18-27.

Marx-Aveling, E. & E. Aveling, 1986: The Woman Question, Verlag für dieFrau, Leipzig.

Mitchell, W., 1998: Les gratte-ciel sont-ils encore nécessaires ?, Pour la science, 244,

1998, 69.

Nivat, A., 2002: La maison haute, Fayard, 13.

Tchékhof, A., 2001: L'Île de Sakhaline, Folio, 2001.

URL1 <http://www.pi-schools.gr/programs/depps> όπου το Διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών (ΔΕΠΠΣ) και τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών (Α.Π.Σ.) υποχρεωτικής εκπαίδευσης.

URL2 [http://www.psu.ru/general/history\\_e.html](http://www.psu.ru/general/history_e.html)

URL3 <http://www.psu.ru/index.html>

URL4 <http://www.uraltourism.com/perm.php>

URL5 <http://politikokafeneio.com/somatorporoi/diki22904.htm>

URL6 <http://www.stoptrafficking.org/TRAFFICKING%20GREECE%202002%20FINAL%20B.pdf>

## ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΖΩΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΖΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΕΣ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ ΕΛΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΞΕΝΩΝ ΕΙΚΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΩΝ

Ρέντζος Ι.<sup>1</sup>, Στρατάκης Π.<sup>2</sup>, Τζωρτζακάκης Α.<sup>3</sup>, Ηλιόπουλος Η.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Κοιν. Ανθρωπολογίας και Ιστορίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

<sup>2</sup>Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

<sup>3</sup>Τμήμα Κοινωνιολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

<sup>4</sup>ΕΒΕΑ, Τμήμα Ειδικών Επιστημών

### Περίληψη

Στην εισήγηση αυτή η Γεωγραφία αντιμετωπίζεται σε μερικές διδακτικές πτυχές της ως πολιτισμική «Γεωγραφία του βλέμματος» (Geography of the Gaze) με κοινό πεδίο απεικόνισης και περιγραφής με εκείνο της ζωγραφικής. Αφετηρία του παρόντος αποτελεί η γενικευμένη διδακτική στρατηγική της διαθεματικότητας στην οποία γίνονται πειραματισμοί τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα. Συζητείται έτσι το γενικότερο ζήτημα της «διπτής κουλτούρας» (Γεωγραφία και τέχνη) και της ευρείας διακλαδικότητας/διεπιστημονικότητας (Γεωγραφία δια της τέχνης) και γίνεται επικέντρωση στις δυνατότητες που μπορεί να παράσχει η ζωγραφική καλλιτεχνική προσέγγιση στη διδασκαλία της γενικής Γεωγραφίας και της πόλης ή ακόμα και στη γεωγραφική έρευνα. Παραδείγματα αντλούνται από πολλούς καλλιτέχνες μεταξύ των οποίων κυρίως ο έλληνας χαρακτήρας Παναγιώτης Γράββαλος, οι Αμερικανοί Jaspers Johns και Edward Hopper καθώς και ο Βέλγος René Magritte.

### GEOGRAPHIC PAINTINGS AND PAINTED GEOGRAPHIES: TEACHING EXAMPLES TAKEN FROM THE WORK OF GREEK AND FOREIGN VISUAL ARTISTS

Rentzos I.<sup>1</sup>, Stratakis P.<sup>2</sup>, Tzortzakakis A.<sup>3</sup>, Iliopoulos I.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Social Anthropology and History, University of the Aegean

<sup>2</sup>School of Architecture, National Technical University of Athens (N.T.U.A)

<sup>3</sup>Department of Sociology, University of the Aegean

<sup>4</sup>Athens Chamber of Commerce and Industry, Section of Special Consultants

### Abstract

In this text, some teaching aspects of Geography are treated as a cultural "Geography of the Gaze", having a field of representation and description common to the one of painting. Starting point of the present text is the generalized cross-thematic teaching strategy, which has become an object of experimentation during the last years in Greece. Thus, the more general issue of "Dual Culture" (Geography and art) and of broad interdisciplinarity (Geography through art) is discussed. In addition, emphasis is laid on the possibilities that the pictorial artistic approach can offer to general and Urban Geography teaching, or even to geographic research. Examples are drawn from many artists, among whom figure the Greek engraver Panagiotis Gravalos, the Americans Jaspers Johns and Edward Hopper, as well as the Belgian René Magritte.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωγραφία του βλέμματος, διαθεματικότητα, πόλη.

**Key words:** Geography of the gaze, cross-thematic approach, city.

## 1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια εισήχθη στην Ελλάδα η έννοια της διαθεματικότητας της διδασκαλίας και από το σχολικό έτος 2006-07 άρχισε να γίνεται χρήση εγχειριδίων, π.χ. νεοελληνικής λογοτεχνίας που προωθούν σχετικές διδακτικές πρακτικές. Σε μερικά σημεία, η επιμελημένη εικονογράφηση (έργα π.χ. του Αγήνορα Αστεριάδη και του Δανιήλ Γουναριδής [Γαργαντούδης κ.ά., 2006]) θεμελιώνει αυτόνομη διδακτική πρόταση για παρατήρηση και συναγωγή συμπερασμάτων με δεδομένο ότι η ευαισθησία των εικαστικών καλλιτεχνών ενδέχεται να εισάγει διδακτικούς στόχους.

Η εισαγωγή της διαθεματικότητας συνοδεύεται με τη σχετική παιδαγωγική συζήτηση (Αθανασάκης, 2003· Χρονοπούλου, 2006) που ίσως αποτελέσει ευκαιρία για την προσέγγιση του ζητήματος των σχέσεων της διαθεματικής διδασκαλίας με την «πολυκλαδική» και τη «διακλαδική» (διεπιστημονική) προσέγγιση και την πάντα επίκαιρη προβληματική της «διττής κουλτούρας» με ευκαιρία εκείνα τα διδακτικά αντικείμενα που προσφέρονται για κάτι τέτοιο, και με δεδομένο ότι:

1) τα πολυκλαδικά στοιχεία στα οποία καταφεύγει άμεσα η διαθεματική διδασκαλία, ενώ προσφέρουν μια σφαιρικότερη προσέγγιση στο διδασκόμενο αντικείμενο, ενδέχεται να οδηγούν σε «εγκυκλοπαιδισμό» που θεωρείται διδακτικό μειονέκτημα (Engert, 1964)

2) την έννοια του «διακλαδικού» μπορούμε να αντιμετωπίσουμε ως συμπλοκή/σύγκλιση των ετεροειδών και ανεξάρτητων πολυκλαδικών στοιχείων της διαθεματικότητας ώστε να υπηρετηθεί ένας ανώτερος («υπερ-κλαδικός») στόχος (Jantsch, 1972)·

3) πάντα μπορούν να στοχοθετηθούν ενδιάμεσες απαντήσεις στο διαζευκτικό παιδαγωγικό ερώτημα της «διττής κουλτούρας» («διδάσκουμε το "β' θερμοδυναμικό αξίωμα" ή το "να ζει κανείς ή να μη ζει";» [Snow, 1995]).

Κατά την έννοια αυτή η διδακτική στρατηγική της διαθεματικότητας παρωθεί το διδάσκαλο ως γεωγράφο, αρχιτέκτονα ή κοινωνικό επιστήμονα, να αναζητήσει ανάλογο διδακτικό υλικό. Στην εργασία μας, λοιπόν, προσεγγίζεται η δημιουργική αναπαράσταση του χώρου και της κοινωνίας, όπως γίνεται από τη ζωγραφική (όπως γίνεται άλλωστε και με τη φωτογραφία, το κόμικς και τον κινηματογράφο) (Ρέντζος, 2006) και που μπορεί να χρησιμεύσει ως πρότυπο για τη θέαση των γεωγραφικών αντικειμένων με στόχο συγκρίσεις, αντιπαραβολές, θεματικές επιλογές στην περιβαλλοντική έρευνα και τη γεωγραφική διδασκαλία. Σε αναδρομικές εκθέσεις των Monet, Renoir, Cézanne, Van Gogh «η ζωγραφική ελέγχεται από τη γεωγραφία και την περιφερειακότητα» (Dagen, 2005) ενώ ο επισκέπτης έχει την ευκαιρία να δει και τις αντιστοιχίσεις των πολεογραφικών θεμάτων των πινάκων, όπως του γάλλου ζωγράφου Γκυσταύ Καγιμπότ (Gustave Caillebotte, 1848-1894), πάνω στο σύγχρονο χάρτη της πόλης (Παρίσι [Grand Palais, 16.9.1994 - 9.1.1995]).

Οι ζωγράφοι της σύγχρονης εποχής είτε με αθώες καρτποσταλικές τοπιογραφίες (που πλημμυρίζουν την αγορά διακοσμητικών έργων ζωγραφικής) είτε με ακριβέστερες και πιο υπεύθυνες καθετηριάσεις στον ιστό της κοινωνίας και της πόλης (που φέρουν γνωστές υπογραφές και ίσως μεταφέρουν και κάποιο μήνυμα) μας διευκολύνουν στην ανάγνωση του γεωγραφικού χώρου ως «τοπίου» (Δουκέλλης, 2005· Τερκενλή, 1996). Ποιος δεν αναγνωρίζει ότι οι εικαστικοί καλλιτέχνες έχουν κοινό πεδίο δράσης με εκείνο των γεωγράφων; Ας υπενθυμίσουμε μάλιστα ότι όταν πριν μερικούς αιώνες άρχιζε να παράγεται η «άποψη» ως «θέα» του αστικού χώρου οι καλλιτέχνες –είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα των Ολλανδών αλλά και του Canaletto (1697 - 1769)– καλλιεργούσαν το ενδιαφέρον τους στη χρήση των οπτικών οργάνων (διοπτρών και σκοτεινών θαλάμων) που τους επέτρεπαν να κάνουν ακριβέστερες παρατηρήσεις (Harent, 2005· Dubbini, 2002).

Μια ατελείωτη σειρά από δημιουργικές εικόνες τόπων και χώρων, κόσμων και ανθρώπων, τοπίων και «τοπιών» –εννοούμε κάθε είδος ευτοπίας, δυστοπίας, ουτοπίας ή αποτίας...–, προβολών και αντικατοπτρισμών, όγκων και επιφανειών συγκροτεί μια παράλληλη καλλιτεχνική γεωγραφία, τη «Γεωγραφία του βλέμματος». Αυτή είναι εκείνη που μας επέβαλε κανόνες ανάγνωσης αυτών που βλέπουμε γύρω μας. «Πόσο ορθούς όμως», θα αντέτειναν πολλοί; Οι νοητικές αναπαραστάσεις, τα συστήματα αξιών, οι ιδεολογίες και ακόμα περισσότερο τα οικονομικά συμφέροντα, οι κατακτητικές στρατηγικές, οι σχέσεις υπεροχής και υποταγής προσέφεραν, όχι μόνο απεικονίσεις και θεάματα από τον κόσμο αλλά και όψεις και οράματα των κοινωνιών του και –κυρίως– των ισχυρών τους (Dubbinì, ό.π., ‘Daniels, 1994). Ας σημειώσουμε εδώ ότι, όπως το επισημαίνει ο Λιάκος (Λιάκος, 2007), η οπτική αναπαράσταση ως γεω-γραφία, δηλαδή η «ζωγραφία» (με τόνο στο ι), ταυτίζεται ορολογικά στην ελληνική γλώσσα, επί πολλούς αιώνες, με την κατ’ εξοχήν κοινωνική επιστήμη, την «ιστορία».

Στο κείμενό μας επικεντρωθήκαμε σε παραδείγματα που αντλούνται από τις χωρικές εξιστορήσεις του έλληνα χαράκτη-ζωγράφου Παναγιώτη Γράββαλου, των Αμερικανών Jaspers Johns και Edward Hopper και του Βέλγου René Magritte. Αυτός ο τελευταίος «φιλοτέχνησε» το εξώφυλλο του βιβλίου του Λιάκου (ό.π.)...

## 2. Η προδοσία των εικόνων: Ο Magritte μάς κάνει διδακτικές επισημάνσεις

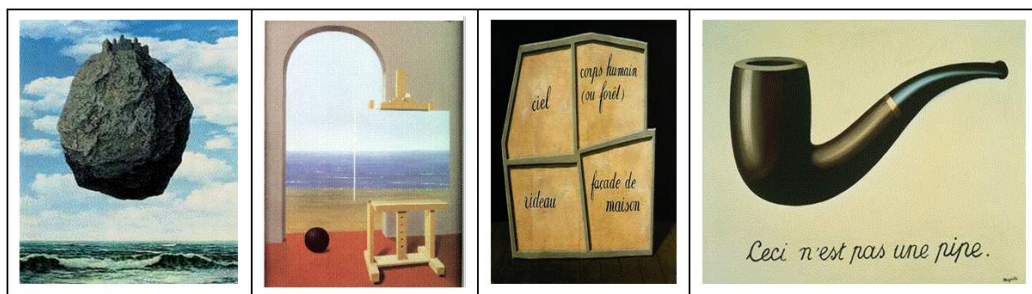
Θεωρούμε σκόπιμο να προσεγγίσουμε την παρουσίαση των σχέσεων γεωγραφικής διδακτικής και ζωγραφικής τέχνης με αναφορά στο έργο του βέλγου ζωγράφου Ρενέ Μαγκρίτ (René Magritte, 1898-1967). Όπως ο κάθε ομότεχνός του, έτσι και ο Μαγκρίτ αναπαριστά κόσμους παρόμοιους με εκείνους των γεωγράφων ενώ ο δάσκαλος –ο κάθε δάσκαλος– μα πιο πολύ όποιος διδάσκει γεωγραφία, έχει κάθε συμφέρον να γνωρίσει το έργο του αλλά και τις καταγγελίες του.

Παρατηρώντας τους τόπους και τους ανθρώπους ο Μαγκρίτ αναπαρέστησε ένα σύμπαν, αφήνοντας ένα ογκώδες έργο τοπο-γραφίας και ανθρωπο-γραφίας. Σπεύδουμε βέβαια να πούμε ότι εκείνο που χαρακτηρίζει το έργο του είναι η προκλητική πραγματο-γραφική διάσταση που χαρακτηρίζει τις εικόνες του. Αυτός μάλιστα ο αντικειμενο-κεντρισμός του έργου του Μαγκρίτ είναι εκείνος ακριβώς που μας διδάσκει να βλέπουμε και να απογράφουμε –όσοι είμαστε γεωγράφοι– τους τόπους και τους ανθρώπους μέσα από τη σύνθεση που προτείνουν οι πίνακές του. Και μάλιστα να αναρωτιόμαστε, αυτοκρινόμενοι, μήπως υποπίπτουμε στα σφάλματα –θα λέγαμε– που εκείνος, σαν να ήταν καθηγητής διδακτικής, προβάλλει προς αποφυγήν!

