



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ Δ. ΕΥΔΟΚΙΑ

ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ
ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020



*Στους γονείς μου
&
στην αδερφή μου.*



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ Δ. ΕΥΔΟΚΙΑ – ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

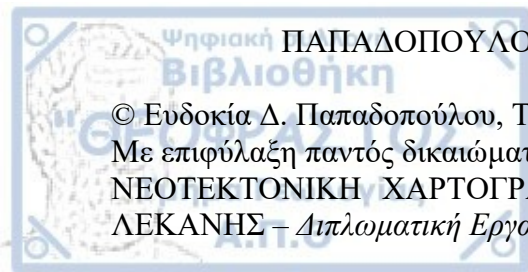
ΕΥΔΟΚΙΑ Δ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5454

ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας,
Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας

Επιβλέπων

Χατζηπέτρος Αλέξανδρος



© Ευδοκία Δ. Παπαδοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ
ΛΕΚΑΝΗΣ – *Διπλωματική Εργασία*

© Evdokia D. Papadopoulou, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

NEOTECTONIC MAPPING IN THE SOUTHERN MARGIN OF MYGDONIA BASIN –
Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Φυλλίτες – Χαλαζίτες της ομάδας της Σβούλας με διακλάσεις, πληρωμένες με πυριτικό υλικό.



Περίληψη	7
1 Εισαγωγή.....	9
1.1 Σκοπός	9
1.2 Εργασίες που υλοποιήθηκαν – Μεθοδολογία	14
2 Λεκάνη της Μυγδονίας	15
2.1 Γεωλογία της περιοχής	16
2.1.1 Σερβομακεδονική μάζα.....	17
2.1.2 Περιοδοπική ζώνη	21
2.1.3 Μεταλικά ιζήματα	24
2.2 Τεκτονική της περιοχής	29
2.3 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης	30
2.3.1 Τεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής	31
2.3.2 Σεισμοτεκτονική της λεκάνης της Μυγδονίας	32
2.4 Σεισμικότητα της περιοχής	33
2.4.1 Γεωλογία και Σεισμοί	34
2.4.2 Ιστορικοί σεισμοί στη Μυγδονία λεκάνη	35
2.5 Παλαιοσεισμολογία	38
2.5.1 Παλαιοσεισμολογικές τομές στην ευρύτερη περιοχή μελέτης	39
2.6 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	44
3 Νεοτεκτονική χαρτογράφηση	46
3.1 Νεοτεκτονική	47
3.2 Μεθοδολογία.....	47
3.3 Λιθολογία	48
3.4 Γεωμορφολογικά στοιχεία	51
3.5 Τεκτονικά στοιχεία	54
4 Μορφοτεκτονική	57
4.1 Ποσοτική ανάλυση (Τεκτονικά διαγράμματα, ροδοδιαγράμματα)	59
4.2 Μορφοτεκτονικές δομές	69
5 Συμπεράσματα	75
6 Βιβλιογραφία.....	76



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στο νεοτεκτονικό κλάδο της χαρτογράφησης και ανάλυσης της ευρύτερης περιοχής των Λαγυνών. Ο απώτερος σκοπός αυτής της εργασίας ταυτίζεται με την ερμηνεία της γεωλογικής δομής και εξέλιξης της περιοχής μελέτης, βασισμένη στον ήδη παραχθέντα νεοτεκτονικό χάρτη.

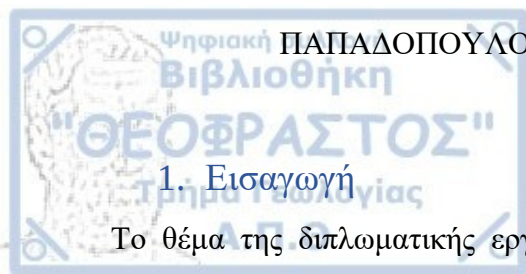
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στα ΒΑ της πόλης της Θεσσαλονίκης και ανήκει στο ΝΔ τμήμα του τεκτονικού βυθίσματος της Μυγδονίας λεκάνης. Το υψόμετρο είναι ομαλό, με εξαίρεση το νότιο τμήμα του οικισμού που το ανάγλυφο είναι απότομο λόγω παρουσίας ενεργών ρηγμάτων που οριοθετούν το νότιο περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης. Η λεκάνη βρίσκεται στο όριο της Σερβομακεδονικής μάζας με τη Περιοδοπική ζώνη και στο δυτικό τμήμα της, που ανήκει η περιοχή έρευνας, το υπόβαθρο συνίσταται από μετακροκαλοπαγή, μεταψαμμίτες, χαλαζίτες και χαλαζιτικούς ψαμμίτες με φυλλιτικές ενστρώσεις, σχιστόλιθους, μάρμαρα και ανθρακικούς σχηματισμούς νηριτικής ιζηματογένεσης. Από το Άνω Μειόκαινο και μετά, το τεκτονικό βύθισμα της Μυγδονίας πληρώθηκε σε δυο φάσεις με νεότερα, Νεογενή και Τεταρτογενή, ποταμοχειμάρια και λιμναία ιζήματα και γι' αυτό οι επιφανειακές διαρρήξεις στα Λαγυνά εμφανίζονται πάνω σε Τεταρτογενή σχηματισμό χαλικιών και άμμου και αμμούχες αργίλους.

Για τη νεοτεκτονική έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες της ευρύτερης περιοχής, καθώς και αεροφωτογραφίες για την εύρεση ενός κλάδου ρηγμάτων όπου είχε δύσκολη πρόσβαση στην ύπαιθρο. Η συλλογή των τεκτονικών στοιχείων έγινε με γεωλογική πυξίδα και η επεξεργασία τους με διάφορα λογισμικά, όπως RockWorks, Dips και Geogose. Κατασκευάστηκαν τεκτονικά διαγράμματα και ροδοδιαγράμματα για την τεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης και παράχθηκε ψηφιακός νεοτεκτονικός χάρτης κλίμακας 1:10.000, με το λογισμικό G.I.S. Τέλος, για τη μορφοτεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Global Mapper και μορφοτεκτονικοί δείκτες όπως, η κατά βάθος διάβρωση, ο βαθμός δαντέλωσης και οι αλλαγές στη γωνία κλίσης των ρεμάτων, ώστε να επιβεβαιώσουν τη δράση της ενεργού τεκτονικής στην περιοχή του νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης.

The subject of this bachelor's thesis is about neotectonic mapping and analysis in the broader area of Lagyna village. The main goal is the interpretation of the geological structure and evolution of the study area, based on the created neotectonic map.

The study area is located at the Northern Greece, NE of Thessaloniki city and it is a part of the Mygdonia graben. The altitude is gradual, except the southern part of the area where there are steep slopes, due to the presence of active faults that border the southern margin of the basin. The basin is located on the boundary between the Serbomacedonian massif and the Circum Rhodope belt. The study area which is identified with the western part of the Circum Rhodope belt, the geological bedrock consists of meta-sandstones, metamorphic rocks, like quartzite and quartz sandstones with foliated layers, shales and clay. From the Upper Miocene onwards, the tectonic graben of Mygdonia was influenced in two different phases. The first one has sediments of Neogene and Quaternary age as, river stream and lake sediments and for this reason the surface ruptures in Lagyna appear on the Quaternary formation of sands and gravels.

For the neotectonic analysis, topographic and geological maps of the broader area were used, aerial photographs as well, in order to find a branch of faults where it had difficult access to the field. The tectonic elements were collected with a geological compass and processed with various software, such as RockWorks, Dips and Georose. Tectonic diagrams and rosedigraphs were constructed for the tectonic analysis of the study area. A digital neotectonic map, with scale 1: 10.000 was constructed using G.I.S software. At last, for the morphotectonic analysis of the study area, Globbal Mapper software was used. Morphotectonic indicators such as deep erosion, degree of lace and changes in the slope angle of the streams, were calculated in order to confirm the activity of active tectonics in the area of the southern margin of the Mygdonia basin.



1. Εισαγωγή

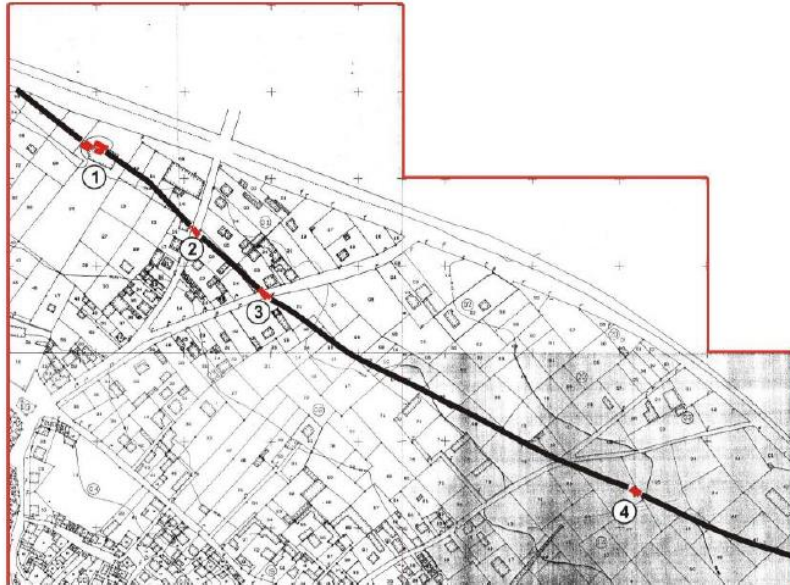
Το θέμα της διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Χατζηπέτρο. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, έγινε προσπάθεια μελέτης των γεωλογικών σχηματισμών του υποβάθρου και μεταλλικών σχηματισμών της Μυγδονίας λεκάνης και ιδιαίτερα του Νοτίου περιθωρίου αυτής, με σκοπό την κατασκευή ενός νεοτεκτονικού χάρτη κλίμακας 1:10.000.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αλέξανδρο Χατζηπέτρο, τόσο για την καθοδήγησή του κατά την διάρκεια της εργασίας μου, όσο και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτού του θέματος. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω αυτούς τους καθηγητές, οι οποίοι μου προσέφεραν τη συμπαράσταση τους στα πέντε αυτά χρόνια των σπουδών μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω σε όλους όσους με βοήθησαν κατά την διάρκεια της εργασίας μου με συζητήσεις και πολύτιμη συμπαράσταση. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου και την αδερφή μου, χωρίς την στήριξη των οποίων θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση αυτής της εργασίας.

1.1 Σκοπός

Στα μέσα περίπου του 2004 παρατηρήθηκε στον οικισμό των Λαγυνών, η εμφάνιση μιας ζώνης επιφανειακών διαρρήξεων, η οποία είχε προκαλέσει ζημιές σε κατασκευές, κτήρια, δρόμους και πεζοδρόμια στο βόρειο τμήμα της περιοχής, μέσα στο χωριό των Λαγυνών. Σε πρώτη επαφή με το γεγονός αυτό ήρθε μια ερευνητική ομάδα του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., αποτελούμενη από τον Καθηγητή κ. Θεόδωρο Τσάπανο, τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Παυλίδη και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Χατζηπέτρο, οι οποίοι διεξήγαγαν λεπτομερή γεωλογική και σεισμολογική έρευνα ύστερα από σύναψη προγραμματικής σύμβασης μεταξύ του Δήμου Λαγκαδά, της Νομαρχιακής αυτοδιοίκησης Θεσσαλονίκης και του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Κατά την έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση των επιφανειακών διαρρήξεων και καταγραφή των ζημιών. Η Εικόνα 1 παρουσιάζει τον χάρτη με τις επιφανειακές διαρρήξεις, αλλά και την πιθανή τοποθεσία του ρήγματος, όπως χαρτογραφήθηκαν από τους Chatzipetros *et al.* (2005). Οι ρωγμές είχαν μήκος 2,2 km κατά μήκος συστήματος ρηγμάτων που οριοθετούν το νότιο περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης. Πιθανώς, αυτές να αποτελούν συνέχεια του ρήγματος του Στίβου, το οποίο έδωσε τον σεισμό του 1978 με μέγεθος $M=6,5$ και έπληξε την ευρύτερη περιοχή. Από τις ρωγμές έχουν πληγεί κατασκευές μικρής γενικά σημασίας (Τσάπανος *et al.* 2006)

Σε δεύτερη επαφή με το φαινόμενο ήρθαν οι Chatzipetros and Papadopoulou (2019) διεξάγοντας μια μορφοτεκτονική ανάλυση της ευρύτερης περιοχής και συσχετίζοντας τη συγκεκριμένη ζώνη ρηγμάτων με άλλες δύο: μια παλαιότερη και μια νεότερη. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη δεδομένων που αφορούν και τον ίδιο τον κλάδο ρηγμάτων αλλά και της γένεσής του.



Εικόνα 1. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Οι θέσεις όπου παρατηρούνται ζημιές σε κατασκευές από τη δράση του ρήγματος, είναι χαρτογραφημένες με κόκκινο χρώμα και αρίθμηση, ενώ η πιθανή θέση του ρήγματος στις ενδιάμεσες περιοχές απεικονίζεται με μαύρη έντονη γραμμή (Pavlides et al., 2006).



Εικόνα 2. Ζημιές και παραμορφώσεις που έχουν προκληθεί σε κεντρικό δρόμο μέσα στο χωριό των Λαγυνών.

Η παραπάνω φωτογραφία τραβήχτηκε το 2019 από τη συγγραφέα και αντιπροσωπεύει την τωρινή κατάσταση στον δρόμο των Λαγυνών. Η ακριβής τοποθεσία της φωτογραφίας πάνω στον χάρτη βρίσκεται στον αριθμό 2 του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής στην Εικόνα 1.



Εικόνα 3. Παρατηρούνται δύο παράλληλες ζώνες διάρρηξης στην ασφαλτο στη ΝΔ πλευρά του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ». Η μια ζώνη φέρει μετάπτωση προς τα ΒΑ, ενώ η άλλη προς τα ΝΔ (Chatzipetros et al., 2005)



Εικόνα 4. Εμφανής κατακόρυφη και οριζόντια μετατόπιση της τσιμεντένιας περίφραξης στα ΒΔ του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ» (Alexandros Chatzipetros and Evdokia Papadopoulou 2019)

Οι εικόνες 3 και 4 δείχνουν παραμορφώσεις σε ασφαλτο και τοιχίο, που έχουν προκληθεί από δράση των επιφανειακών διαρρήξεων κοντά στο κατάστημα «ΕΓΝΑΤΙΑ».



Εικόνα 5. Εμφανής αποκόλληση της ένωσης της ΒΔ τοιχοποιίας του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ» με το σκελετό του κτιρίου.



Εικόνα 6. Διάρρηξη στο εσωτερικό του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ».



Εικόνα 7. Ρωγμή στο τοιχίο του καταστήματος «Εγνατία». Το μέγιστο άνοιγμά του υπολογίστηκε στα 1,2 cm.



Εικόνα 8. Ψευδοανάστροφο μικρορήγμα σε μικρό τοιχίο 20 μέτρα ανατολικά του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ».

Στην εικόνα 6 παρατηρείται η αποκόλληση της ένωσης της ΒΔ τοιχοποιίας του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ» με τον σκελετό του κτιρίου. Στις εικόνες 5 και 6 εμφανίζονται διαρρήξεις στο

εσωτερικό του καταστήματος και ρωγμές στο τοιχίο – περίφραξή του. Ένα ψευδοανάστροφο μικρορήγμα εντοπίζεται στο ίδιο, προαναφερθές τοιχίο.



Εικόνα 9. Ζημιές που προκλήθηκαν από τη δράση των επιφανειακών διαρρήξεων σε κτήριο μέσα στον οικισμό των Λαγυνών. (Chatzipetros et al., 2005).



Εικόνα 10. Το ίδιο κτήριο που εμφανίζεται στην εικόνα 9, γκρεμίστηκε διότι θεωρήθηκε επικίνδυνο (2019).

Η εικόνα 9 παρουσιάζει ένα κτίριο μέσα στον οικισμό των Λαγυνών, το οποίο υπέστη ζημιές εξαιτίας των επιφανειακών διαρρήξεων. Στην εικόνα 10, εμφανίζεται μια φωτογραφία της συγγραφέα η οποία τραβήχτηκε το 2019 με την ίδια οπτική γωνία, που είχε τραβηχτεί η εικόνα 9 το 2005 από τους Chatzipetros et al. Και οι δύο εικόνες αντιπροσωπεύουν την ίδια περιοχή με τη διαφορά ότι το κτίριο στη δεύτερη έχει γκρεμιστεί διότι θεωρήθηκε επικίνδυνο. Η εικόνα 11 δείχνει την παραμόρφωση που έχει υποστεί ένα τοιχίο 50 μέτρα μόλις από την παλαιά εθνική οδό Θεσσαλονίκης – Καβάλας.



Εικόνα 11. Παραμόρφωση τοιχίου στην περιοχή των Λαγυνών, 50 m νότια της Παλαιάς Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης – Καβάλας.

1.2 Εργασίες που υλοποιήθηκαν - Μεθοδολογία

Για την παρούσα διπλωματική εργασία εκτελέστηκαν οι εξής εργασίες:

Α. Συγκέντρωση και μελέτη της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας, που είχαν ως κύριο αντικείμενο τη νεοτεκτονική και μορφοτεκτονική ανάλυση μιας περιοχής καθώς και αναφορές για την παλαιοσεισμολογία και χαρτογράφηση.

Β. Συλλογή πληροφοριών μέσω βιβλιογραφίας για τις γεωλογικές, τεκτονικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, καθώς και για τη γεωτεκτονική εξέλιξη και τις συνθήκες μεταμόρφωσης της ευρύτερης περιοχής. Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώθηκαν με την πρώτη επίσκεψη στην περιοχή μελέτης και συμπληρώθηκαν με μετέπειτα έρευνα.

Γ. Χαρτογράφηση σε περιβάλλον G.I.S. των σχηματισμών του υποβάθρου και των μεταλλικών ιζημάτων της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 1:10.000 με τη βοήθεια του γεωλογικού χάρτη φύλλο *Θέρμη* κλίμακας 1:50.000 (Ι.Γ.Μ.Ε) και του νεοτεκτονικού χάρτη φύλλο *Λαγκαδά και φύλλο Θεσσαλονίκης* κλίμακας 1:100.000, του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.).

Δ. Εύρεση και χαρτογράφηση των κύριων ρηγμάτων με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών και παρατηρήσεων υπαίθρου στην ευρύτερη περιοχή.

Ε. Λήψη μετρήσεων τεκτονικών στοιχείων και αποτύπωσή τους σε τεκτονικά διαγράμματα Schmidt και ροδοδιαγράμματα παράταξης και διεύθυνσης κλίσης, με τη βοήθεια των λογισμικών Dips5.0, Rockwork και GeoRose 0.5.1 (Yong Technology Inc., 2014).