Ο Μαγκρίτ είναι ένας προσεκτικός υπερρεαλιστής. Υπηρετεί ένα γνήσιο ψυχικό αυτοματισμό που εκφράζει τη λειτουργία της σκέψης χωρίς λογικές αλλά με αισθητικές παρεμβολές. Σπάει έτσι κάθε συμβατική συνέχεια στο χώρο, το χρόνο και τη δράση. Ανασυνθέτει την πραγματικότητα και προτείνει μια άλλη λογική και μια διαφορετική αισθητική. Ας δούμε. Ένας πέτρινος πύργος χτισμένος στο χείλος κάποιου απότομου βράχου, μια ήρεμη θαλασσογραφία που περιέχει και μέρος του περιβάλλοντος του πίνακα, μια «σύνθεση» που περιέχει μια πρόσοψη, ένα δάσος και τον ουρανό, και τέλος, η σχεδόν φωτογραφική απεικόνιση μιας ξύλινης πιάσας, δεν αποτελούν ούτε πρωτότυπες αλλά ούτε και εξεζητημένες επιλογές ενός «μοντέρνου» ζωγράφου από τόσους που γνώρισε, για παράδειγμα, ο 20ός αιώνας. Μπορούν να εξασφαλίσουν άμεσα τη συναίνεσή του θεατή. Πολύ περισσότερο μάλιστα όταν ξέρουμε ότι το συνολικό έργο του Μαγκρίτ περιλαμβάνει περισσότερους από χίλιους πίνακες.

Γρήγορα όμως σαν θεατές και θαυμαστές των προηγούμενων πινάκων φτάνουμε σε κάποια όρια ως προς την άμεση πρόσληψη και αποδοχή των εικόνων και των θεμάτων. Αντιλαμβανόμαστε ότι έχουμε απέναντί μας μια μη συμβατική τεχνική απεικόνισης και γι’ αυτό θα πρέπει να υποθετήσουμε μια άλλη αισθητική και λογική προσέγγιση για να χαρούμε την προσφορά του καλλιτέχνη: Ο βράχος που πάνω του βρίσκεται χτισμένος ο πέτρινος

πύργος είναι μετέωρος και σε διαρκή πτώση, πάνω από τη θάλασσα. Λίγος ακόμα χρόνος του χρειάζεται για να φτάσει στην επιφάνειά της (βλ. Εικ. 1(α))· η ήρεμη θαλασσογραφία είναι απεικόνιση και συμπαράθεση του ίδιου της του εαυτού, αφού μέσα στο πίνακα βρίσκεται και ο ίδιος ο πίνακας (βλ. Εικ. 1(β))· το δάσος (forêt), ο ουρανός (ciel) και η πρόσοψη (façade) δεν είναι εικονικά στοιχεία του πίνακα αλλά καλλιγραφημένες (γαλλικές) λέξεις για τις οντότητες αυτές που θα ήθελε ενδεχόμενα να αποδώσει ο καλλιτέχνης (βλ. Εικ. 1(γ)) –ας θυμηθούμε πόσες και πόσες φορές ο δάσκαλος της γεωγραφίας υποχωρεί και δεν ικανοποιεί την επιθυμία του για μια εποπτική παρουσίαση του μαθήματος του, υποκαθιστώντας έννοιες, οντότητες και ζωντανές υπάρξεις με λέξεις, κάνοντας την παρουσίασή του μια «άδεια μάσκα»· και, τέλος, η ξύλινη πίπα δεν ταυτοποιείται με την εικόνα της. Ο καλλιτέχνης φροντίζει να μας προειδοποιήσει με μια σημείωση πάνω στον πίνακα πως «Αυτό δεν είναι πίπα» (βλ. Εικ. 1(δ)).



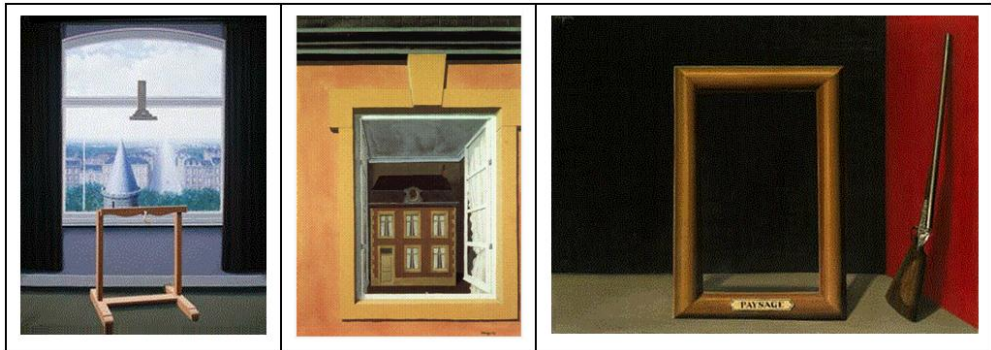
Εικόνα 1. Πίνακες του Μαγκρίτ: (α) Ο πύργος των Πυρηναίων, (β) Η ανθρώπινη υπόσταση, (γ) Η άδεια μάσκα και (δ) Η προδοσία των εικόνων.

Ας σταθούμε για λίγο στον τελευταίο πίνακα. Πρόκειται για έκρηξη παραδοξότητας ή μάλλον για κήρυγμα ορθολογισμού και ορθοφροσύνης μέσα από το έργο ενός υπερρεαλιστή; Πρέπει εδώ να θυμηθεί κανείς ένα σχετικό άρθρο του Ε.Π. Παπανούτσος (1965). Είναι γραμμένο σαν να είναι εμπνευσμένο από τον πίνακα αυτό του Μαγκρίτ ή σαν να αποτελεί την ανάλυσή του με εκπαιδευτικό στόχο. Εξάλλου είναι γνωστό στο γεωγράφο ως κοινωνικό επιστήμονα ότι οι κοινωνικο-εκπαιδευτικές ανορθολογικές ιδεολογίες (που το σχολείο θα έπρεπε –έστω και άθελα– να τις ελέγχει αντί να τις ενισχύει) οδηγούν και σε υπολειπόμενες τις πνευματικές ικανότητες. Όπως έχουμε παρουσιάσει με άλλη ευκαιρία (Ρέντζος, 2002), τα περισσότερα παιδιά γυμνασίου/λυκείου χρωθετούν το «ηρωικό» γεγονός της καταβάρθρωσης των Σουλιωτισσών του «Χορού του Ζαλόγγου» όχι σε ομώνυμη βραχώδη περιοχή του Νομού Πρέβεζας αλλά στη λιμνοθάλασσα του «ηρωικού» Μεσολογγίου. (Θέσαμε την έννοια «ηρωικό» σε εισαγωγικά για να αναδειχθεί και να ερμηνευθεί η ανορθολογική και όχι η γεωγραφική συσχέτιση που επικράτησε στις απαντήσεις των παιδιών).

Με την υπόμνηση πως η «εικονιζόμενη πίπα» δεν είναι μια «πραγματική πίπα», ο Μαγκρίτ μας διδάσκει πως μια απεικόνιση, μια εικόνα, –το ίδιο όπως και ένας χάρτης θα λέγαμε– δεν μπορεί ποτέ να ταυτίζεται με το αντικείμενο αυτό καθαυτό. Οι εικόνες προδίδουν! Και γι' αυτό –γνωρίζοντας την «προδοσία των εικόνων»– είναι υπερβολικό να επιγράφουμε τους πίνακες χρησιμοποιώντας τα ονόματα των οντοτήτων που αυτοί αναπαριστούν.

Και μάλιστα οι εικόνες προδίδουν ακόμα και όταν προβαίνουμε σε παρομοιώσεις ή προσομοιώσεις. Μια τέτοια περίπτωση φαίνεται πως έχουμε όταν βρισκόμαστε μπροστά στη σχεδόν τέλεια τριγωνική προοπτική ενός δρόμου και την φαινόμενη τριγωνική απεικόνιση της κωνικής κορυφής ενός πύργου («Ο περίπατος του Ευκλείδη»), (βλ. Εικ. 2 (ε)). Και οι δυο παρόμοιες μορφές φθάνουν στον οφθαλμό του παρατηρητή σαν παρόμοια ισοσκελή τρίγωνα. Η όραση από μόνη της δεν είναι αρκετή να μας πληροφορήσει για την ουσία του κάθε τριγωνικού ειδώλου! Είναι βέβαιο κι εδώ πως οι εικόνες προδίδουν. Και μάλιστα ο ίδιος ο ζωγράφος αναλαμβάνει με κάθε διακριτικότητα (και ειρωνεία, είναι γεγονός) να

αναπαραστήσει, μπροστά στο παράθυρο, αυτή την προδοσία για να μας καταστήσει προσεκτικούς... Αυτό που θα ήταν «περίπατος» για τον Ευκλείδη είναι ζήτημα ακανθώδες για τους κοινούς θνητούς. Σ' αυτό το πλαίσιο είναι απαραίτητο για το δάσκαλο να βρει τον τρόπο να αναπαραστήσει όσο μπορεί πειστικότερα, το τριγωνικό σχήμα, την κωνική επιφάνεια, την αρχιτεκτονική προοπτική, όχι μόνο –ίσως– με την βοήθεια ενός ταπεινού μαυροπίνακα.



Εικόνα 2. Πίνακες του Μαγκρίτ: (ε) Ο περίπατος του Ευκλείδη, (στ) Εγκώμιο της διαλεκτικής, και (ζ) Οι χάρες του τοπίου.

Θα λέγαμε ότι η γεωγραφική λογική που βασίζεται στην αναγνώριση, τη καταγραφή και την αποδοχή της χωρικής συνέχειας/ασυνέχειας βρίσκεται τραυματισμένη μέσα στο έργο του Μαγκρίτ. Ταυτόχρονα, στο έργο του Μαγκρίτ βρισκόμαστε μάρτυρες μιας τοπογραφίας που διασπάται ή που ανασυντίθεται. Δηλαδή, εισερχόμαστε σ' ένα χώρο που είναι εφοδιασμένος με κάποιες ιδιαίτερες τοπολογικές ιδιότητες («Εγκώμιο της διαλεκτικής»), (βλ. Εικ. 2 (στ)): Το μέσα και το έξω, το κοντά και το μακριά, το αντικείμενο και το υποκείμενο, συγχέονται και δίνουν το ένα τη θέση του στο άλλο. Στην πραγματικότητα, η αδυναμία να διακρίνουμε το «ένα» από το «άλλο», αυτή η σχετικοποίηση του «ορθού» ως προς το «αντίστροφο», του «ναι» ως προς το «όχι», αποδομούν αυτό που νομίζαμε, τουλάχιστον στη διδασκαλία της γεωγραφίας, οικείο, δικό μας, προσιτό.

Ο δάσκαλος της γεωγραφίας (μαζί με κάθε άλλο θεατή του έργου του Μαγκρίτ), βλέπει πόσο κοντά βρίσκονται ή μπορούν να βρεθούν, στο ανθρώπινο μυαλό, έννοιες που γι' αυτόν αποτελούσαν ανυπέρβλητα και ευδιάκριτα όρια αναφοράς και που πάνω τους βασίζει τη στοιχειώδη γεωγραφική του διδακτική. Ακόμα περισσότερο, η υποκατάσταση συμβαίνει και σε ένα άλλο επίπεδο, που για το Μαγκρίτ αποτελεί χώρο έκφρασης της ζωγραφικής. Το αντικείμενο αναπαρίσταται, όπως είπαμε, από το όνομα ή υποκαθίσταται από αυτό. Σε μια περαιτέρω επέκταση των ορίων της, η ζωγραφική του σουρεαλιστή Μαγκρίτ, μέσα από το εικονιζόμενο άδικο κάδρο-σύμβολο που φέρει το όνομα «ΤΟΠΙΟ» μηδενίζει το πραγματικό περιεχόμενο. Το συνολικό έργο, που περιλαμβάνει και ένα τουφέκι, τιτλοφορείται ειρωνικά «Οι χάρες του τοπίου» (βλ. Εικ. 2 (ζ)). Πρόκειται για πραγματικά μαθήματα απεικόνισης αλλά και αποδόμησης του χώρου που είναι χρήσιμα για τον κάθε δάσκαλο γεωγραφίας.

### 3. Αποδομώντας σημαίες, χάρτες και χρώματα: Ο Αμερικανός Jaspers Johns

Ο ζωγράφος Jasper Johns (1930-) είναι ένας «δικός μας» αφού το έργο του διασταυρώνεται με τη γεωγραφία και την παιδαγωγική της. Πραγματικά, στη μεγάλη αίθουσα του Μουσείου Ludwig στην Κολωνία, βρίσκεται αναρτημένο το έργο με το οποίο ο τιμώμενος ζωγράφος αναπαριστά το χάρτη από ανάπτυγμα εικοσαέδρου κατά Buckminster Fuller, σε «προβολή Dymaxion» (Buckminster Fuller Institute, 1991). Πρόκειται για έναν από τους μεγαλύτερους χάρτες που έχουν ποτέ φιλοτεχνηθεί με διαστάσεις πολλών τετραγωνικών μέτρων και που φιλοξενείται στην Κολωνία από την άνοιξη του 1997 όταν άνοιξε η αναδρομική έκθεση με έργα του Τζονς.