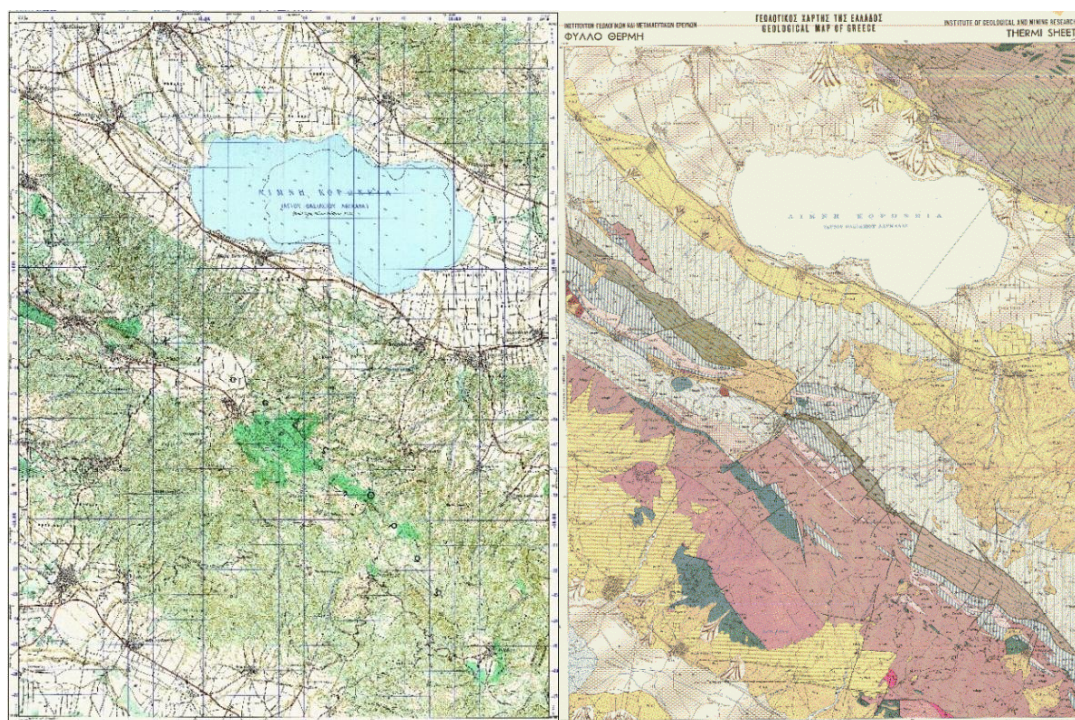
ΣΤ. Μορφοτεκτονική ανάλυση και εύρεση μορφοτεκτονικών δεικτών. Στο τελικό στάδιο έγινε εξαγωγή ειδικών χαρτών της περιοχής με τη βοήθεια του λογισμικού Global Mapper για την ανάλυση αυτών των δεικτών.

2. Λεκάνη της Μυγδονίας

Η λεκάνη της Μυγδονίας εντοπίζεται στη Βόρεια Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα Α – ΑΒΑ της πόλης της Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για ένα τεκτονικό βύθισμα, το οποίο οριοθετείται από σεισμικά ενεργά ρήγματα. Το υψόμετρο χαρακτηρίζεται ομαλό, με εξαίρεση το νότιο τμήμα της λεκάνης, όπου το ανάγλυφο είναι απότομο λόγω της παρουσίας ενεργών ρηγμάτων που οριοθετούν το νότιο περιθώριό της.

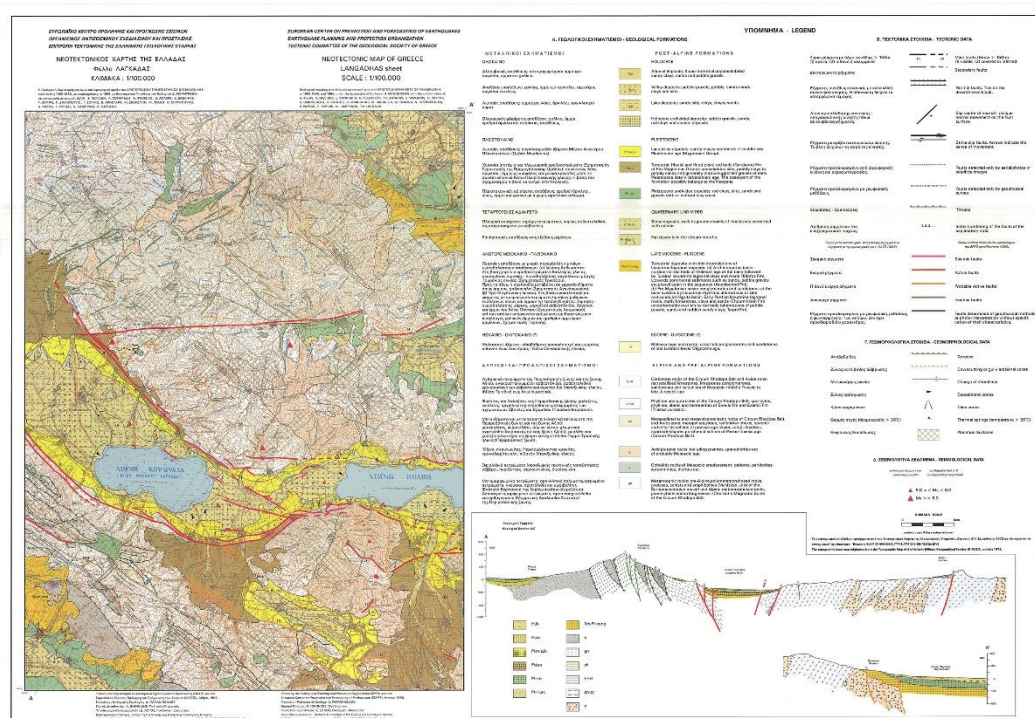
Η ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης, χαρτογραφικά καλύπτεται από τα τοπογραφικά φύλλα *Σταυρός*, *Ζαγκλιβέρι*, *Θέρμη*, *Σοχός* και *Λαχανάς* κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ) και από τα αντίστοιχα φύλλα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας *Σταυρός*, *Ζαγκλιβέρι*, *Θέρμη*, *Σοχός* και *Λαχανάς* του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε). Η νεοτεκτονική χαρτογράφηση της περιοχής, η οποία είναι και το κύριο μέρος αυτής της εργασίας, έχει καταγραφεί στο φύλλο *Λαγκαδάς* του νεοτεκτονικού χάρτη της Ελλάδας σε κλίμακα 1:100.000 του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης Σεισμών, του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας και της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας.

Η Μυγδονία ανήκει στις μικρότερες λεκάνες – τάφρους του βορειοελλαδικού χώρου, που αναπτύχθηκαν σε μια διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ έως Α – Δ κυρίως στο Τεταρτογενές, μια διεύθυνση που δείχνει την επικράτηση ενός εφελκυστικού πεδίου Α – Δ διεύθυνσης (Παυλίδης, 2003).



Εικόνα 12.. Τοπογραφικός χάρτης (αριστερά) και Γεωλογικός χάρτης (δεξιά) φύλλον Θέρμης (Γ.Υ.Σ., 1970, 1:50.000).

Στην εικόνα 12 φαίνεται ο τοπογραφικός και ο γεωλογικός χάρτης του φύλλου Θέρμης κλίμακα 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης. Στην εικόνα 13 εμφανίζεται ο Νεοτεκτονικός χάρτης του φύλλου «Λαγκαδάς» σε κλίμακα 1:100.000, ο οποίος προσέφερε πολύτιμη βοήθεια για την κατανόηση της νεοτεκτονικής της περιοχής.



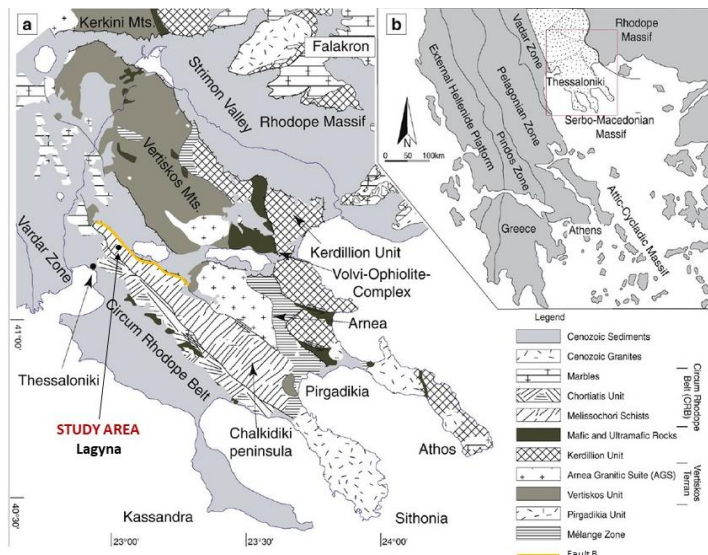
Εικόνα 13. Νεοτεκτονικός χάρτης του φύλλου «Λαγκαδάς» σε κλίμακα 1:100.000. Πηγές: Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης και Πρόγνωσης Σεισμών, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας και Επιτροπή Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

2.1 Γεωλογία της περιοχής

Γεωλογικά, η λεκάνη της Μυγδονίας βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία, στα όρια της Σερβομακεδονικής μάζας (Sm) με την Περιοδοπική ζώνη (CR), οι οποίες εμφανίζονται με το σκούρο γκρι και ροζ χρώμα αντίστοιχα, στον χάρτη της εικόνας 14. Το κίτρινο πλαίσιο δείχνει τη θέση της Μυγδονίας Λεκάνης στον ελλαδικό χώρο. Παρακάτω, περιγράφονται τα κυριότερα γεωλογικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών γεωλογικών ενοτήτων, καθώς και η γεωγραφική και γεωτεκτονική τους εξέλιξη.