Με το έργο του ο Jasper Johns είναι πολύ κοντά στη γεωγραφία και τη χαρτογραφία αφού μερικοί πίνακές του είναι εμπνευσμένοι από τις χαρτογραφικές αποδόσεις της πατρίδας του, της Αμερικής, και από την ζωγραφική επεξεργασία - δούλεμα της φόρμας της αμερικανικής σημαίας. Πραγματικά η καινοτόμος παρουσία του γίνεται το 1954 με την αμερικανική σημαία ως συγκεκριμένο εικονογραφούμενο αντικείμενο (βλ. Εικ. 3 (α)). Η σημαία αποτέλεσε για τον Τζονς μια σημαντική αφετηρία έμπνευσης. Την παρουσιάζει σε μια αφύσικη θέση. Δεν κυματίζει, αλλά μοιάζει απλωμένη σε μια οριζόντια επιφάνεια ή καρφωμένη πολύ προσεκτικά από την πάνω οριζόντια πλευρά. Πρόκειται για έναν αντισυμβατικό τρόπο παράστασης του εθνικού συμβόλου της πατρίδας του καλλιτέχνη. Ας υπενθυμίσουμε ότι βρισκόμαστε στην καρδιά του ψυχρού πολέμου οπότε μια πράξη που θα έδειχνε έλλειψη σεβασμού απέναντι στο εθνικό σύμβολο απαιτούσε κάποια τόλμη για να πείσει ότι απλά αποτελεί δημιουργική αφετηρία. (Crow, 2004). Από καθαρά αισθητική πλευρά, το έργο δεν απεικονίζει, δεν αναπαριστά, δεν αποτέμνει ούτε διοπτύει την πραγματικότητα σαν μέσα από παράθυρο αλλά –καθώς είναι αντικείμενο μοντέρνας τέχνης– είναι το ίδιο μια πραγματικότητα. Ιερόσυλη πραγματικότητα, αφού η πρώτη του ύλη είναι η σημαία...

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, ο Τζονς εισήγαγε ένα σημαντικό μοτίβο στο έργο του, το χάρτη των Ηνωμένων Πολιτειών. Εκεί συνδυάζονται πολλά από τα στοιχεία της τεχντροπίας που ακολουθεί αυτή την εποχή: σκοτεινές αποχρώσεις, επιγραφές, ανεικονικά στοιχεία (URL2). Φτάνουμε έτσι σε μια εικονογραφική αποδόμηση του χάρτη ανάλογη, ίσως, με εκείνη που επιχείρησε ο θεωρητικός της χαρτογραφίας Χάρλεϋ με το έργο του (Harley, 1996).

Στο «χάρτη» του Τζονς (βλ. Εικ. 3 (β)), η «ιερή» μορφή του εδάφους της χώρας –προς τα έξω με τα σύνορα και προς τα μέσα με τα διοικητικά όρια και τις εθνικές οδούς και τους αυτοκινητοδρόμους– παύει να αντιμετωπίζεται έτσι. Κάτι τέτοιο δε μας εκπλήσσει όμως. Μετά από την «αξιοποίηση» της σημαίας της πατρίδας του ως μοτίβου, θέματος και αντικειμένου ο Τζονς έπιασε και το πάτριο έδαφος.



Εικόνα 3. Πίνακες του Τζονς: (α) Τρεις σημαίες, (β) Χάρτης, (γ) False Star, (δ) Untitled [ατυπολόγητο], (ε) το «δισταθές» πορτραίτο του Boring που αξιοποιεί ο Τζονς .

Και για έναν άλλο λόγο δεν πρέπει να μας παραξενεύει το δούλεμα που έκανε ο Τζονς στο χάρτη που είδαμε προηγουμένως. Ήδη από το 1959, σε πίνακες που μπορούν να θεωρηθούν σαν δοκιμές, έπαιζε με τα ονόματα και την απόδοση των χρωμάτων προετοιμάζοντας χωρίς ίσως να το ξέρει την αποδόμηση του χάρτη (βλ. Εικ.3 (γ)). Στον πίνακα αυτόν το όνομα του κίτρινου είναι αποτυπωμένο με απομίμηση γαλάζιων μηχανικών χαρακτιρών πάνω στο αντίστοιχο χρώμα. Επάνω αριστερά όμως το γκρι βρίσκεται αποτυπωμένο πάνω σε κίτρινοκόκκινες αποχρώσεις, ενώ κάτω αριστερά συνδυάζονται blue [η λέξη] και κόκκινο.

Στις αρχές της δεκαετίας 1980 ο Τζονς ενσωμάτωσε στο έργο του φωτεινές αποδόσεις αντικειμένων και γνωστών εικόνων ή συμβόλων (βλ. Εικ. 3 (δ)). Χαρακτηριστική είναι η χρήση του γνωστού σχεδίου με το διπλό γυναικείο πρόσωπο που επινόησε ο ψυχολόγος Edwin Boring και χρησιμοποιείται από την αντιληπτική ψυχολογία (perceptual psychology [The Economist, 1984]). Η «δισταθής όραση» (bistable vision) επιτρέπει να δούμε (βλ. Εικ. 3 (ε)) είτε (1) το προφίλ μιας ηλικιωμένης γυναίκας είτε (2) το στραμμένο δεξιά και πίσω κεφάλι μιας νεαρής γυναίκας. Σημειώνουμε ότι το φαινόμενο της δισταθούς απεικόνισης

συναντούμε στη γεωγραφία (χαρτογραφία), όπου, όπως επισημαίνει ο Graves (1975), η διαγράμμιση ή το γκριζάρισμα της ξηράς ή της θάλασσας μας κάνει να βλέπουμε την ξηρά σαν θάλασσα και τη θάλασσα σαν ξηρά ενώ ο Haggett το χρησιμοποιεί σαν γενικότερο παράδειγμα της «αναζήτησης για χωρική τάξη» (Haggett, 1990). Παράδειγμα δισταθούς απεικόνισης αποτελεί το έμβλημα της εμπορικής αλυσίδας Carrefour. Σε πρόερευνα σε γενικό κοινό (χωρίς καμιά επιτυχή ανάγνωση) και έρευνα σε τέσσερα σχολικά τμήματα γυμνασίου-λυκείου (I.P., άνοιξη 2007) αποδείχθηκε ότι μόνο ένα παιδί (αγόρι) λυκείου είχε διακρίνει την ανάγνωση του «C» (που είναι το αρχικό της λέξης Carrefour) μέσα σε εννοούμενο ανακεκλιμένο τετραγωνικό περίγραμμα που αποτελεί, ως σύνολο, το εμπορικό έμβλημα. Ούτε κανένα από τα ερωτώμενα άτομα ανέγνωσε στην τρίχρωμη απόδοση του σήματος την αναπαράσταση της γαλλικής σημαίας (κόκκινο-άσπρο-μπλε) που συμβολίζει τη χώρα προέλευσης της επιχείρησης.

Βρισκόμαστε στη θέση να διατυπώσουμε την άποψη ότι οι παιγνιώδεις αναπαραστάσεις των «ιερών» γεωγραφικών και εθνικών συμβόλων που μας προσέφερε ο Τζονς αποτελούν χαριτωμένες αλλά και θεμελιωμένες προτάσεις για εναλλακτικές προσεγγίσεις της γεωγραφικής διδασκαλίας.

#### 4. Ανθρωπογραφίες του Hopper και πολεογραφίες του Γράββαλου: Ο άνθρωπος και η πόλη του

Επιλέγουμε στη συνέχεια να παρουσιάσουμε στοιχεία από το έργο δυο ζωγράφων, οπωσδήποτε αρκετά διαφορετικών μεταξύ τους, και να επικεντρωθούμε σε πτυχές του έργου τους που αφορούν ειδικά την αναπαράσταση της πόλης. Είναι ο Αμερικανός Edward Hopper που ωρίμασε στον 20ο αιώνα (1882-1967) και ο σύγχρονος Έλληνας ομότεχνός του Παναγιώτης Γράββαλος (1933 -).



Εικόνα 4. Πίνακες του Χόπερ: (α) Δωμάτιο στο Μπρούκλιν, (β) Γραφείο σε μικρή πόλη, (γ) Chop Suey, (δ) Nighthawks.

Η επιλογή της αναπαράστασης της πόλης που κάνουμε, ως «γεωγραφικής ζωγραφικής» δεν είναι τυχαία. Αναπαραστάσεις της πόλης βλέπουμε συχνά και είναι γνωστό ότι η πόλη ανασυγκρότησε το «πρόγραμμα» της ίδιας της ζωγραφικής. Σύμφωνα με το Μαξ Βέμπερ «ταλείως ιδιαίτερες μορφικές αξίες στη σύγχρονη καλλιτεχνική μας κουλτούρα κατάφεραν να γεννηθούν μόνο μέσω της ύπαρξης της σύγχρονης μεγαλούπολης» (Weber, 2003). Ο μεγάλος αυτός κοινωνιολόγος κάνει μια αποτύπωση της σύγχρονης μεγαλούπολης με αναφορά στα σύγχρονα μέσα μεταφορών, το φωτισμό της, τις βιτρίνες και τις αίθουσες συναυλιών, τα εστιατόρια και τα café, τις καμινάδες της και τις κτιστές επιφάνειές της που άλλωστε συνθέτουν «όλο τον ξέφρενο χορό των ηχητικών και χρωματικών εντυπώσεων» (Weber, όπ. π.) που ονομάζουμε σύγχρονη πόλη.

Επισκοπώντας το έργο του Χόπερ αποκομίζουμε αμέσως την εντύπωση πως τίποτε από αυτά τα στοιχεία δεν απουσιάζει από αυτό. Η πόλη, στην πατρίδα του Αμερική του 20ου αιώνα, αντικατοπτρίζεται στο έργο του με προσωπικό τρόπο που ωστόσο, μολονότι υποβλητικός, δεν παύει να είναι και ιδιαίτερα επιλεκτικός. Θα λέγαμε ότι ο Χόπερ μας προσφέρει μάλλον θραύσματα πόλης και αγωνίες της μικρής πόλης παρά εορταστικά πανοράματα ή αστικές δοξολογίες μεγαλούπολης, όπως ίσως θα το περίμενε κανείς.

Το σπουδαιότερο είναι πως πολύ συχνά, στους πίνακες του Χόπερ, –και αυτό αποτελεί ένα διδακτικό μήνυμα– κέντρο της απεικόνισης αποτελεί μια μεμονωμένη ύπαρξη (βλ. Εικ. 4 (α), (β)). Ακόμα και στις περιπτώσεις που οι εικόνες του κατοικούνται από περισσότερα άτομα, φαίνεται πως η λιτή πλαστική του γλώσσα κάνει αποτυπώσεις τής μοναξιάς και της απομόνωσης (βλ. Εικ. 4 (γ), (δ) [URL3]). Αυτή ακριβώς είναι που αναδεικνύει ως ήρωα των «αστικών θρύλων» του Χόπερ τον ίδιο το θεατή του έργου του. Όπως έχει γραφεί «η λιτότητα του Χόπερ, μαζί με την ολοένα αυξανόμενη τάση του για σαφή απεικόνιση των λεπτομερειών και συμβάντων μας επιτρέπει να προβάλλουμε τις λεπτομέρειες της δικής μας ζωής στο δικό του ζωγραφισμένο κόσμο και να θεωρούμε ότι οι ζωές που προβάλλονται στον καμβά συμβολίζουν τις ζωές όλων» (Lyons, 1995).

Ο Χόπερ, με τα πάντα ορθάνοιχτα παράθυρα των πινάκων του, παρήγαγε μια «γεωγραφία του βλέμματος» που μοιάζει να είναι «γεωγραφία του βλέμματος του απλού ανθρώπου της πόλης». Η Gail Levin, που μας προσέφερε μια μεγάλη σειρά φωτογραφιών των σημείων που απαθανάτισε ο Χόπερ (Levin, 1998), μας επιτρέπει να «παίζουμε» προσθέτοντας, στα πραγματικά τοπία, έναν άνθρωπο εδώ, μια σκιά εκεί ή να αλλάξουμε το χρώμα ενός κτιρίου ή να καθαρίσουμε μια επιφάνεια. Βλέπουμε τότε πως όλα αλλάζουν. Σαν να μπαίνουμε κι εμείς στους πίνακές του ή να βγαίνουμε από αυτούς. Μια μεγάλη διδακτική στοχοθεσία γεννιέται μπροστά στα μάτια του διδασκάλου της γεωγραφίας και του σπουδαστή του.

Μπορούμε να συγκρίνουμε τις επιλογές του Χόπερ με εκείνες του δικού μας Γράββαλου; Υπάρχει μια αναλογία ύφους και αποτύπωσης «θραυσμάτων πόλης» που να είναι κοινή στους δύο καλλιτέχνες; Ας δούμε για λίγο την «Αρχαία αγορά» (Εικ. 5(α)). Γνωρίζουμε ότι στο ζωγάφο αυτό τα αρχαιολογικά μνημεία της Αθήνας, όπως αυτά έχουν ενταχθεί στο σύγχρονο αστικό περιβάλλον της ελληνικής πρωτεύουσας, ασκούν ιδιαίτερη έλξη. Στον πίνακα είναι αισθητή η απουσία κάθε ίχνους ζωντανής ύπαρξης. Μπορούμε όμως να μιλήσουμε για μοναξιά όπως την εννοούμε στο Χόπερ; Θα ήταν ευκολότερο μάλλον να επισημάνουμε κυρίως την απομόνωση του ερειπίου της Ρωμαϊκής Αγοράς, ανάμεσα στα σύγχρονα κτίσματα που το περιβάλλουν. Μια σειρά από ερωτήματα προβάλλουν εδώ. Είναι «σωστή» η θέση του μέσα στη γειτονιά; Θα έπρεπε να συμπληρωθεί η εικόνα πολεοδομικά και ζωγραφικά με κάποιους συνδέσμους ζωής και κίνησης; Είναι ρεαλιστική η απουσία ουρανογραμμής (ορίζοντα) που θα γέμιζε με επιθετικές πολυκατοικίες; Πρόκειται για ερωτήματα που ο δάσκαλος της πόλης θα μπορούσε να θέσει στους μαθητές του σε σχέση με μια κριτική για τους κατοίκους της πόλης οι οποίοι, συχνά, αγνοούν και, πάντως, δε σέβονται όσο θα έπρεπε, τη μοναδική τους πολιτιστική αθηναϊκή κληρονομιά.



Εικόνα 5. Πίνακες του Γράββαλου: (α) Αρχαία Αγορά, (β) Νεοκλασικό προς κατεδάφιση, (γ) Γωνιά της παλιάς Αθήνας, (δ) Γραμματόσημο με άποψη του Αγ. Νικολάου (Κρήτη).

Και για το «Νεοκλασικό προς κατεδάφιση» (Εικ. 5 (β)) τίθενται παρόμοια με τα προηγούμενα ερωτήματα. Εκείνο που συγκινεί ιδιαίτερα είναι ο τίτλος του. Τίτλος ειρωνικός και πένθιμος για το χαμένο νεοκλασικό της Αθήνας. «Προς κατεδάφιση». Η εργολαβική επίθεση κατά του χώρου της ελληνικής πόλης κατέστησε όλα τα μικρότερα και παλαιότερα κτίσματα, δηλαδή όλη τη νεότερη «πρόσοψη» της ελληνικής πόλης, αντικείμενα προς κατεδάφιση. Για όποιον λοιπόν θαυμάζει αυτό το «άγαλμα» –ας θυμηθούμε πως ο κάτοικος της πόλης αγάλλεται και με τη θεά όμορφων οικημάτων αν έχει έτσι διαπαιδαγωγηθεί– ασ

γνωρίζει ότι δεν θα το ξαναδεί.

Μέσα από οπτικές γωνίες και με γωνιές των ίδιων των κατασκευών, ο ζωγράφος καταφέρνει να αναπαραστήσει πιστά τη διαχρονικότητα του αθηναϊκού τοπίου και το «πάντρεμα» των πολιτισμών του. Διασώζει επίσης κομμάτια της πόλης που αύριο, ίσως «θυσιασθούν» και αυτά στο βωμό του εργολαβικού κέρδους. Η «Γωνιά της παλιάς Αθήνας» (Εικ. 5 (γ)) αποτελεί μια ενδιαφέρουσα περίπτωση όπου, μαζί με τη γεωγραφία και την ιστορία της πόλης, ο καλλιτέχνης καταφέρνει, να αποτυπώσει την κλασική ομορφιά, τη βυζαντινή ευλάβεια και τη νεοκλασική αγωνία του 19ου αιώνα για απεικόνιση της συνέχειας της φυλής. Μιας φυλής που πάντως αυτοεπιβεβαιώνεται με την νεωτεριστική αυθάδεια της εποχής μας.

Περισσότερο από όσο συμβαίνει στο έργο πολλών άλλων ομοτέχνων του, το έργο του Γράββαλου, κυριαρχείται από φανερή ρεαλιστική διάθεση και σχεδιαστικό οίστρο, πράγμα που έτσι τον φέρνει κοντά στο γεωγράφο. Θα σταθούμε γι' αυτό, ιδιαίτερα, σε μια πολυσύνθετη εργασία του Π. Γράββαλου, η οποία συνδέει άμεσα τον καλλιτέχνη με την «πολεογραφία» (Εικ. 5 (δ)). Αναφερόμαστε στις τέσσερες σειρές γραμματοσήμων με ελληνικές πόλεις που φιλοτέχνησε ο καλλιτέχνης αυτός. Έχουν τον τίτλο, «Πρωτεύουσες Νομών και χαρακτηριστικά στοιχεία τους» (1988-1994). Και μάλιστα το υλικό για τα «εικονίδια» που είναι τα γραμματόσημα αποτέλεσε αργότερα (1997) το έναυσμα για μια σειρά χαρακτηριστικών συνθέσεων με τίτλο «Τοπία».

## 5. Αντί για συμπεράσματα: Για μια γόνιμη διαθεματική διδακτική συνεργασία Γεωγραφίας και Ζωγραφικής

Πολύ κοντά στη Γεωγραφία, η ζωγραφική προσφέρει, χάρη στη διαθεματική προσέγγιση, ευκαιρία για ανανέωση των διδακτικών στόχων (: πιο κοντά στον άνθρωπο) και των διδακτικών μεθόδων (: πιο κοντά στο σπουδαστή/στη σπουδάστρια) του γεωγραφικού μαθήματος.

Στα παραδείγματα που δώσαμε από το έργο τεσσάρων εικαστικών καλλιτεχνών προτείναμε την παραδοξότητα του René Magritte ως «οδηγό» Διδακτικής, αντλήσαμε ιδέες από την «ιχνογραφία» και τις «μαθητικές» επιδόσεις του Jaspers Johns, επισημάναμε τα στοιχεία ανασυγκρότησης της Γεωγραφίας που περιλαμβάνει η ανθρωποκεντρική ματιά του Edward Hopper και ξαναθέσαμε σε όρους της «πολεογραφίας» του έλληνα χαρακτήρι-ζωγράφου Παναγιώτη Γράββαλου θέματα της αστικής γεωγραφίας του ελληνικού χώρου.

Σε κάθε περίπτωση ο διδάσκων μπορεί να αναζητά τον ανώτερο («υπερ-κλαδικό») στόχο που θα υπηρετήσει δια μέσου της ζωγραφικής εικονογραφίας και να «διαβάξει» με τη βοήθεια του δημιουργού το χώρο που έχει παραγάγει η κοινωνία. Η αναζήτησή του στο χώρο της καλλιτεχνικής δημιουργίας θα είναι εποικοδομητική και για τον ίδιο.

## Βιβλιογραφία

Αθανασάκης, Α., 2003: Η διαθεματική οργάνωση και λειτουργία της σχολικής γνώσης: Γνωστικές, κοινωνικές και πολιτισμικές επιπτώσεις και προοπτικές, Πρακτικά 1ου Συνεδρίου της Ένωσης για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Εκδ. Γρηγόρη, Αθήνα, 131-134.

Γαργαντούδης, Ε., Σ. Χατζηδημητρίου, Χ. Ντουνιά, Θ. Μέντη, 2006: Κείμενα Νεοελληνικής Λογοτεχνίας, Β' Γυμνασίου, ΟΕΔΒ.

Δουκέλλης, Π., [Επιμέλεια], 2005: Το ελληνικό τοπίο, Εστία.

Λιάκος, Α., 2007: Πώς το παρελθόν γίνεται ιστορία;, Πόλις, 70-74.

Παπανούτσος, Ε. Π., 1965: Αγώνες και αγωνία για την παιδεία, Ίκαρος, 264-268.

Ρέντζος, Γ., 2006: Ανθρωπογεωγραφίες της πόλης, Εκδ. Τυπωθήτω-Δαρδανός, Αθήνα, 113-163.

Ρέντζος, Ι., 2002: Η προσληψη του γεωιστορικού περιβάλλοντος – Παραδείγματα απο την Πρέβεζα, 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002. Ήμερίδα περιβάλλοντος, CD Rom.

Τερκενλή, Θ., 1996: Το πολιτισμικό τοπίο: γεωγραφικές προσεγγίσεις, Παπαζήση.

Χρονοπούλου, Α., 2006: Η «διαθεματικότητα» πάλι στο προσκήνιο· η σύγχυση του Π.Ι. – και όχι μόνο– για το θέμα: Η σχετική συζήτηση εξελίσσεται, Σύγχρονη Εκπαίδευση, 146, 9-16.

Buckminster Fuller Institute, 1991: Dymaxion GLOBE, Shasta Visions.

Crow, Th. 2004: The Rise of the Sixties, Laurence King Publishing, London, [1996], 19.

Dagen, Ph., 2005: La peinture à l'épreuve de la géographie et du régionalisme, Le Monde, 16.7.2005, 22.

Daniels, S., 1994: The Political Iconography of Woodland in Later Georgian England. Cosgrove, D. & S. Daniels, [Ed.], The Iconography of Landscape, Cambridge University Press, 43-82.

Dubbini, R., 2002: Geography of the Gaze, University of Chicago Press, 12.

Engert, J., 1964: Εγκυκλοπαιδισμός, Μεγάλη Παιδαγωγική Εγκυκλοπαίδεια, τ. 2, Ελληνικά γράμματα, σελ. 291.

Gail, L., 1998: Hopper's Places, University of California Press, 2nd Ed.

Graves, N.J., 1975: Geography in Education, Heinemann.

Haggett, P., 1990: The Geographers Art, Blackwell, Oxford, 16-17.

Harent, S., 2005: Peindre la ville au XVIIIe siècle. Gady A. et J. –M. Pérouse de Montclos [Catalogue sous la direction de:], De l'Esprit des villes, Ville de Nancy. 206-215.

Harley, J.B., 1996: Deconstructing the Map. Agnew, J., D.N. Livingstone & A. Rogers, Human Geography, Blackwell, Oxford, 422-443.

Jantsch, E., 1972: Vers l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité dans l'enseignement et l'innovation. Léo Apostel et al., L'interdisciplinarité, OCDE/CERI, 108, 109.

Lyons, D., 1995: "Introduction". Lyons D. and A. Weinberg, Edward Hopper and the American Imagination, Whitney Museum, xi, xii.

Snow, C.P., 1995: Οι δύο κουλτούρες, [Εισαγωγή.: St. Collini, Μτφ.: Μ. Τζαντζή], Ελληνικά γράμματα.

The Economist, 1984: "Seeing is deceiving", 22 Dec. 1984, 77-83.

URL1 <http://www.pi-schools.gr/programs/depps> όπου το Διαθεματικό ενιαίο πλαίσιο προγραμμάτων σπουδών (ΔΕΠΠΣ) και τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών (Α.Π.Σ.) υποχρεωτικής εκπαίδευσης.

URL2: <http://www.moma.org>.

URL3: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nighthawks>.

Weber, M., 2003: Η πόλη, Κένταυρος, 2003, 50 [Παράθεμα του μεταφραστή Θ. Γκιούρα].

## ΜΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σπανός Κ.<sup>2</sup>, Ρέντζος Ι.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Τμήμα Κοινωνικής Ανθρωπολογίας και Ιστορίας, Παν. Αιγαίου

<sup>2</sup>3<sup>ο</sup> Λύκειο Ηρακλείου Αττικής

### Περίληψη

Στην εισήγηση ανακοινώνονται τα αποτελέσματα έρευνας με ερωτηματολόγιο που πραγματοποιήθηκε στις αρχές του έτους 2007 και συμπεριέλαβε τμήματα γυμνασίων και λυκείων του Λεκανοπεδίου Αττικής (400 παιδιά). Οι ερωτήσεις που τέθηκαν εντάσσονται κυρίως στην παραδοσιακή σχολική «ονοματολογική γεωγραφία» (Place-name Geography) και αφορούν αποκλειστικά τον ελλαδικό χώρο. Η χώρα προσεγγίζεται φυσικογεωγραφικά (π.χ. ποταμοί, νησιά) και πολιτικογεωγραφικά (π.χ. όρια, πόλεις). Ωστόσο πολλές ερωτήσεις επικεντρώνονται στη γεωγραφία της αρχαίας πολιτιστικής κληρονομιάς και στη γεωγραφική κατανομή της παραδοσιακής οικονομικής και πολιτιστικής δραστηριότητας καθώς και στη σύγχρονη ζωή της χώρας με επίκεντρο τις πόλεις. Με τα συμπεράσματα ποσοτικοποιείται η ανεπάρκεια των ερωτώμενων σε συγκεκριμένα ζητήματα (π.χ. προσέγγιση των Θερμοπυλών στη Σπάρτη, αδυναμία προσδιορισμού της Πάτρας ως μεγαλύτερης πόλης της Πελοποννήσου κ.ά.) ενώ αναδεικνύεται μια καλή γνώση της Κρήτης και μερικών παραδοσιακών προϊόντων (π.χ. μαστίχα Χίου).

### AN EVALUATION OF GEOGRAPHY TEACHING IN THE GREEK GENERAL EDUCATION –RESULTS OF A RESEARCH PROJECT

Spanos K.<sup>2</sup>, Rentzos I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Social Anthropology and History, University of the Aegean

<sup>2</sup>3<sup>rd</sup> Lyceum, Iraklio, Attica

### Abstract

The text presents the results of a questionnaire-based research conducted in early 2007 in certain lower secondary and upper secondary schools of Attica (400 boys and girls). The questions posed belong mainly to the traditional "Place-name Geography" taught in schools, and relate exclusively to the Greek space. The country is seen in terms of physical geography (e.g. rivers, islands), and political geography (e.g. boundaries, cities). Nevertheless, many questions focus on the geography of ancient cultural heritage, and on the geographic distribution of traditional economic and cultural activity, as well as on the contemporary life of the country, with a particular stress upon cities. The conclusions help quantify the participants' insufficient knowledge on specific issues (e.g. proximity of Thermopylae to the town of Sparta, inability to identify Patras as the largest city of the Peloponnese, and more), while showing a sound knowledge of Crete and of certain traditional products (mastic of Chios).

**Λέξεις κλειδιά:** Ονοματολογική γεωγραφία, πολιτισμική γεωγραφία, πόλεις.

**Key words:** Place-name Geography, Cultural geography, Greek cities.

### 1. Εισαγωγή

Η παρούσα ανακοίνωση παρουσιάζει τα αποτελέσματα έρευνας με ερωτηματολόγιο που

πραγματοποιήθηκε από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο 2007 σε επτά τμήματα γυμνασίων (γ' τάξη) και επτά τμήματα λυκείων (β' τάξη) της βορειοανατολικής Αττικής. Η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, σε κάθε τμήμα, διήρκεσε μια διδακτική ώρα, χωρίς να υπάρξει σχετική προειδοποίηση.

Μολονότι παρόμοια έρευνα έχει ανακοινωθεί και κατά το παρελθόν και αφορά μαθητές της ΣΤ' τάξης του δημοτικού (Πουλιδής, 1999), πλαίσιο της παρούσας έρευνας αποτελεί η γεωγραφική εκπαιδευτική κατάσταση «άμπωτης και πλημμυρίδας» (Leontidou & Rentzos, 2004). Αυτή χαρακτηρίζει τη διδασκαλία της γεωγραφίας στην ελληνική δευτεροβάθμια εκπαίδευση όπου επί πολλά χρόνια το μάθημα αυτό δεν αποτελεί πλέον αντικείμενο προγραμμάτων και εξετάσεων λυκείου και προετοιμασίας για τις εισαγωγικές δοκιμασίες ΑΕΙ/ΤΕΙ, σε αντίθεση με το γεγονός ότι ήδη σε δύο πανεπιστήμια υπάρχουν τώρα σπουδές που οδηγούν σε πτυχίο γεωγραφίας (πέρα από την παλαιότατη φυσική γεωγραφία και τη γεωλογία) και επιτρέπουν την παραγωγή πτυχιούχων με ειδικά προσόντα οι οποίοι θα έπρεπε να αξιοποιηθούν. Η απουσία τέτοιων προπανεπιστημιακών διαδικασιών 1) δεν επιτρέπει πρόσβαση σε δεδομένα εξετάσεων / θεματογραφίας / βαθμολογήσεων· 2) δεν ενισχύει τη γεωγραφική γνώση και εκπαίδευση στην ελληνική κοινωνία. Αυτό διαφοροποιεί εκπαιδευτικά τη χώρα από το γεω-πολιτισμικό της περιβάλλον και τη γεωπολιτική της γειτονιά. Εξάλλου δεν υπάρχει καμία διαδικασία εκτίμησης των «τερματικών» γεωγραφικών γνώσεων των αποφοίτων λυκείου οι οποίες ενδεχομένως αποκτώνται, τελικά, υπό συνθήκες κοινωνικής διάδρασης μετά το δημοτικό και το γυμνάσιο.