Εικόνα 14. Χάρτης γεωλογικών ζωνών της Ελλάδας. Το κόκκινο πλαίσιο αντιπροσωπεύει τα όρια της Μυγδονίας λεκάνης. (Μουντράκης, 2010).

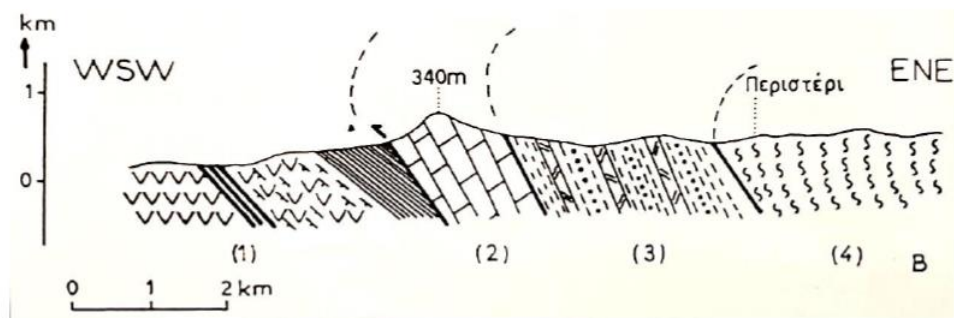


Εικόνα 15. Γεωλογικός χάρτης της κεντρικής Μακεδονίας. Τροποποιημένος από Kockel et al. 1977. Το κόκκινο πλαίσιο χαρακτηρίζει τα όρια της περιοχής μελέτης.

Το κόκκινο πλαίσιο στον χάρτη της εικόνας 15 αντιπροσωπεύει τα όρια της περιοχής μελέτης. Στον παραπάνω γεωλογικό χάρτη εμφανίζονται οι διάφορες ενότητες της Σερβομακεδονικής μάζας και της Περιοδοπικής ζώνης.

2.1.1 Σερβομακεδονική μάζα

Οι αρχικές – πρώτες αντιλήψεις για την Σερβομακεδονική μάζα (Serbomacedonian massif) καθώς και για την εξάπλωσή της στον ευρύτερο χώρο της Βόρειας Ελλάδας, ήταν βεβαίως διαφορετικές από τα σημερινά δεδομένα (Μουντράκης, 2010). Πιστευόταν, ότι αυτή έφτανε μέχρι τη ζώνη του Αξιού, δηλαδή αρκετά πιο δυτικά από ότι βρίσκεται με βάση τα σημερινά δεδομένα. Ωστόσο, η ερευνητική εξέλιξη διαχώρισε μια ζώνη ανάμεσα στην Σερβομακεδονική ζώνη και τη ζώνη του Αξιού, ως μια διαφορετική σειρά πετρωμάτων, την Περιοδοπική ζώνη (Circum Rhodope belt), η οποία θα αναλυθεί παρακάτω.



Σχήμα 1. Σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή του δυτικού ορίου της Σερβομακεδονικής, όπου παρατηρείται η αναστροφή των στρωμάτων. (1): Οφειολιθικά πετρώματα από τη ζώνη Αξιού και ιζήματα βαθιάς θάλασσας, κερατόλιθοι και φλύσχης Ιουρασικής ηλικίας της Περιοδοπικής ζώνης, (2): Ανθρακικά πετρώματα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας, (3): Μετακλαστική ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά του Περμίου – Κάτω Τριαδικού, (4): Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας (Μουντράκης, 2010).

Το σχήμα 1 απεικονίζει μια γεωλογική τομή στην περιοχή του δυτικού ορίου της Σερβομακεδονικής, όπου παρατηρείται η αναστροφή των στρωμάτων.



Εικόνα 16. Γεωτεκτονικός χάρτης της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: Μεταλιθικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμόνα, 2: Ενότητες Βερτίσκου, 3: Ενότητες Κερδυλλίων, 4: Μάζα Ροδόπης, 5: Περιοδοπική ζώνη, 6: Ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής ζώνης, 7: Δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής ζώνης (Μουντράκης, 2010).

Λιθοστρωματογραφία του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου

Τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής, όπως εμφανίζονται στην εικόνα 16, συνθέτουν το μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από την κατώτερη και παλαιότερη σειρά Κερδυλλίων και την ανώτερη και νεότερη σειρά Βερτίσκου.

Σειρά Κερδυλλίων

Η σειρά των Κερδυλλίων είναι η κατώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής μάζας και συνιστά έναν από τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σε όλη την Ελλάδα. Γεωγραφικά, περιορίζεται στο ΒΑ τμήμα της Χαλκιδικής και συναντάται σε πολύ μικρό μέρος της

Μυγδονίας λεκάνης. Η τοποθέτηση της έχει γενική διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ και η λιθοστρωματογραφία της σειράς αποτελείται από τους εξής ορίζοντες:

1. Βιοτιτικοί γνεύσιοι. Σκοτεινότεφροι, λεπτόκοκκοι με ενστρώσεις πρασινωπών μεσόκοκκων βιοτιτικών-κεροστιλβικών γνευσίων, πάχους περίπου 700 μέτρων.
2. Κατώτερος ορίζοντας μαρμάρου. Χονδρόκοκκα, παχυστρωματώδη με ενστρώσεις βιοτιτικού γνευσίου, κεροστιλβικού σχιστολίθου και αμφιβολιτών.
3. Βιοτιτικός γνεύσιος. Πάχους περίπου 1000 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπυριτικών πετρωμάτων.
4. Ενδιάμεσος ορίζοντας μαρμάρου. Πάχους 10-200 μέτρων με παρεμβολές γνευσίων και αμφιβολιτών.
5. Βιοτιτικός γνεύσιος. Πάχους 700-1000 μέτρων
6. Ανώτερος ορίζοντας μαρμάρου. Πάχους 30 έως 300 μέτρων, με παρεμβολές βιοτιτικών γνευσίων, βιοτιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και αμφιβολιτών.

Σειρά Βερτίσκου

Η σειρά Βερτίσκου αποτελεί την ανώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής μάζας. Γεωγραφικά, συναντάται σε μια μεγάλη περιοχή από τις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ, φτάνει μέχρι τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και τα Σκόπια, και επεκτείνεται στα εδάφη αυτών των χωρών. Αποτελεί την κυριότερη σειρά πετρωμάτων της Μυγδονίας λεκάνης, μαζί με τους σχηματισμούς της Περιοδοπικής ζώνης .

Η λιθοστρωματογραφία της σειράς περιλαμβάνει τους εξής σχηματισμούς:

1. Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι. Πρόκειται για τεφρούς και καστανούς λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους γνευσίους που αποτελούν τον κυριότερο πετρογραφικό τύπο της σειράς του Βερτίσκου. Περιέχουν μοσχοβίτη και βιοτίτη τα οποία είναι και τα χαρακτηριστικά τους ορυκτά.
2. Διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι. Περιέχουν γρανάτες.
3. Μάρμαρα
4. Βιοτιτικοί γνεύσιοι.
5. Αμφιβολίτες και μεταβασικά πετρώματα.
6. Εκλογίτες.

Συνθήκες μεταμόρφωσης και τεκτορογενετική εξέλιξη της Σερβομακεδονικής μάζας

Έπειτα από συστηματική έρευνα για τις συνθήκες μεταμόρφωσης της Σερβομακεδονικής, (Δημητριάδης 1974, Κασώλη 1981, Σακελαρίου 1989, Κούρου 1991, Σιδηρόπουλος 1991, Dimitriadis & Godelitsas 1991, Himmercus et al. 2006) διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για μια πολυμεταμορφωμένη μάζα.

Μια αρχική εκλογιτική μεταμόρφωση ήταν η πρώτη που επηρέασε τα παλιά βασικά πυριγενή πετρώματα και επέδρασε σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Οι εκλογίτες αυτοί, αλλοιώθηκαν αργότερα από μια μεταγενέστερη αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης και εμφανίζονται σήμερα ως «αμφιβολιτιωμένοι εκλογίτες».

Η αμφιβολιτική αυτή φάση ήταν η κύρια μεταμόρφωση που έλαβε χώρα στη Σερβομακεδονική με συνθήκες μέσης πίεσης και θερμοκρασίας. Συνοδεύτηκε από παραμόρφωση και ανάπτυξη της κύριας σχιστότητας των πετρωμάτων. Επίσης, η ανάπτυξη μιγματιτικών πετρωμάτων και γρανιτών που έλαβε χώρα ήταν συγγενετικής προέλευσης με τους μιγματίτες. Ακόμη, στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής παρατηρείται κατά θέσεις, επίδραση μιας ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

Εκτός όμως, από τον πολυμεταμορφωμένο χαρακτήρα της, η Σερβομακεδονική έχει υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι να διαμορφωθεί ολοκληρωτικά. Η πρώτη και κύρια τεκτονική δράση ήταν Παλαιοζωικής ηλικίας κατά την οποία μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν τα πετρώματά της (Μουντράκης, 2010).