Στόχος του ερωτηματολογίου ως ερευνητικής διαδικασίας είναι:

1. να ποσοτικοποιηθεί η επάρκεια/ανεπάρκεια των ερωτώμενων σε απλά ζητήματα «γεωγραφίας άπλαντα» και διοικητικής γεωγραφίας του ελλαδικού χώρου (π.χ. Τα Γρεβενά είναι πόλη της Θράκης;)
2. να διερευνηθεί η επάρκεια/ανεπάρκεια των ερωτώμενων σε ποικίλα θέματα στοιχειώδους γεωγραφικής κουλτούρας (οικονομικής, πολιτικής και πολιτισμικής γεωγραφίας [π.χ. Κοντά σε ποια πόλη βρίσκεται η Αρχαία Ολυμπία;])
3. να αναδειχθεί η ενδεχόμενη και αναμενόμενη διαφορική συμπεριφορά μαθητών/μαθητριών (Ρέντζος, 2006)
4. να αναδειχθεί η ενδεχόμενη και αναμενόμενη διαφορική συμπεριφορά παιδιών γυμνασίου/ παιδιών λυκείου·
5. να αναδειχθούν μερικές δομές γεωγραφικής γνώσης, π.χ. η ενεργητική «πολεογνωσία» ανά περιφέρεια· και
6. να συσχετιστεί η απόδοση των παιδιών του -εθνικού και διεθνούς- αθηναϊκού «melting pot» με την προέλευση του νοικοκυριού στο οποίο ανήκουν (π.χ. γονείς Έλληνες/γονείς αλλοδαποί [Smolicz, 1979], γονείς Αθηναίοι/γονείς επαρχιώτες, μικτά ελληνικά ζευγάρια και μικτά διεθνή ζευγάρια).

Τα θέματα, δηλαδή οι 103 ερωτήσεις σε επτά ομάδες καθώς και οι απαντήσεις τους, φαίνονται στο Παράρτημα 1, ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ όπου αποδίδονται υπό μορφή πινάκων αναλόγων με τη μορφή του ερωτηματολογίου ενώ παρέχεται και ο μέσος όρος της βαθμολογίας που επετεύχθη κατά ερώτηση σε εκατοστιαίο ποσοστό επιτυχών απαντήσεων.

Στη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου έλαβαν μέρος 398 παιδιά (οι στρογγυλεύσεις έγιναν στο 400) με επιδόσεις που εκφράζονται 1) από βαθμολογικό μέσο όρο περίπου 50% (=50,24%) και 2) ανώτερη επίδοση 91% (94 απαντήσεις στις 103 ερωτήσεις). Από όλες τις ερωτήσεις, η λιγότερο ευνοημένη (1,75%) υπήρξε αυτή που ζητά τοποθέτηση στον ελλαδικό χώρο της Αρχαίας Ιθώμης (5<sup>η</sup> Ομάδα, αριθμός 6) ενώ η περισσότερο ευνοημένη είναι αυτή που ζητά συσχέτισμό του Παρθενώνα με μια πόλη (90,50%) (4<sup>η</sup> Ομάδα, αριθμός 1). Μπορούμε να υποθέσουμε ότι το συμπλήρωμα (100-90,50 =) 9,50% θα αποτελεί το ποσοστό των παιδιών που αδιαφόρησαν για το ανώνυμο και μη βαθμολογούμενο τεστ.

## 2. Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων – Πρώτα συμπερασματικά σχόλια

Παρουσιάζουμε εδώ μερικά κύρια χαρακτηριστικά των απαντήσεων του ερωτηματολογίου, από τα οποία προκύπτουν έμμεσα συμπεράσματα στα οποία μπορεί να αχθεί ο αναγνώστης.

Στην **1<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων** (βλ. Παράρτημα 1, ΠΙΝΑΚΑΣ 1<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ) η ερ. Β που αφορά τα σύνορα της Ελλάδας έχει πολύ καλό ποσοστό απαντήσεων, η ερ. Δ χαρακτηρίζεται από πλειονότητα λανθασμένων απαντήσεων (που παρουσιάζουν την Αδριανούπολη ως ελληνική πόλη), ενώ η ερ. ΣΤ δεν δίνει την αναμενόμενη πλειοψηφία στην Πάτρα ως μεγαλύτερη πόλη της Πελοποννήσου.

στην **2<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων** (βλ. Παράρτημα 1) οι ερ. Δ και Ε που αφορούν τον Αλιάκμονα και τον Πηνειό (τους Πηνειούς) έχουν λάβει καλές «σχολικές» απαντήσεις αλλά οι αιφνιδιαστικές ερ. ΣΤ και Ι περί Ροδανού και Δούναβη βρίσκουν απροετοίμαστα τα παιδιά.

στην **3<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων** η Κρήτη (ερ. 10) ευνοείται από τη γνώση των πόλεων της (73,25% των ερωτώμενων δίνουν 3 πόλεις) μαζί με την Πελοπόννησο (ερ. 10· 71,50% των ερωτώμενων δίνουν 3 πόλεις), όχι όμως και η Θράκη (ερ. 1· 25,75% με 3) και το Αιγαίο Πέλαγος (ερ. 7· 29,00% με τρεις).

στην **4<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων** ο Παρθενώνας (ερ. 1/απ. γ· 90,50%) και ο Λευκός Πύργος (ερ. 3/απ. κ· 81,25%) «χωροθετούνται» άνετα ενώ το Εργοστάσιο της ΔΕΗ (στην Πτολεμαΐδα) και η λίμνη της Καστοριάς βρίσκουν χαμηλότερα ποσοστά απαντήσεων (31,75% και 44,25%, αντίστοιχα).

στην **5<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων** μόνο ο αρχαιολογικός χώρος της Κνωσού (ερ. 4) χωροθετείται από ποσοστό ερωτώμενων μεγαλύτερο του ημίσεως (56,75%), ενώ ο Μαραθώνας βρίσκεται στο όριο του 50,25% και οι Δελφοί, οι Θερμοπύλες και οι Μυκήνες μόλις ξεπερνούν τα όρια του 20%, τα οποία αγγίζουν η Δωδώνη και η Δήλος, όχι όμως οι Φίλιπποι και καθόλου η «άγνωστη» Αρχαία Ιθώμη (1,75%).

στην **6<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων**, με προεξάρχουσα απάντηση τη «μαστιχα Χίου» (ερ. 9· 82,50%) και καλή γνώση των Λουκουμιών Σύρου, το χαλβά Φαρσάλων και το ούζο Μυτιλήνης, οι ερωτώμενοι δείχνουν κάποια καλή «ελλαδογνωσία» που όμως υποχωρεί σε άλλα προϊόντα ή εκμηδενίζεται στα βιομηχανικά/εξορυκτικά προϊόντα. (Εκ παραδρομής εδόθη «αλουμίνιο» αντί π.χ. «βωξίτης» αλλά αυτό οδηγεί στο ερώτημα κατά πόσο τα παιδιά έχουν συνδέσει μεταξύ τους τα δύο αυτά προϊόντα εξόρυξης/μεταλλουργίας).

στην **7<sup>η</sup> ομάδα ερωτήσεων**, με ευνοημένη εκ κατασκευής τη μεγαλόνησο Κρήτη (ερ. 3) επισημαίνουμε την ισοδυναμία Κορίνθου (51,50% – Ισθμός) και Αράχοβας (50,75% – χιονοδρομικό κέντρο), τη θέση της Σπάρτης, την ομαδοποίηση Ζάκυνθος-Κέρκυρα-Ρόδος και Άρτα-Γιάννενα. Είναι επίσης χαρακτηριστική η αυστηρή ομαδοποίηση Πύλος-Πρέβεζα-Σουφλί, για τις μικρές αυτές πόλεις της εξώτερης περιφέρειας.

Χωρίς να έχουμε την πρόθεση να εκθέσουμε μαργαρίτες, οφείλουμε σε πρώτη προσέγγιση να προβούμε και στα εξής σύντομα σχόλια: 4<sup>η</sup> ομ/3<sup>η</sup> ερ.: Η Αθήνα δίνεται (απροσδόκητα;) ως πόλη που «έχει Μουσουλμάνους»· 5<sup>η</sup> ομ/9<sup>η</sup> ερ.: Οι Μυκήνες χωροθετούνται συχνά στην Κρήτη· 5<sup>η</sup> ομ/11<sup>η</sup> ερ.: Οι Θερμοπύλες χωροθετούνται συχνά στη Σπάρτη («γεωγραφική λογική;») και μια φορά στο Μεσολόγγι («ηρωικό πνεύμα;»)· 7<sup>η</sup> ομ./11<sup>η</sup> ερ.: Η Πρέβεζα εμφανίζεται ως βόρεια κτηνοτροφική περιφέρεια (γάλα, παλτά)· 7<sup>η</sup> ομ./9<sup>η</sup> ερ.: Χαρακτηριστικό της Θήβας; Ηφαίστειο (Σύγχυση με Θήρα);· 7<sup>η</sup> ομ./14<sup>η</sup> ερ.: Παπαφλέσσας αντί Αλή Πασάς· 7<sup>η</sup> ομ./14<sup>η</sup> ερ.: Συμφυρμιοί: *Θράκη* αντί *Ιθάκη*, *Σουφλί* αντί *Σούλι*, *μινωικός* αντί *μυκηναϊκός* (πολλές φορές)· *Μέλανας Δρυμός* αντί *μέλανας ζωμός*· *μήλα Μήλου*...

## 3. Επαλήθευση υποθέσεων – Γνώση των πόλεων – Ειδικότερες παρατηρήσεις

Το καλύτερο γραπτό με 94 σωστές απαντήσεις (από τις 103 ερωτήσεις) προέρχεται από



αγόρι, ενώ πιο κάτω στην κατάταξη κατά φθίνουσα βαθμολογία, τα επόμενα τρία γραπτά με επίδοση άνω των 90 σωστών απαντήσεων, προέρχονται επίσης από αγόρια, τα οποία καταλαμβάνουν 7 θέσεις στις πρώτες δέκα με καλύτερα γραπτά. Ας σημειώσουμε εδώ ότι η Halpern, αναφερόμενη στον παναμερικανικό (ΗΠΑ) διαγωνισμό γεωγραφικών γνώσεων National Geography Bee με συμμετοχή μερικών εκατομμυρίων αγοριών και κοριτσιών (δεδομένα 1993), αναφέρει ότι από τους 18.000 νικητές των σχολείων οι 14.000 ήταν αγόρια ενώ από τους 57 «πολιτειακούς» νικητές (των 50 πολιτειών των ΗΠΑ και των 7 εδαφών που υπάγονται σε αυτές) δύο μόνο ήταν κορίτσια και οι υπόλοιποι ήταν αγόρια (Halpern, 2000). Εξάλλου, το πρώτο γραπτό από αλλοδαπό παιδί (18<sup>η</sup> θέση με 84 απαντήσεις, από 55 συνολικά συμμετοχές αλλοδαπών μαθητών/μαθητριών), προέρχεται από αγόρι. Ακολουθούν εναλλάξ (κορίτσια και αγόρια) στις θέσεις 60, 93, 101 και 111 και παρακάτω. (Στις τελευταίες 40 θέσεις ευρίσκονται 11 αλλοδαπά παιδιά, δηλ. 4 αγόρια και 7 κορίτσια. Δεν κάναμε συστηματικότερη ανάλυση για τα αλλοδαπά παιδιά σχετική με το σημείο 6 της εισαγωγής).

Πίνακας 1 Πλήθος συμμετοχών και επιδόσεις κατά βαθμίδα και φύλο

	ΑΓΟΡΙΑ		ΚΟΡΙΤΣΙΑ		ΑΓΟΡΙΑ + ΚΟΡΙΤΣΙΑ	
	ΠΛΗΘΟΣ	ΜΟΒΑΘ	ΠΛΗΘΟΣ	ΜΟΒΑΘ	ΠΛΗΘΟΣ	ΜΟΒΑΘ
<b>ΓΥΜΝΑΣΙΟ</b>	108	47,33	91	53,40	199	50,10
<b>ΛΥΚΕΙΟ</b>	91	51,57	108	49,38	199	50,37
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	199	49,27	199	51,22	398	<b>ΜΟ 50,24</b>

ΜΟΒΑΘ = Μέσος όρος βαθμολογίας ως ποσοστό (%). ΓΜΟ = Γενικός Μέσος Όρος

Τα ανωτέρω επαληθεύουν εν μέρει την υπόθεσή μας (σημεία 3 και 4 της εισαγωγής) περί διαφορικής επίδοσης των φύλων (αγόρια/κορίτσια) και των βαθμίδων (γυμνάσιο/λύκειο) ωστόσο 1) η υψηλή σχετική θέση των κοριτσιών του γυμνασίου και 2) η σχετική βύθιση των συνομηλικών αγοριών εισάγουν σαφέστερες ασυμμετρίες. Ως προς τα κορίτσια γυμνασίου/λυκείου θα μπορούσαμε εδώ, με κάθε επιφύλαξη, να υποστηρίξουμε το εξής για το ιδιάζον προφίλ επιδόσεών τους: Τα κορίτσια του γυμνασίου που είναι ακόμα εκτεθειμένα στη διδασκαλία της γυμνασιακής γεωγραφίας διατηρούν μια σχέση επιμέλειας με τη γεωγραφική κουλτούρα, που θεωρείται ανδρική κουλτούρα του «έξω». Καθυστερούν δηλαδή ακόμα να πάρουν τη σύμφωνη με το φύλο τους θέση στη διχοτομία που εκφράζεται από το γενικό σχήμα ΚΡΑΤΟΣ (άντρας, έξω, ταξίδι) / ΚΟΙΝΩΝΙΑ (γυναίκα, μέσα, σπίτι) (Okim, 2000· Coutras, 1996). Το μεγαλύτερο κορίτσι, που είναι περισσότερο ενταγμένο στη γυναικεία κουλτούρα, βρίσκεται απομακρυσμένο από τη μαθητική γεωγραφική κουλτούρα και –κυρίως– την κατάφασή της. Αυτή η απομάκρυνση, που αναδεικνύεται με την υστέρηση που δείχνουν τα κορίτσια και μάλιστα τα μεγαλύτερα, είναι ήδη παρατηρημένη (Ρέντζος, 2006· Τραγάκη και Χουλιαράς, 2004).