Εντούτοις, οι ραδιοχρονολογικές ενδείξεις που υπάρχουν στον ελληνικό χώρο δείχνουν ότι η πρώτη ορογενετική περίοδος που έχει αφήσει τα ίχνη της, είναι Ερκύνια (300 Ma). Κατά την ορογένεση αυτή δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές, συμμεταμορφικές ως προς την πρώτη κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση, οι άξονες των οποίων έχουν γενική διεύθυνση και βύθιση προς Βορρά. Με αυτό το γεγονός, δημιουργήθηκε και η πρώτη σχιστότητα S_1 των μιγματιτών. Η δεύτερη ορογενετική περίοδος τοποθετείται στο Ιουρασικό, ταυτόχρονα με την εξέλιξη της αμφιβολιτικής μεταμόρφωσης. Εκείνο το διάστημα έλαβε χώρα η δεύτερη φάση πτυχώσεων που ήταν συμμεταμορφική και προκάλεσε ισοκλινείς πτυχές με άξονες ΒΔ – ΝΑ καθώς και την κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής. Στη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού δημιουργήθηκαν πτυχές κλειστές – υποϊσοκλινείς εξαιτίας μιας ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Μετά το τέλος του Κρητιδικού έλαβαν χώρα οι Τριτογενείς Αλπικές φάσεις πτυχώσεων, οι οποίες οφείλονται σε συμπίεστική τεκτονική, δημιουργώντας λεπιώσεις των στρωμάτων, τοπικές αλλά και μεγάλης κλίμακας επωθήσεις, καθώς και μια

αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της ζώνης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων Τριτογενών παραμορφώσεων προκλήθηκαν ανοιχτές πτυχές και πτυχές τύπου knick.

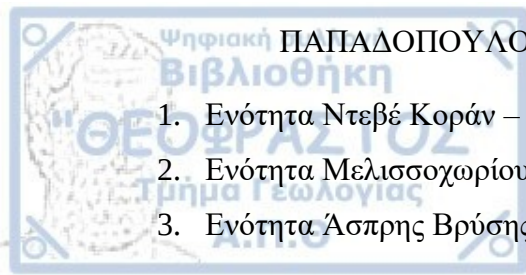
Σημαντικές αναφοράς είναι οι νεότερες έρευνες στη τεκτονική και μεταμόρφωση της Σερβομακεδονικής καθώς είναι κύριο αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Διαπιστώθηκε ότι τα μεταμορφωμένα αυτά πετρώματα υφίστανται μια πλαστική εκτατική τεκτονική, η οποία εξελίσσεται από το Άνω Κρητιδικό έως το Νέο – Τριτογενές (Kilias et al 1999, Φαλαλάκης 2004). Συγκεκριμένα, μια υπο-οριζόντια έκταση του φλοιού σε διεύθυνση ABA – ΔΝΔ, προκάλεσε την κυρίαρχη πλαστική υφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Αυτή η υφή, συνοδεύεται από μια διαμπερή (penetrative) σχιστότητα, διεύθυνσης ABA – ΔΝΔ καθώς και μια γράμμωση έκτασης στην ίδια διεύθυνση. Η έννοια της διάτμησης στην πλαστική ροή αυτού του τεκτονικού γεγονότος είναι κυρίως προς τα Ανατολικά και τα τεκτονικά στοιχεία του φανερώνουν συμμεταμορφική δράση με μια μέση αμφιβολιτική φάση. ($T=440^{\circ}\text{C} - 580^{\circ}\text{C}$, $P= 4,5 - 9 \text{ kbar}$). Δεδομένου, ότι η εφελκυστική αυτή τεκτονική χρονολογείται στο Άνω Κρητιδικό, δημιουργούνται ερωτήματα για την ηλικία μεταμόρφωσης της αμφιβολιτικής φάσης στη Σερβομακεδονική, που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Η εκτατική τεκτονική συνεχίζει στο Τριτογενές και εμφανίζεται ως ημιπλαστική (semi ductile) προκαλώντας πυκνές ζώνες διάτμησης, μικρής γωνίας κλίσης με κίνηση κανονική προς τα ΒΑ και τα ΝΔ. Η σχιστότητα και η γράμμωση διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ χαρακτηρίζουν απόλυτα το τεκτονικό αυτό γεγονός, καθώς ο κύριος άξονας εφελκυσμού σ_3 τοποθετείται οριζόντια στη διεύθυνση αυτή και είναι παράλληλος με τη γράμμωση (Α. Kilias, 1999).

Τέλος, κατά την περίοδο Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου συνεχίζεται η εφελκυστική τεκτονική σε συνθήκες τελείως θραυστικές (brittle) και προκαλεί κανονικά ρήγματα, διάφορων διευθύνσεων και μεσαίων αλλά και μεγάλων κλίσεων, δημιουργώντας και επηρεάζοντας τεκτονικές λεκάνες, μεταξύ των οποίων και η Μυγδονία λεκάνη (Α. Kilias, 1999).

2.1.2 Περιοδοπική ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη καθιερώθηκε στη γεωτεκτονική διαίρεση της Ελλάδας από τους Kauffmann et al. (1976) σαν η πιο εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων με το όνομα Circum Rhodope belt. Αποτελεί μια ακολουθία πετρωμάτων πάχους 10-20 km, η οποία εκτείνεται από το ΝΔ άκρο της Χερσονήσου της Σιθωνίας μέχρι τη λεκάνη του Αξιού με γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Με βάση τις νεότερες απόψεις η Περιοδοπική διαχωρίζεται σε τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες, όπως εμφανίζονται στην εικόνα 17 (από Ανατολικά προς τα Δυτικά):



1. Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά
2. Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα
3. Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη

1. Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά

Η ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά είναι η ανατολικότερη από όλες και αποτελείται από τις εξής σειρές πετρωμάτων:

- Σχηματισμός Εξαμιλίου. Είναι η βάση της ενότητας και περιλαμβάνει ένα σχηματισμό μεταϊζηματογενών πετρωμάτων όπως μεταψαμμίτες, μετακροκαλοπαγή, χαλαζίτες και χαλαζιακούς σχοστολίθους ηλικίας Περμίου.
- Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά (Volcanosedimentaire). Πάνω από το σχηματισμό Εξαμιλίου βρίσκονται εναλλαγές ηφαιστειακών (ρυόλιθοι, πυροκλαστικά και πορφυροειδή) και ιζηματογενών υλικών (ασβεστιτικοί και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες), χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης. Η ηλικία αυτής της σειράς είναι Περμίου – Κάτω Τριαδικού και συνδέεται με διττή ηφαιστειότητα, δηλαδή και όξινη και βασική. Διεθνώς, χαρακτηρίζεται ως bimodal ηφαιστειότητα (Ασβεστά 1991) και υποδηλώνει συνθήκες αρχικής ηπειρωτικής διάρρηξης.
- Ανθρακική σειρά. Η ιζηματογένεση συνεχίζεται προς τα πάνω με την απόθεση μιας ανθρακικής νηριτικής σειράς που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ψαμμιτικούς και μαρμαρυγιακούς ασβεστόλιθους με φύκη και κοράλλια. Η ηλικία της τοποθετείται στο Μέσο Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό.

2. Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα

Η ενότητα αυτή έχει τη μεγαλύτερη έκταση και από τις τρεις της Περιοδοπικής και εκτείνεται σαν λωρίδα πλάτους 5-15 km με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και περιλαμβάνει τους παρακάτω σχηματισμούς:

- Ανθρακικά πετρώματα. Είναι ο κατώτερος σχηματισμός της ενότητας και αποτελείται από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ηλικίας Μέσου – Άνω Τριαδικού.
- «Φλύσχος της Σβούλας». Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας αυτής εμφανίζεται ως φλύσχος και περιέχει εναλλαγές μεταϊζηματογενών πετρωμάτων όπως φυλλίτες, ψαμμίτες και μάργες με ολισθόλιθους μαρμάρων. Ο σχηματισμός αυτός είναι πολύ χαρακτηριστικός καθώς

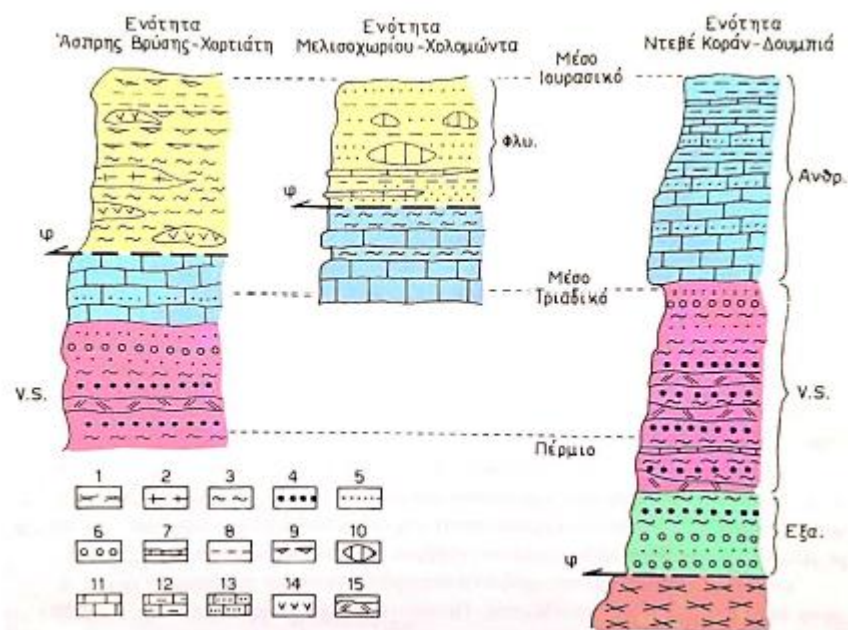
δείχνει το χαρακτήρα της ζώνης ως ηπειρωτικής κατωφέρειας. Τοποθετείται στο Κάτω – Μέσο Ιουρασικό και αναφέρεται επίσης και ως «αυτόχθονη σειρά της Σβούλας».

3. Ενότητα Ασπρης Βρύσης – Χορτιάτη

Αποτελεί την δυτικότερη από τις τρεις σειρές της Περιοδοπικής ζώνης, πλάτους 4-8 km και αποτελείται από:

- Μετακλαστικά και ανθρακικά ιζήματα. Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Πέρμο – Τριαδικής ηλικίας, μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ιζήματα ανάλογα με της ενότητας Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά (Μουντράκης, 2010).
- Ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Περιλαμβάνουν κερατόλιθους, αργιλικούς και χαλαζιακούς σχιστόλιθους, φυλλίτες και μάργες. Το χαρακτηριστικό αυτής της σειράς είναι η παρεμβολή βασικών και υπερβασικών οφειολιθικών σωμάτων.

Επίσης, μέσα σε αυτόν τον ορίζοντα παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης. Οι συγκεκριμένοι επιγνεύσιοι είναι ακτινολιθικοί, επιδοτιτικοί, χλωριτικοί γνεύσιοι, αμφιβολιτικοί βιοτιτικοί γνεύσιοι και πρασινίτες. Τα παραπάνω πετρώματα ονομάζονται «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» και εναλλάσσονται με χλωριτικούς και σερικιτικούς επιδοτιτικούς σχιστόλιθους, φυλλίτες και μάρμαρα.



Εικόνα 17. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενότητων της Περιοδοπικής ζώνης. 1: Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Σερβομακεδονικής, 2: Πράσινοι γνεύσιοι Θεσσαλονίκης και μεταπυριγενή πετρώματα «Μαγματικής σειράς Χορτιάτη», 3: Σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4: Πυροκλαστικά υλικά, 5: Μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, 6: Μετακροκαλοπαγή, 7: Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8: Αργιλικοί σχιστόλιθοι και μάργες, 9: Κερατόλιθοι, 10: Ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, 11: Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12: Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13: Ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14: Οφειολιθικά πετρώματα, 15: Ηφαιστειακά υλικά, φ: Τεκτονική επαφή, Εξα: Σχηματισμός Εξαμυλίου, V.S.: Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Ανθρ.: Ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ.: Φλύσσης (Μουντράκης, 2010).

Συνθήκες μεταμόρφωσης και τεκτονική δομή της Περιοδοπικής ζώνης

Τα πετρώματα και των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής εμφανίζονται μεταμορφωμένα. Γενικότερα, οι συνθήκες μεταμόρφωσης είναι χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας και πιο συγκεκριμένα πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Ωστόσο, κατά τόπους εμφανίζονται αισθητές διαφορές στην ένταση της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων. Θεωρείται πως τα Περμοτριάδικά και Ιουρασικά πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης μεταμορφώθηκαν κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό.

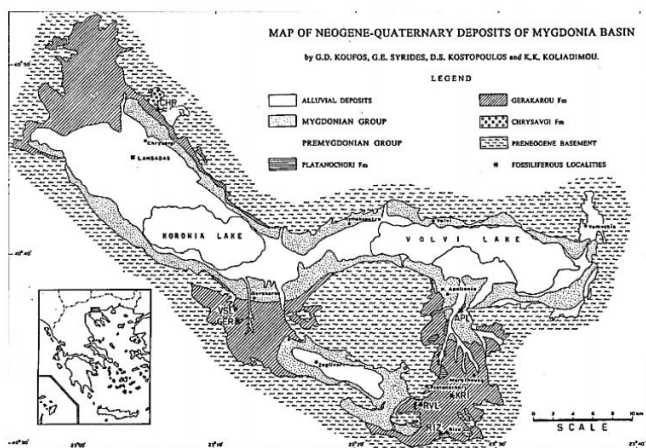
Όσον αφορά την τεκτονική εξέλιξη και παραμόρφωση της συγκεκριμένης ζώνης, σημαντικές αναφορές είναι οι δύο φάσεις πτυχώσεων. Ταυτόχρονα με την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση θεωρείται ότι έλαβε χώρα η πρώτη, κύρια παραμόρφωση των σχηματισμών της ζώνης. Αυτή προκάλεσε πτυχές σχεδόν ισοκλινείς και οδήγησε στην εμφάνιση σχιστότητας των πετρωμάτων. Η δεύτερη φάση πτυχώσεων συνέβη κατά το Τριτογενές και περιλαμβάνει πτυχές ανοιχτές, μετά – μεταμορφικές και πτυχές τύπου knick.

2.1.3 Μεταλλικά ιζήματα

Τα μεταλλικά ιζήματα της Μυγδονίας λεκάνης (Εικόνα 18) αντιπροσωπεύονται από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι δύο βασικές ομάδες ιζημάτων, σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (1977) είναι η Προμυγδονιακή και η Μυγδονιακή ομάδα.

Προμυγδονιακή ομάδα:

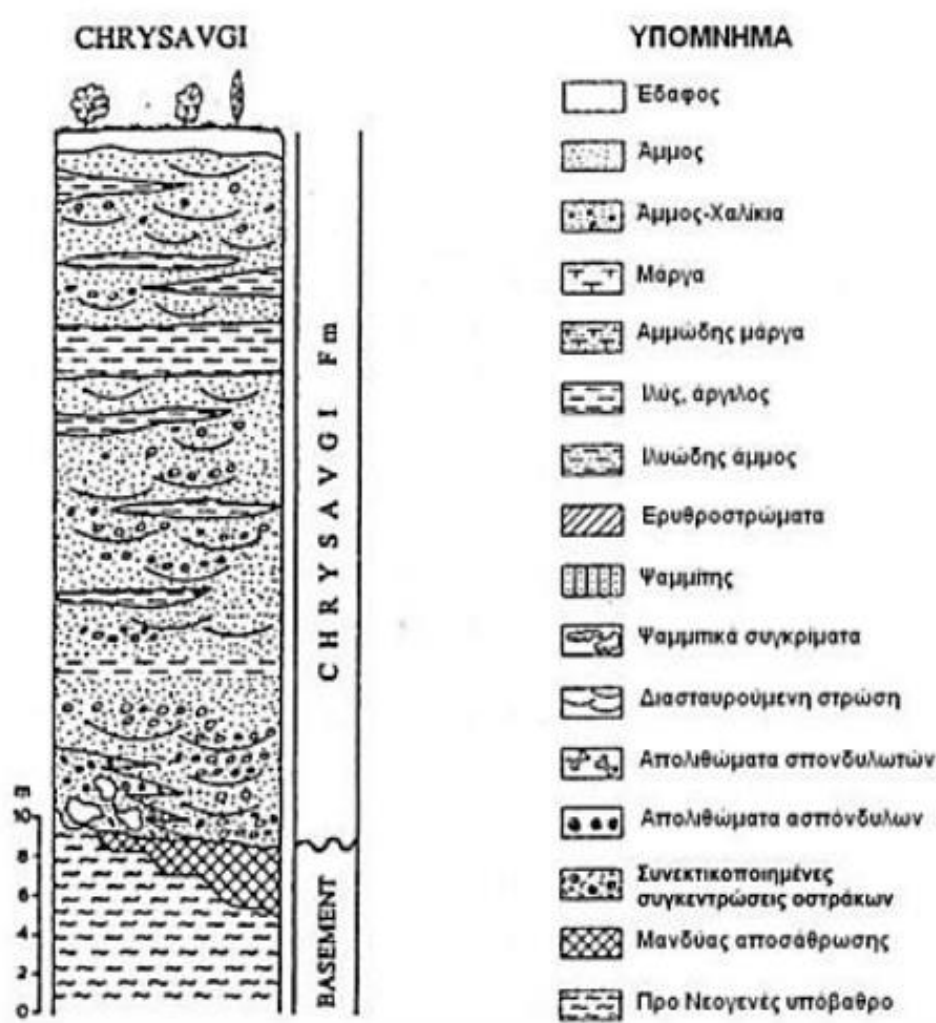
Η απόθεση των ιζημάτων έγινε στα όρια της Προμυγδονίας λεκάνης κατά την περίοδο του Νεογενούς και αρχικά διαχωρίστηκε σε τρεις σχηματισμούς, οι οποίοι από τον κατώτερο προς τον νεότερο είναι: Σχηματισμός Χρυσανγής, Σχηματισμός Γερακαρούς και Σχηματισμός Πλατανοχωρίου (Koufos et al., 1995).



Εικόνα 18. Οι κύριες λιθοστρωματογραφικές ενότητες που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές με Τεταρτογενές στη Μυγδονία λεκάνη (Koufos et al., 1995).

- Σχηματισμός Χρυσανγής

Ο Σχηματισμός Χρυσανγής βρίσκεται τοποθετημένος ασύμφωνα πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής. Αποτελείται από ποταμοχειμάρριας προέλευσης κροκαλοπαγή, ψαμμίτες σε διασταυρούμενες στρώσεις και λιμναία-ποταμολιμναία αργιλοψαμμιτικά ιζήματα, που αποτέθηκαν κατά το Πόντιο. Η εμφάνιση του σχηματισμού είναι περιορισμένη στη Μυγδονία λεκάνη, ενώ το πάχος του υπολογίζεται στα 40 με 50 m. Η εικόνα 19 αντιπροσωπεύει τη στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Χρυσανγής.