Γενικά, σε πολλές ερωτήσεις συμβαίνει η πρώτη πιο συχνή απάντηση που αναφέρεται στη μεγαλύτερη πόλη να συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό προτιμήσεων (ίσο π.χ. με το ένα τρίτο του συνόλου των αναφορών) υπό τύπο «σφραγίδας» της αντίστοιχης περιφέρειας. Οι υπόλοιπες προτιμήσεις πόλεων ακολουθούν άλλη σειρά, ανεξάρτητη από τον πληθυσμιακό μέγεθος (πρβλ. συντελεστές συσχέτισης  $r_1$  και  $r_2$  στον Πίνακα 2) υπό τύπο βαθμιαίας συγκρότησης νοητού χάρτη (Gould & White, 1986). Εξάλλου συμβαίνει να επιλέγονται κατά συντριπτική πλειοψηφία οι ίδιες απαντήσεις (π.χ. η τριάδα Αλεξανδρούπολη-Ξάνθη-Κομοτηνή). Παρουσιάζουμε ενδεικτικά στον Πίνακα 2 την «πολεογνωσία» της Μακεδονίας

με βάση τα 100 πρώτα αρχειοθετημένα φύλλα ερωτηματολογίου παιδιών λυκείου και στον Πίνακα 3 την «πολεογνωσία» της Θράκης με βάση τα 50 επόμενα φύλλα ερωτηματολογίου παιδιών λυκείου. Εξάλλου με αντιπαραβολή των δυο πινάκων φαίνεται άμεσα η σχετική πολεογνωσία για τις δυο περιφέρειες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ, ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΙ ΣΥΣΩΡΕΥΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΤΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΣΕ 100 ΦΕ			ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑΦΟΡΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΤΗΣ ΘΡΑΚΗΣ ΣΕ 50 ΦΕ	
ΠΟΛΗ	ΑΝΦ	ΣΤ	ΠΟΛΗ	ΑΝΦ
Θεσσαλονίκη	63	=63	Αλεξανδρούπολη	22
Κοζάνη	28		Ξάνθη	18
Καστοριά	13		Κομοτηνή	14
Γρεβενά	11		Διδυμότειχο	1
Δράμα	10	=62	Σουφλί	1
Σέρρες	9		Σύνολο αναφορών πόλεων	56
Κατερίνη	8		Μέσος όρος αναφορών = $56/50 = 1,12$ πόλεις ανά ΦΕ.	
Βέροια	7		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Συντελεστής συσχέτισης αναφορών και πληθυσμών των πρώτων 12 μακεδονικών πόλεων του Πίνακα 2 (με τη Θεσσαλονίκη) <math>r_1 = 0,928 \approx +1</math> των επόμενων 11 μακεδονικών πόλεων (χωρίς τη Θεσσαλονίκη) <math>r_2 = 0,050 \approx 0</math>.</li> </ul>	
Έδεσσα	7			
Καβάλα	7			
Φλώρινα	6			
Κιλκίς	5			
Σιδηρόκαστρο	1			
Άγιον Όρος	1			
Πολύγυρος	1			
Προμαχώνας	1	=53		
Σύνολο αναφορών πόλεων	178			
Μέσος όρος αναφορών = $178/100 = 1,8$ πόλεις ανά ΦΕ.			<p>Σημείωση:</p> <p>ΦΕ = Φύλλα ερωτηματολογίου, ΑΝΦ = Αναφορές, ΣΤ = Συσσωρευτικές τιμές</p>	

Πίνακας 4 Καταγωγή πατέρα και μητέρας όπως αναφέρονται στα πρώτα 24 ΦΕ

ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΠΑΤΕΡΑ	ΚΑΤΑΓΩΓΗ ΜΗΤΕΡΑΣ				
Καρδίτσα	Τρίκαλα	Κρήτη	Θεσσαλία	Αττική	Ρέθυμνο
Καλαμάτα	Εύβοια	Αγρίνιο	Αθήνα	Ν. Ροδόπης	Ν. Ροδόπης
Κρήτη	Κεφαλονιά	Αγρίνιο	Κομοτηνή	Αθήνα	Χαλκίδα
Πύργος	Τρίπολη	Άρτα	Ιωάννινα	Αθήνα	Αθήνα
Αθήνα	Αθήνα	Αθήνα	Κρήτη	Αθήνα	Αθήνα
Νάξος	Κύθηρα	Αμφιλοχία	Αθήνα	Κεφαλονιά	Αθήνα
Αθήνα	Καλαμάτα	Θεσσαλονίκη	Λειβαδιά	Ήπειρος	Αθήνα
Ήπειρος	Ήπειρος	Καβάλα	Θάσος	Ν. Αργολίδας	Ν. Αργολίδας

*Σημείωση:* ΦΕ = Φύλλα ερωτηματολογίου· εξαιρέθηκαν ΦΕ αλλοδαπών ή με ανακριβή στοιχεία γονέων.

Αναφερόμαστε, τέλος, στην απόδοση των παιδιών ανάλογα με την προέλευση του (αμιγούς ελληνικού) νοικοκυριού στο οποίο ανήκουν (σημείο 6 της εισαγωγής). Στα περισσότερα από 40.000 πολυπαραμετρικά δεδομένα που χρειάστηκε να επεξεργαστούμε δεν επιμείναμε ιδιαίτερα σε αντιστοιχίσεις επιδόσεων και προέλευση γονέων. Ωστόσο επισημάναμε πληθώρα επιτυχιών απαντήσεων που αποδώσαμε στη συγκρότηση του νοικοκυριού. Ο Πίνακας 4 (που προέκυψε από τα πρώτα αρχειοθετημένα 24 φύλλα ερωτηματολογίου παιδιών γυμνασίου με (δύο) έλληνες γονείς) αναδεικνύει, ενδεικτικά, το καλειδοσκοπικό ανθρώπινο / ανθρωπογεωγραφικό περιεχόμενο των σχολικών τάξεων του λεκανοπεδίου. (Είναι φανερό ότι θα μπορούσε να γίνει μια αξιοποίηση αυτού του δυναμικού στα πλαίσια της διδασκαλίας της γεωγραφίας).

#### 4. Συμπεράσματα

Στην έρευνα με ερωτηματολόγιο που παρουσιάσαμε προτείναμε 103 ερωτήσεις σε 398 μαθητές και μαθήτριες γυμνασίου και λυκείου που χωρίσαμε σε τέσσερις ομάδες ΑΓ (αγόρια γυμνασίου), ΑΛ (αγόρια λυκείου), ΚΓ (κορίτσια γυμνασίου), ΚΛ (κορίτσια λυκείου). Οι ερωτήσεις αντιστοιχούν στην κατώτερη βαθμίδα «γνώσεων» της αξιολογικής ιεραρχικής ταξινόμησης («ταξινόμιας») κατά Bloom (Bloom - Krathwohl, 1986). Αυτή είναι η βαθμίδα που συνδέεται με την παραδοσιακή σχολική διδασκαλία και γνώση της γεωγραφίας. Κατά την έννοια αυτή, αφού όπως είπαμε, το σύνολο των 400 περίπου παιδιών απέδωσε, κατά μέσο όρο, μόλις κάτι περισσότερο από το ήμισυ (50,24%) των σωστών απαντήσεων, αυτό θα πρέπει να θεωρηθεί ως χαμηλό αποτέλεσμα αξιολόγησης. Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη το γεγονός ότι σε μερικές ερωτήσεις θεωρήθηκαν σωστές γενικότερες απαντήσεις (π.χ. του τύπου «Κεφαλονιά», όπως «Κέρκυρα», «Λευκάδα»), λόγω παντελούς απουσίας λεπτομερέστερων απαντήσεων (π.χ. του τύπου «Αργοστόλι», «Ληξούρι» που θα προσδιόριζαν πόλη και όχι νησί), ο βαθμολογικός μέσος όρος είναι μικρότερος του υπολογισθέντος. Εξάλλου, πολλές απαντήσεις του τύπου «Κολοσσός της Ρόδου» (7<sup>η</sup> ομ./ερ. 16) κάθε άλλο παρά απορρέουν από γεωγραφική γνώση, ενώ εξάλλου η απάντηση «Διονύσιος Σολωμός» (7<sup>η</sup> ομ./ερ. 1) δεν οφείλεται σε πραγματικές γεωγραφικές σχολικές γνώσεις. Σημειώνουμε εδώ ότι στην ερώτηση όπου αναφέρεται «συλλεκτικά» η Κεφαλονιά (3<sup>η</sup> ομάδα/6<sup>η</sup> ερώτηση), παραλείπονται ολοσχερώς οι λιμενικές πόλεις Πρέβεζα και Ηγουμενίτσα. Το Ιόνιο, τελικά, δεν έχει πόλεις αλλά μόνο νησιά, δηλαδή τα νησιά των θερινών διακοπών των παιδιών του Λεκανοπεδίου, που ανασυντάσσουν το νοητικό χάρτη

του. Ας σημειώσουμε επίσης εδώ ότι εάν 1) το *Ναβαρίνο* (γνωστό από τη Ναυμαχία) δεν είχε μετονομαστεί σε *Πύλο* (7<sup>η</sup> ομ. -5<sup>η</sup> ερ.), 2) το τουρκικό όνομα *Εντιρνέ* (Edirne) δεν είχε διωχθεί στη γλώσσα μας από το εξωνύμιο *Αδριανούπολη*, (1<sup>η</sup> ομ. -Δ ερ.), και 3) το ελληνικό όνομα *Θήρα* δεν είχε υποχωρήσει μπροστά στο λατινογενές εξωνύμιο *Σαντορίνη*, η γεωγραφική γνώση των παιδιών θα εμφανιζόταν ενισχυμένη.

Με βάση τα όσα σταχυολογούμε στο σημείο «2. Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων – Πρώτα συμπερασματικά σχόλια», όπου παραπέμπουμε, ο αναγνώστης μπορεί να προβεί σε άμεσες ερμηνείες-συμπερασματικές επιστημονικές που λόγω χώρου δεν θεωρούμε σκόπιμο να κάνουμε αλλά υπονοούμε εκεί. Συμπερασματικό χαρακτήρα προτάσεως έχει και η παρένθεση στο τέλος του σημείου 3 (ανωτέρω).

Κεντρικό συμπέρασμα μπορεί να θεωρηθεί πάντως το εξής: Καθώς οι δύο κύριες υποομάδες γυμνασίου ΓΓ (= ΑΓ+ΚΓ) και λυκείου ΛΛ (= ΑΛ+ΚΛ) δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις επιδόσεων σε σχέση με το γενικό μέσο όρο συμπεραίνουμε ότι 1) παρά τη διετή γυμνασιακή διδασκαλία δεν αναδεικνύεται μια ισχυρή γυμνασιακή γεωγραφική κουλτούρα και 2) τα παιδιά του λυκείου συντηρούν μεν τις αποκτημένες γεωγραφικές γνώσεις τους αλλά, παρά την ωρίμανσή τους που στο μεταξύ μεσολαβεί, δεν μετέχουν σε μια βελτίωση των γνώσεων που θα προέκυπτε από άλλα μαθήματα ή κοινωνική διάδραση. Κατά την έννοια αυτή, τίθεται το αίτημα για 1) επανεισαγωγή της γεωγραφίας στο λύκειο 2) επιλογή του μαθήματος αυτού ως αντικειμένου προετοιμασίας για τις δοκιμασίες εισαγωγής στα ΑΕΙ/ΤΕΙ. Η διατύπωση του αιτήματος αυτού μπορεί να ενθαρρυνθεί ιδιαίτερα από το γεγονός ότι τα λιγότερο «δημοφιλή» ζητήματα του ερωτηματολογίου (μικρές πόλεις, πόλεις νησιών, μικροί αρχαιολογικοί χώροι, ιδιαίτερα προϊόντα) δεν απαντήθηκαν ικανοποιητικά.

Εξαιρέση στο προηγούμενο αποτελεί η Αράχοβα. Ενώ είναι ευχάριστο που μια σύγχρονη μικρή ελληνική επαρχιωτική πόλη είναι έντονα χαρτογραφημένη στο νοητικό χάρτη (δηλαδή στις προτιμήσεις και τις γνώσεις) τετρακοσίων παιδιών του Λεκανοπεδίου, αυτή η κατ' εξαιρέση γνώση επιδέχεται ένα σχολιασμό που συμπτωματικά έχει κάνει με το ερωτηματολόγιό του ένας μαθητής λυκείου (στο ΦΕ με αριθμό 72 και 84 απαντήσεις σωστές). Ούτε λίγο ούτε πολύ, ο έφηβος αυτός κάνει ένα κήρυγμα γεωγραφικής ηθικής για το χώρο και για τη σχέση με αυτόν –άρα και σχετικά με τη γνώση γι' αυτόν: *«Πάνε όλοι στην Αράχοβα για να δουν το τίποτα, γιατί ουσιαστικά πάνε εκεί όχι για να απολαύσουν το τοπίο αλλά για διασκέδαση, η οποία στην εποχή μας είναι ένας κατακλυσμός... Λυπάμαι που η Αράχοβα και η Μύκονος (το καλοκαίρι) γίνονται πόλος έλξης για τους ανεγκέφαλους»*.

Χωρίς να υιοθετούμε τον τελευταίο χαρακτηρισμό, αναγνωρίζουμε πάντως πως ο «72» είναι ένας δικός μας. Όχι όμως απλά για την κριτική του. Η απάντηση που δίνει στην «Πύλο» (7<sup>η</sup> Ομάδα, 6<sup>η</sup> ερώτηση) «Το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου» δείχνει πως το παιδί αυτό είναι ένα από αυτά που αγαπούν τη γεωγραφία και επιθυμούν τη διδασκαλία της αλλά που το εκπαιδευτικό μας σύστημα τους τη στερεί.