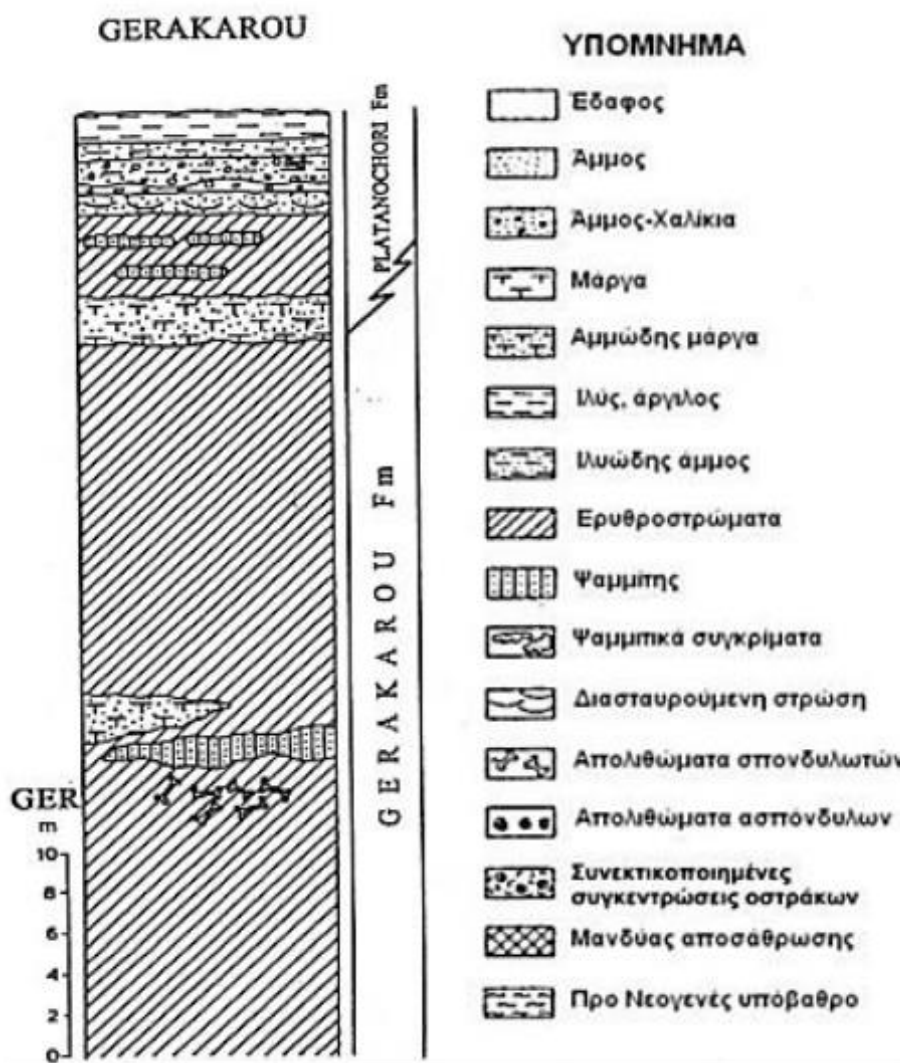


Εικόνα 19. Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Χρυσανγής (Koufos et al., 1995).

- Σχηματισμός Γερακαρούς

Ο Σχηματισμός Γερακαρούς συνίσταται από ερυθροστρώματα, τα οποία αποτελούνται από κροκαλοπαγή, άμμο, ιλύ και άργιλο με χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα και διασταυρωτή στρώση, που έχουν αποτεθεί υπό χερσοποτάμιες συνθήκες κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι

το τέλος του Βιλλαφράγκιου, όπως φαίνονται στην αντίστοιχη στρωματογραφική στήλη της εικόνας 20. Η εμφάνιση αυτού του σχηματισμού είναι εκτεταμένη στη Μυγδονία λεκάνη με το πάχος του να κυμαίνεται από 45 m στα περιθώρια της λεκάνης μέχρι πάνω από 100 m στο εσωτερικό της.

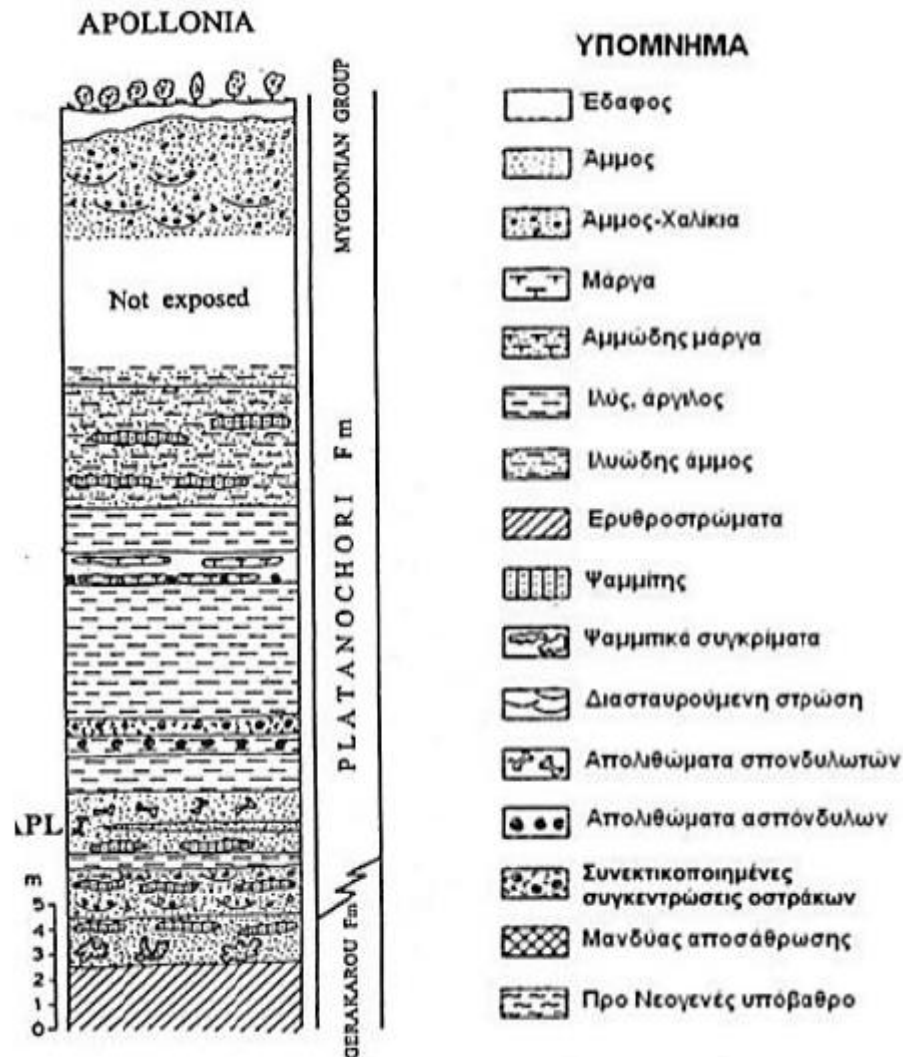


Εικόνα 20. Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Γερακαρούς (Koufos et al., 1995).

Σχηματισμός Πλατανοχωρίου

Επάνω από το σχηματισμό Γερακαρούς διαχωρίστηκε ο «Σχηματισμός Πλατανοχωρίου» από τους Koufos et al. (1995). Βρίσκεται στην περιοχή του Πλατανοχωρίου (υπολεκάνη Μαραθούσας). Ο Σχηματισμός Πλατανοχωρίου συγκροτείται από ποταμολιμναίας προέλευσης αργιλικά ιζήματα, ψαμμίτες και στρώματα ιλύος με ψαμμιτικούς φακούς. Σύμφωνα με παλαιοντολογικές μελέτες η ηλικία του σχηματισμού προσδιορίζεται στο Ανώτατο Βιλλαφράγκιο με Κατώτερο Μπιχάριο (Koufos et al. 1992). Οι εμφανίσεις του είναι

περιορισμένες στη Μυγδονία λεκάνη και φέρει πάχος 10 - 20m. Η εικόνα 21 αντιπροσωπεύει τη στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Πλατανοχωρίου.



Εικόνα 21. Στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού Πλατανοχωρίου (Koufos et al., 1995).

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτών των αποθέσεων είναι τα εξής: (Ψιλοβίκος 1977, Psilovikos and Sotiriadis 1983)

- **Κροκαλοπαγή**

Το κατώτερο τμήμα της Προμυγδονιακής ομάδας αποτελείται από συνεκτικά κροκαλοπαγή βάσης, τα οποία επικάθονται ασύμφωνα επάνω στο υπόβαθρο. Το πάχος τους ποικίλλει από 2 έως 10 m. Απαρτίζονται από αποστογγυλωμένες κροκάλες και αδρόκοκκη άμμο. Η προέλευσή τους πιθανώς να είναι ποταμοχειμάρρεια.

- **Ψαμμίτες**

Η απόθεση τους έγινε σε συμφωνία με τα κροκαλοπαγή. Έχουν διαστρωτή στρώση και αποτελούνται από μεσόκοκη έως αδρόκοκη άμμο με ανθρακικό συνδετικό υλικό, ή από πολύ αδρόκοκη άμμο με πυριτικό συνδετικό υλικό. Περιλαμβάνουν επίσης, αργιλικούς φακούς, καθώς και τεμάχια του υποβάθρου. Τα ψαμμιτικά σώματα που διαχωρίζονται από τις διαστρωτές στρώσεις μπορεί να φτάσουν και τα 80 m πάχος. Αποτέθηκαν από παλαιότερα με τη μορφή κυρίως αλλουβιακών ριπιδίων στις εξόδους τους προς τη λίμνη της Προμυγδόνιας λεκάνης.

- **Αργιλοψαμμιτικά ιζήματα**

Κατά τον Πόντιο, αποτέθηκαν σύμφωνα επάνω από τους ψαμμίτες και αποτελούνται από ρυθμίτες μικρού πάχους, έως 1 m. Η δομή των ρυθμιτών περιλαμβάνει τα εξής στρώματα από το κατώτερο προς το ανώτερο:

1. Ένα μαζώδες στρώμα γκρίζας αργίλου και ιλύος.
2. Λεπτές εναλλαγές αμμωδών αργίλων και άμμων.
3. Ένα στρώμα άμμου και χαλικιών.