## Παράρτημα 1

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

## ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

[Σε αγκύλες περιλαμβάνονται πληροφορίες που δεν υπήρχαν στο ερωτηματολόγιο του τεστ. Στην αρχή εξητούντο στοιχεία ηλικίας, φύλλου, περιοχής καταγωγής του πατέρα και της μητέρας].

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 <sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ			
[Ερωτήσεις «πολλαπλής εκλογής». Με πλάγια γράμματα αποδίδονται οι εκάστοτε σωστές απαντήσεις]			
	%		%
<b>A. Η Ελλάδα βρίσκεται στα ημισφαίρια:</b>		<b>B. Η Ελλάδα έχει γερσαία σύνορα με:</b>	
0. Δεν απάντησαν	2,50	0. Δεν απάντησαν	0,7
1. Νότιο και Ανατολικό	24,50	1. Αλβανία – Ιταλία – Βουλγαρία – Τουρκία – Ρουμανία	2,7
2. Βόρειο και Ανατολικό	54,75	2. Ιταλία – Γαλλία – Αγγλία – Γερμανία – Τουρκία	1,0
3. Νότιο και Δυτικό	9,25	3. FYROM (Σκόπια)- Βουλγαρία – Αλβανία – Τουρκία	81,7
4. Βόρειο και Δυτικό	8,25	4. Αλβανία – FYROM(Σκόπια)- Σερβία – Βουλγαρία – Τουρκία	13,0
<b>Γ. Το Καρπενήσι είναι:</b>		<b>Δ. Η Αδριανούπολη είναι πόλη:</b>	
0. Δεν απάντησαν	3,00	0. Δεν απάντησαν	10,2
1. Νησί των Κυκλάδων	9,75	1. Της Μακεδονίας και ανήκει στη Σερβία	11,0
2. Νησί των Σποράδων	7,00	2. Της Μακεδονίας και ανήκει στην Ελλάδα	22,7
3. Χωριό στο νομό Αρτας	21,75	3. Της Θράκης και ανήκει στην Τουρκία	27,2
4. Πρωτεύουσα νομού της Στερεάς Ελλάδας	57,75	4. Της Θράκης και ανήκει στην Ελλάδα	28,0
<b>Ε. Η Τιβρος είναι:</b>		<b>ΣΤ. Η Μεγαλύτερη πόλη της Πελοποννήσου είναι:</b>	
0. Δεν απάντησαν	5,25	0. Δεν απάντησαν	2,2
1. Νησί των Κυκλάδων	9,50	1. Η Κόρινθος	12,7
2. Νησί των Δωδεκανήσων	16,25	2. Η Πάτρα	67,2
3. Πόλη της Αιτωλοακαρνανίας	12,00	3. Η Καλαμάτα	11,2
4. Νησί της Τουρκίας	56,25	4. Η Θεσσαλονίκη	5,5
<b>Ζ. Η Αργαία Ολυμπία βρίσκεται:</b>		<b>Η. Τα Γρεβενά είναι:</b>	
0. Δεν απάντησαν	2,25	0. Δεν απάντησαν	4,5
1. Στους πρόποδες του Ολύμπου	18,75	1. Πρωτεύουσα νομού της Μακεδονίας	48,5
2. Στην Ηλεία	61,00	2. Πόλη του Νομού Κοζάνης	34,0
3. Στις πλαγές του Παρνασσού	4,75	3. Πόλη της Πελοποννήσου	5,0
4. Στην Αργολίδα	12,50	4. Πρωτεύουσα νομού της Θράκης	7,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 2<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Σχολιασμός φράσεων σχετικών με τη γνώση των ελληνικών ποταμών ως σωστών ή ως εσφαλμένων – Με Σ αποδίδονται οι εκάστοτε σωστές απαντήσεις και Α οι εσφαλμένες]

			% ορθά
A	Σ	Ο Ποταμός Στρυμόνας διασχίζει τον νομό Σερρών και χύνεται στο Αιγαίο Πέλαγος.	54,75
B	Α	Ο Ποταμός Νέστος χύνεται στον Θερμαϊκό κόλπο.	48,25
Γ	Α	Ο Ποταμός Αλιάκμονας περνάει μέσα από τη Λάρισα.	61,50
Δ	Σ	Ο Ποταμός Αλιάκμονας διασχίζει τη Δυτική Μακεδονία και είναι ο ποταμός με το μεγαλύτερο μήκος σε Ελληνικό έδαφος.	65,50
E	Σ	Υπάρχουν δυο ποταμοί με το όνομα Πηνειός στην Ελλάδα. Ένας στη Θεσσαλία και ένας στην Πελοπόννησο.	71,50
ΣΤ	Α	Ο Ροδανός ποταμός χύνεται στο Αιγαίο Πέλαγος.	58,75
Z	Σ	Ο Λάδωνας και ο Αλφειός είναι ποταμοί της Πελοποννήσου	49,75
H	Σ	Ο Αραχθός και ο Λούρος είναι ποταμοί της Ηπείρου.	55,25
Θ	Α	Ο Ταΰγετος είναι το μεγαλύτερο ποτάμι της Λακωνίας.	78,50
I	Α	Ο Ποταμός Δούναβης χύνεται στο Αιγαίο Πέλαγος.	67,25

ΠΙΝΑΚΑΣ 3<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Αναφορά τριών ονομάτων πόλεων...]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	...της Θράκης	...της Μακεδονίας	...της Στερεάς Ελλάδας	...της Πελοποννήσου	...της Ηπείρου	...του Ιονίου Πελάγους	...του Αιγαίου Πελάγους	...των Κυκλάδων	...των Δωδεκανήσων	...της Κρήτης
3	25,75	43,25	45,50	71,50	39,50	59,50	29,00	40,75	17,50	73,25
2	24,50	19,00	20,50	11,25	19,75	11,75	16,25	14,75	15,25	9,25
1	17,50	16,00	14,50	5,50	14,75	7,25	13,00	7,25	25,75	3,00
0	31,75	21,25	19,00	11,25	25,50	21,00	41,25	36,75	41,00	14,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 4<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Αντιστοίχιση πόλεων και χαρακτηριστικών. Σε παρένθεση η αναμενόμενη σωστή απάντηση]

I	%	II
1. ΑΘΗΝΑ (γ)	90,50	α. ΛΙΜΝΗ
2. ΞΑΝΘΗ (δ)	76,75	β. ΠΗΛΙΟ
3. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (κ)	81,25	γ. ΠΑΡΘΕΝΩΝΑΣ
4. ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (στ)	31,75	δ. ΕΧΕΙ ΜΟΥΣΟΥΛΜΑΝΟΥΣ
5. ΒΟΛΟΣ (β)	63,75	ε. ΠΑΝΑΓΙΑ ΜΕΓΑΛΟΧΑΡΗ
6. ΧΑΛΚΙΔΑ (θ)	44,75	στ. ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΔΕΗ
7. ΚΟΡΙΝΘΟΣ (η)	86,00	ζ. ΣΟΥΔΑ
8. ΕΔΕΣΣΑ (ι)	60,25	η. ΣΘΜΟΣ
9. ΚΑΣΤΟΡΙΑ (α)	44,25	θ. ΠΑΛΛΙΡΟΙΑ
10. ΧΑΝΙΑ (ζ')	51,75	ι. ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΕΣ
11. ΤΗΝΟΣ (ε)	80,50	κ. ΛΕΥΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 5<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Ανοιχτή ερώτηση τοποθέτησης αρχαιολογικών χώρων στον ελλαδικό χώρο. Σε εκατοστιαία ποσοστά (%) αποδίδονται οι σωστές απαντήσεις επί του συνόλου των φύλλων ερωτηματολογίων. Δίδονται παραδείγματα απαντήσεων και εσφαλμένες επιλογές\*].

	I	%	II
1	ΑΡΧΑΙΑ ΟΛΥΜΠΙΑ	47,75	[Ν. Ηλείας, Όλυμπος*]
2	ΔΕΛΦΟΙ	22,25	[Αράχοβα]
3	ΒΕΡΓΙΝΑ	26,75	[Βέροια]
4	ΚΝΩΣΟΣ	56,75	[Ηράκλειο]
5	ΔΩΔΩΝΗ	20,75	[Γιάννινα, Ηπειρος]
6	ΑΡΧΑΙΑ ΙΘΩΜΗ	1,75	[Καλαμάτα]
7	ΦΙΛΙΠΠΟΙ	13,50	[Καβάλα]
8	ΠΑΛΑΜΗΔΙ	37,50	[Ναύπλιο]
9	ΜΥΚΗΝΕΣ	23,50	[Άργος, Κρήτη*]
10	ΔΗΛΟΣ	21,25	[Κυκλάδες]
11	ΘΕΡΜΟΠΥΛΕΣ	22,50	[Λαμία, Σπάρτη*]
12	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ	50,25	[Αττική, Ν. Μάκρη]

ΠΙΝΑΚΑΣ 6<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Ανοιχτή ερώτηση εντοπισμού παραδοσιακών και βιομηχανικών προϊόντων. Σε εκατοστιαία ποσοστά (%) αποδίδονται οι σωστές απαντήσεις επί του συνόλου των φύλλων ερωτηματολογίων και παραδείγματα].

ΠΙΝΑΚΑΣ 7<sup>ης</sup> ΟΜΑΔΑΣ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

[Ιστορικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά πόλεων και νησιών. Σε εκατοστιαία ποσοστά (%) αποδίδονται οι σωστές απαντήσεις επί του συνόλου των φύλλων ερωτηματολογίων. Αναφέρονται παραδείγματα απαντήσεων].

	I	%	II		I	%	II
1	Λουκούμια	57,75	[Σύρος]	1	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	44,00	[Σολωμός, Κ. Καρέτα]
2	Λαδοτύρι	23,75	[Λέσβος]	2	ΚΕΡΚΥΡΑ	43,25	[Ποντικονήσι, Ρουβάς]
3	Χαλβάς	58,50	[Φάρσαλα]	3	ΚΡΗΤΗ	59,25	[Κνωσός, Βενέτα]
4	Σταφίδα	25,50	[Κόρινθος]	4	ΣΑΜΟΣ	20,75	[Πυθαγόρας]
5	Κρασί	43,25	[Σάμος]	5	ΣΠΑΡΤΗ	47,75	[Στρατός, Λεωνίδα, οι 300]
6	Γούνες	48,25	[Καστοριά]	6	ΠΥΛΟΣ	8,75	[Πιννακίδες γραμμικής Β']
7	Σιτάρι	13,00	[Θεσσαλία]	7	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	51,50	[Ισθμός – Διώρυγα]
8	Μήλα	22,00	[Βόλος]	8	ΤΡΙΠΟΛΗ	20,25	[Κολοκοτρώνης]
9	Μαστίχα	82,50	[Χίος]	9	ΘΗΒΑ	16,00	[Ερός Λόχος]
10	Ούζο	56,00	[Μυτιλήνη]	10	ΤΡΙΚΑΛΑ	18,00	[Ασκληπίος]
11	Πορτοκάλια	40,00	[Αρτα]	11	ΠΡΕΒΕΖΑ	8,75	[Καρυστάκης]
12	Λάδι	48,75	[Καλαμάτα]	12	ΑΡΑΧΟΒΑ	50,75	[Χιονοδρομικό, μπαρ]
13	Καπνός	28,00	[Αγρίνιο]	13	ΑΡΤΑ	29,75	[Γεφύρι]
14	Λιγνίτης	15,50	[Πτολεμαίδα]	14	ΓΙΑΝΝΕΝΑ	33,25	[Λίμνη, Αλή Πασάς]
15	Αλουμίνιο	3,00	[Φωκίδα, Άσπρα Σπίτια]	15	ΣΟΥΦΛΙ	8,25	[Μετάξι]
16	Πατάτες	33,75	[Θήβα, Νευροκόπι]	16	ΡΟΔΟΣ	40,25	[Κολοσσός, Πεταλούδες]

## Βιβλιογραφία

Πουλίδης, Α., 1999: Η γεωγραφία της Ελλάδας και οι μαθητές της ΣΤ' τάξης του Δημοτικού Σχολείου. Σύγχρονη Εκπαίδευση, 105, 43-49.

Ρέντζος, Ι., 2006: Επιδόσεις των αγοριών και των κοριτσιών του γυμνασίου / λυκείου σε γεωγραφικές δοκιμασίες γνώσεων, εκτιμήσεων και προτιμήσεων: Στοιχεία από μια πανελλήνια έρευνα, Σύγχρονη Εκπαίδευση, 146, 154-162.

Τραγάκη, Α. και Χουλιαράς, Α., 2004: «Η πολιτική της Δημογραφίας – Γεωγραφικές αντιλήψεις των πληθυσμιακών μοντέλων», 7ο πανελλήνιο γεωγραφικό συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Πρακτικά, τόμος ΙΙ, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου, 213-219.

Bloom, B.S. - Krathwohl, D.R., 1986: Ταξινόμια διδαχτικών στόχων, Τόμος Α', Μετάφραση Αλ. Λαμπράκη – Παγανού, Εκδ. Κώδικας.

Coutras, J., 1996: Crise urbaine et espaces sexués, Armand Colin, 11, 20.

Gould, P. & White, R., 1986: Mental Maps, Allen & Unwin (2nd edition).

Halpern, D. F., 2003: Sex Differences in Cognitive Abilities, Mahwah NJ, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 105

Leontidou, L. & Rentzos, I., 2004: The Ebbs and Flows of Geography in Greek Schools and Universities, in W. Ashley Kent, Eleanor Rawling, Alastair Robinson, Geographical Education – Expanding Horizons in a Shrinking World, Scottish Association of Geography Teachers – Geographical Education Commission of the IGU, Glasgow, 192-196.

Okin, S. M., 2000: «Le genre, le public et le privé», στο T. Carver et al., Genre et politique, Folio/essais, 345, 348.

Smolicz, J.J., 1979: Culture, Ethnicity and Education: Multiculturalism in a Plural Society, in Megarry, J., Nisbet, S. and Hoyle, E., Education of Minorities, Kogan Page, London, 17-36.







## 8<sup>ο</sup> ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας

8<sup>TH</sup> PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE  
of the Greek Geographical Society

# Περιεχόμενα

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

<b>ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΝΕΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ</b> .....	7
Κουτσόπουλος Κ.	

### ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

<b>ΥΠΟΓΕΝΗ ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΣΠΗΛΛΙΑ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΠΗΛΛΙΟ ΜΕΛΙΣΣΟΤΡΥΠΑ ΣΤΗΝ ΕΛΑΣΣΟΝΑ, Ν.ΛΑΡΙΣΑΣ</b> .....	17
Βαξεβανόπουλος Μ.	

<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ</b> .....	27
Βασιλάκης Ε, Σκούρτσος Ε., Κράνης Χ.	

<b>ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ: Η ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΒΑΛΣΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΡΩΪΑΝΑΤΩΝ</b> .....	36
Βερυκίου-Παπασπυριδάκου Ε., Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ.	

<b>ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΟΓΕΝΕΙΣ ΖΩΝΕΣ: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ</b> .....	44
Γκουρνέλος Θ., Σαμπώ Β., Ευελπίδου Ν., Βασιλόπουλος Α., Σκιάνης Γ.	

<b>ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗ Ν. ΜΥΚΟΝΟ</b> .....	53
Γκουρνέλος Θ., Χαλκιάς Χ., Σκέντος Α.	

<b>ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΙΛΑΔΑ SARVIZ, ΟΥΓΓΑΡΙΑ</b> .....	61
Ευελπίδου Ν., Barczy Α., Vona Μ., Pensza Κ, Centeri C.	

<b>ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΒΟΙΩΤΙΚΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΟΛΟΚΑΙΝΟΥ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b> .....	72
Καρκάνας Α., Κοντόπουλος Ν.	

<b>ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΞΥ ΣΧΙΝΟΥ ΚΑΙ ΨΑΘΑΣ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ)</b> .....	83
Καρύμαλης Ε., Βερυκίου-Παπασπυριδάκου Ε.	

<b>ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ - ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑ (ΝΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ)</b> .....	93
Λαδάς Ι., Φουντούλης Ι., Μαριολάκος Η.	
<b>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ ΣΠΗΛΛΑΙΩΔΩΝ ΕΓΚΟΙΛΩΝ ΣΕ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ</b> .....	103
Λουπασάκης Κ., Κωνσταντοπούλου Γ.	
<b>ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΤΗΣ ΠΥΛΙΑΣ (ΝΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ) ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 18.000 ΧΡΟΝΙΑ</b> .....	111
Μαριολάκος Η., Λαδάς Ι.	
<b>Η ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΚΟΜΗΝΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ</b> .....	122
Μεταξάς Α., Καραγεωργίου Μ-Μ., Καρύμπαλης Ε., Καραγεωργίου Δ.	
<b>ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΚΑΝΟΝΕΣ ΛΟΓΙΚΗΣ</b> .....	132
Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ., Καλύβας Δ.	
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ</b> .....	143
Παγώνας Μ., Κοντόπουλος Ν.	
<b>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΡΟΚΑΛΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΝΕΔΑ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ</b> .....	151
Παναγιωτακοπούλου Ο., Κοντόπουλος Ν.	
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ GIS ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ</b> .....	160
Παπαγεωργίου Ε., Βασιλοπούλου Σ., Λάγιος Ε.	
<b>Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΟΙΤΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ</b> .....	169
Στύλλας Μ., Βουβαλιδής Κ.	
<b>Η ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΣΦΑΚΙΩΝ, ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗ, ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	180
Tsimi C., Γκάνας Α., Ferrier G., Δρακάτος Γ., Richard J. Pope, Φασούλας Χ.	
<b>ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΙΣΤΩΝΙΔΑΣ</b> .....	189
Τσόμπος Π., Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ.	
<b>ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΕΥΚΟΧΩΡΙΟΥ – ΟΧΘΙΩΝ (ΚΕΝΤΡΟΔΥΤΙΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ)</b> .....	198
Φουντούλης Ι., Μαυρούλης Σ., Θεοχάρης Δ.	

## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

### ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ – ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

<b>ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΗΣ ΠΑΧΙΑΣ ΑΜΜΟΥ (ΒΑ ΚΡΗΤΗ)</b> .....	211
Αγγελόπουλος Χ., Αναστασάκης Γ., Πούλος Σ.	
<b>ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΜΗΛΟΥ</b> .....	219
Ανδρής Π., Πούλος Σ.	
<b>ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΔΑΤΟΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΠΟΥ ΕΚΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ</b> .....	229
Γουρδουμπάς Ι., Πούλος Σ., Νάστος Π., Μαρουκιάν Χ.	
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ</b> .....	238
Καραγιώργος Κ., Αναστασιάδης Στ., Μάρης Φ.	
<b>ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ</b> .....	247
Μάρης Φ., Αναστασιάδης Στ., Καραγιώργος Κ.	
<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΙΣΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΟΥ ΑΣΤΡΟΥΣ ΚΥΝΟΥΡΙΑΣ</b> .....	257
Μαρκάκης Ε., Μπλέτα Α., Πούλος Σ., Βερυκίου Ε.	
<b>ΤΟ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΟΡΙΣΣΙΩΝ (ΝΗΣΟΣ ΚΕΡΚΥΡΑ)</b> .....	266
Μιλοβάνοβιτς Μ., Τομαρά Β., Πούλος Σ., Αλεξόπουλος Ι.	
<b>ΦΥΣΙΚΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΕΤΤΑΣ (ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ)</b> .....	275
Παπαδάκη Ρ., Πούλος Σ., Καλεαντοπούλου Ο., Κουτελιδάκη Κ., Βερυκίου Ε.	
<b>ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΟΥ ΑΜΒΡΑΚΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ</b> .....	284
Πούλος Σ.	
<b>ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΒΑ ΑΙΓΑΙΟΥ ΠΕΛΑΓΟΥΣ</b> .....	291
Σιαμαντζιούρας Α., Σουλάντζου Δ., Τρούμπης Α.	
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ Α ΚΑΙ ΒΑ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΜΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΟΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ</b> .....	298
Χατζηλευθερίου Μ., Αλεξανδράκης Γ., Πούλος Σ., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκιάν Χ.	

### ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

<b>ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΕ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕΤΕΟΣΑΤ-8 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ</b> .....	308
Κολιός Σ., Φειδασ Χ.	
<b>ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΑΧΑΡΑ, ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ</b> .....	317

## 8<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

Κοσμόπουλος Π., Νάστος Π., Κασκαούτης Δ., Καμπεζίδης Χ.

<b>ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΥΠΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ</b> .....	327
---	-----

Κωστοπούλου Ε., Τολίκα Κ., Αναγνωστοπούλου Χ., Μαχαίρας Π.

<b>ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΙΝΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΣΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ</b> .....	336
---	-----

Μαυροματίδης Η., Κάλλος Γ., Κατσαφάδος Π., Αστήθα Μ.

<b>ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ</b> .....	346
---	-----

Νάστος Π., Παλιατσός Α., Νίκα Κ., Ξηρού Κ.

<b>ΧΩΡΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ. ΜΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ</b> .....	355
---	-----

Νικολάκης Δ., Νάστος Π.

<b>ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΕΥΚΗΣ (PINUS HALEPENSIS SSP. HALEPENSIS) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ</b> .....	365
--	-----

Παπαδόπουλος Α., Τολίκα Κ., Παντέρα Α., Μαχαίρας Π.

<b>ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	376
---	-----

Φείδας Χ., Κοκολάτος Γ., Γιαννακός Α.

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

<b>ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΟ ΜΟΡΦΩΜΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΥΒΟΙΑΣ</b> .....	387
--	-----

Εμμανουηλάκης Ε., Δέτσης Β., Βαμβακάρη Μ., Αμπελιώτης Κ.

<b>ΠΕΙΡΑΤΕΙΕΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΔΑΦΝΩΝΑ (ΝΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ)</b> .....	396
--	-----

Κόντου Α., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκιάν Χ.

<b>ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΝ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΚΟΣΜΟΥ: Ο ΣΕΙΣΜΟΣ <math>M=9.2 R</math> ΤΗΣ 26ΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2004 ΣΤΟΝ ΙΝΔΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ ΚΑΙ Ο ΣΕΙΣΜΟΣ <math>M=7.6 R</math> ΤΗΣ 8ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2005 ΣΤΟ ΒΟΡΕΙΟ ΠΑΚΙΣΤΑΝ</b> .....	406
---	-----

Λέκκας Ε., Παρχαρίδης Ι., Σκούρτσος Ε., Φουμέλης Μ.

<b>ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΗΣΟΥ ΤΗΛΟΥ</b> .....	416
--	-----

Λόγος Ε., Τσιούμας Β., Θεοχάρης Δ., Λέκκας Ε.

<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΑΤΩ ΖΑΚΡΟΥ</b> .....	426
---	-----

Μαριολάκος Η., Λόγος Ε., Φουντούλης Ι., Θεοχάρης Δ.

## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

<b>ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ</b> .....	433
Μιμίδης Θ., Ρίζος Σ.	
<b>Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΙΥΛΙΣΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ</b> .....	443
Μιμίδης Θ., Ρίζος Σ., Ψυχογιού Μ., Σγουμποπούλου Α.	
<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΕΙΔΕΙΣ ΓΛΥΦΕΣ 'ΜΙΚΡΟ' ΣΠΗΛΛΑΙΟ ΕΠΤΑΜΥΛΩΝ, ΣΕΡΡΩΝ</b> .....	454
Πέννος Χ., Βαξεβανόπουλος Μ., Πεχλιβανίδου Σ., Βλάχος Ε., †Ε. Βαβλιάκης	
<b>ΤΑ ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ (ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΛΑΒΙΑΤΑΕ) ΤΗΣ ΧΙΟΥ:</b> <b>ΜΙΑ ΒΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ</b> .....	463
Στεφανάκη Α., Καρούσου Ρ., Κοκκίνη Σ.	
<b>ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ &amp; ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΚΩΠΑΪΔΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΒΟΙΩΤΙΑΣ</b> .....	470
Τζιρίτης Ε. & Κελεπερτζής Α.	
<b>ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΩΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΧΩΡΑΣ-ΜΕΣΟΚΑΜΠΟΥ (ΝΑ ΣΑΜΟΣ) ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ, ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ</b> ..	481
Τζιρίτης Ε., Κελεπερτζής Α., Σταματάκης Μ.	
<b>Η ΧΡΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ, ΑΠΟ ΤΙΣ ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΦΗΜΕΡΙΔΕΣ ΤΟΥ 19-20ΟΥ ΑΙΩΝΑ</b> .....	492
Τόμπρος Σ., Τόμπρος Ν., Karen St. Seymour.	
<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΑΜΦΙΑΡΕΙΟΥ – ΩΡΩΠΟΥ</b> .....	501
Τσίπουρα-Βλάχου Μ., Μιχόπουλος Κ.	
<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΜΜΕΝΩΝ ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	514
Κωνσταντοπούλου Γ., Χάγιου Ε.	
<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΑΘΗΝΩΝ</b> .....	523
Γαλανόπουλος Δ.	
<b>ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΣΥΓΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΑ ΤΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΕΝΑ ΑΒΕΒΑΙΟ ΜΕΛΛΟΝ</b> .....	534
Δανδουλάκη Μ.	
<b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΝΑΥΠΛΙΟΥ</b> .....	539

## 8<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

Δρακάτος Γ., Βαλαδάκη – Πλέσσα Α., Γαϊτανάκης Π., Σώκος Ε.

### **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΡΟΚΥΨΟΥΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ – ΜΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ** ..... 549

Δρ. Μανούρης Γ., Μουζάκης Γ.

### **ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΤΟ 2006 ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ** ..... 557

Μουστεράκη Κ. Συμεωνίδης Γ.

### **ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ** ..... 568

Νιβολιανίτου Ζ., Συνοδινού Β., Παραλίκας Α.

### **ΤΑ ΑΔΙΞΕΟΔΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΗΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ** .. 574

Σαπουντζάκη Κ.

### **ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΘΕΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΣΕΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ** ..... 581

Συνοδινού Β., Νιβολιανίτου Ζ.

## ΓΕΩΤΟΠΟΙ

### **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΕΡΙΗΓΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΣΠ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΟΡΕΙΝΗΣ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ** ..... 593

Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Σιγαλός Γ., Φωτίου Γ., Δασακλής Σ., Αποστολόπουλος Σ.

### **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΕΩΤΟΠΩΝ** ..... 604

Ζούρος Ν., Βαλιάκος Η.

### **ΓΕΩΔΙΑΤΗΡΗΣΗ: ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ-ΓΕΩΤΟΠΩΝ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΓΕΩΠΑΡΚΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΛΕΣΒΟΥ** ..... 613

Λαμπάκη Ο., Ζούρος Ν.

### **ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΟΥΛΑΝΤΑ, ΝΟΜΟΥ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ** ..... 622

Λέκκας Ε., Λόγος Ε., Τσιούμας Β., Θεοχάρης Δ.

### **ΤΑ ΜΩΛΕΙΑ ΤΗΣ ΝΕΣΤΑΝΗΣ (ΑΡΚΑΔΙΑ). Η ΑΡΧΑΙΟΤΕΡΗ ΓΙΟΡΤΗ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ: ΜΙΑ ΓΕΩ-ΜΥΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ** ..... 630

Μαριολάκος Η.

### **ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΚΗΡΥΞΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΑ, ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ** ..... 641

Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ., Κοσκερίδου Ε., Μακρή Π.

## 8° Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο

### ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

<b>ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑ</b> .....	651
Κλωνάρη Α.	
<b>Ο ΧΑΡΤΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ</b> .....	662
Κουτσόπουλος Κ., Πηγάκη Μ.	
<b>Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ</b> .....	671
Μανωλάς Ε., Μάρης Φ.	
<b>Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΩΝ 500 ΠΟΛΥΕΘΝΙΚΩΝ ΤΟΥ FORTUNE: ΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΩΣ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ</b> .....	678
Ρέντζος Ι.	
<b>«ΣΤΗ ΜΟΣΧΑ... ΣΤΗ ΜΟΣΧΑ»: ΙΔΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΙΑΣ ΠΟΛΗΣ, ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΘΕΑΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ</b> .....	688
Ρέντζος Ι., Καζούκας Κ.	
<b>ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΖΩΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΖΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΕΣ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΡΓΟ ΕΛΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΞΕΝΩΝ ΕΙΚΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΩΝ</b> .....	699
Ρέντζος Ι., Στρατάκης Π., Τζωρτζακάκης Α., Ηλιόπουλος Η.	
<b>ΜΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</b> .....	709
Ρέντζος Ι., Σπανός Κ.	