Στα όρια των ρυθμιτών παρατηρούνται επιφάνειες ασυμφωνίας που δείχνουν την έναρξη ενός νέου κύκλου απόθεσης. Το πάχος των ιλυσωδών ιζημάτων υπερβαίνει τα 100 m. Η προέλευση τους είναι ποταμολιμναία – λιμναία με έντονη την επίδραση των κλιματικών συνθηκών.

- **Ερυθροστρώματα**

Αποτελούν την ανώτερη ενότητα και αποτελούνται από κροκαλοπαγή, άμμο, άργιλο με χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα και διαστρωτή στρώση (Ψιλοβίκος, 1977). Το πάχος των ερυθροστρωμάτων μεταβαίνει από τα 45 m σε περισσότερο από 100 m στο κέντρο της λεκάνης. Η απόθεση τους ξεκίνησε κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο και συνεχίστηκε μέχρι και το τέλος του Βιλλαφράγκιου. Η απόθεσή τους σχετίζεται με θερμό ημίξηρο κλίμα και με πλούσια πανίδα σπονδυλωτών (Κολιαδήμου 1996).

Μυγδονιακή ομάδα:

Η Μυγδονιακή ομάδα αποτελείται από υλικά που αποτέθηκαν πάνω από τα ερυθροστρώματα κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς και συναντάται σε όλες τις υπολεκάνες της

Προμυγδονίας. Στην περιοχή της Μυγδονίας υπολεκάνης, εμφανίζεται με τους εξής δύο τύπους:

1. Ποταμολιμναία και δελταϊκά ιζήματα. Εντοπίζονται στα περιθώρια της λεκάνης και αποτελούνται από κροκαλοπαγή, χαλίκια, άμμο και άργιλο. Αποτέθηκαν από ρέματα και χειμάρρους στις όχθες της Μυγδονίας λίμνης.
2. Λιμναία ιζήματα. Βρίσκονται στο κέντρο της λεκάνης και αποτελούνται από λεπτοστρωματώδεις αποθέσεις λεπτόκοκκης άμμου, αργίλου και ιλύος, καθώς είναι ενδεικτικά ήρεμου λιμναίου περιβάλλοντος.

Σε ορισμένες θέσεις τα ανώτερα μέλη της Μυγδονιακής ομάδας καλύπτονται από τραβερτίνες, οι οποίοι σήμερα σώζονται υπολειμματικά σε συγκεκριμένα σημεία της λεκάνης, π.χ Λουτρά Βόλβης, Απολλωνία, Νυμφόπετρες κ.α. Η προέλευσή τους αποδίδεται στη δράση θερμών πηγών στην περιοχή κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειστοκαίνου – Ολοκαίνου (Sotiriadis et al. 1983).

Ολοκαινικές αποθέσεις

Οι νεότερες αποθέσεις στη λεκάνη της Μυγδονίας αποτελούνται από ποταμοχειμάρρεια, στα περιθώρια, και λιμναία στο κέντρο της λεκάνης, ιζήματα. Η σύστασή τους είναι παρόμοια με αυτή των αντίστοιχων αποθέσεων της Μυγδονιακής ομάδας. Ακόμη, συναντώνται αλλουβιακά ριπίδια και πλευρικά κορήματα στα περιθώρια της λεκάνης.

2.2 Τεκτονική της περιοχής

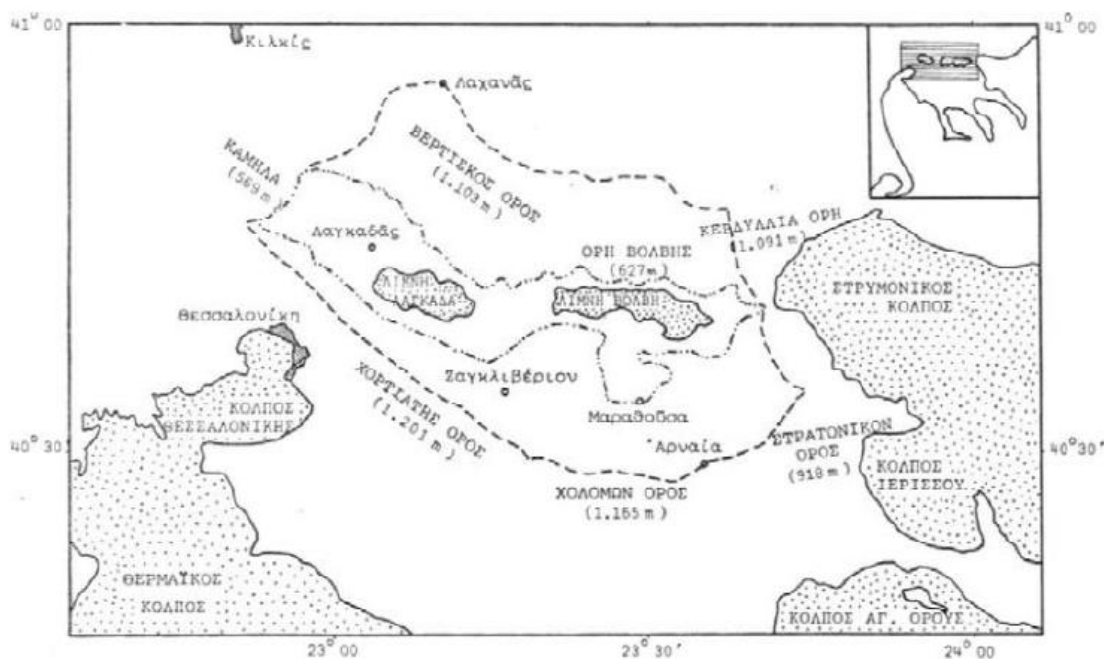
Στην τεκτονική παραμόρφωση της Περιοδοπικής ζώνης έχουν αναγνωρισθεί δύο φάσεις πτυχώσεων μέχρι τώρα. Συγχρόνως με την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση η οποία συνέβη πρώτη (Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό), τότε έλαβε χώρα και η πρώτη φάση πτύχωσης. Θεωρείται ως η κύρια παραμόρφωση των σχηματισμών της ζώνης, η οποία προκάλεσε τη σχιστότητα των πετρωμάτων και πτυχές σχεδόν ισοκλινείς. Η δεύτερη φάση πτυχώσεων περιλαμβάνει πτυχές ανοιχτές, μετά-μεταμορφικές, πτυχές τύπου knick ηλικίας Τριτογενούς.

Εκτός από τις παραπάνω φάσεις πτυχώσεων, διαπιστώθηκε ότι η Περιοδοπική υπέστη μια ισχυρή μεταμορφική παραμόρφωση στο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο, η οποία χαρακτηρίστηκε ως τεκτονική μεταφορά μιας συμπίεσης (transpressional) που ασκήθηκε κατά διεύθυνση B – N (Tranos et al., 2003). Η συγκεκριμένη παραμόρφωση προκάλεσε

αλληπάλλληλα ανάστροφα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και φοράς προς ΝΔ καθώς τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, δεξιόστροφα κατά διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ και αριστερόστροφα κατά διεύθυνση ΔΝΔ – ΑΒΑ. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε μια πολύπλοκη τεκτονική επιπνευτική μεγαδομή της Περιοδοποικής ζώνης με κίνηση προς τα ΝΔ, η οποία περιλαμβάνει λείπια της Σερβομακεδονικής που εμφανίζονται σαν εγκλωβισμένοι γνεύσιοι.

2.3 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Μυγδονίας λεκάνης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εξελικτική πορεία της Μυγδονίας λεκάνης ξεκινά κατά το Κατώτερο – Μέσο Μειόκαινο. Εκείνη την περίοδο, σχηματίστηκε η Προμυγδονία λεκάνη (Ψιλοβίκος 1977, 1984) η οποία περιελάμβανε ολόκληρη την περιοχή της σημερινής Μυγδονίας λεκάνης, καθώς και τις υπολεκάνες του Ζαγκλιβερίου και της Μαραθούσας (Εικόνα 22). Η ιζηματογένεση κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου σε αυτές τις λεκάνες προκάλεσε την απόθεση των ιζημάτων της Προμυγδονιακής ομάδας που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα κύρια ρήγματα που οριοθετούν την Προμυγδονία λεκάνη είναι το Α – Δ παράταξης ρήγμα του Σοχού στα βόρεια, καθώς και τα ΒΔ – ΝΑ ρήγματα νότια του Ζαγκλιβερίου και των Δουμπιών.



Εικόνα 22. Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης, η οποία απεικονίζεται με σιτική γραμμή (Koufos et al., 1995).

Έπειτα, κατά την εφελκυστική φάση του κατώτερου Πλειστοκαίνου δημιουργήθηκαν νέα κανονικά ρήγματα διαφόρων παρατάξεων που διαμόρφωσαν καινούριες υπολεκάνες μέσα στις ήδη υπάρχουσες. Το Μυγδονιακό σύστημα δημιουργήθηκε λόγω της αντίστοιχης ιζηματογένεσης μέσα σε αυτές τις λεκάνες.

2.3.1 Τεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής

Η τεκτονική δομή του Βορείου Αιγαίου είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, καθώς επηρεάζεται τόσο από την προς τα δυτικά προέκταση του μεγάλου δεξιόστροφου ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας που ελέγχει την κίνηση της Τουρκίας, όσο και από τον εφελκυσμό που οφείλεται στην εξασθένηση των τάσεων πίσω από το Ελληνικό τόξο, όπου η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική.

Η εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής του Β. Αιγαίου, σύμφωνα με νεοτεκτονικές παρατηρήσεις σε ολόκληρη την περιοχή διαχωρίζεται στις εξής τρεις περιόδους:

1. Μέσο – Άνω Μειόκαινο

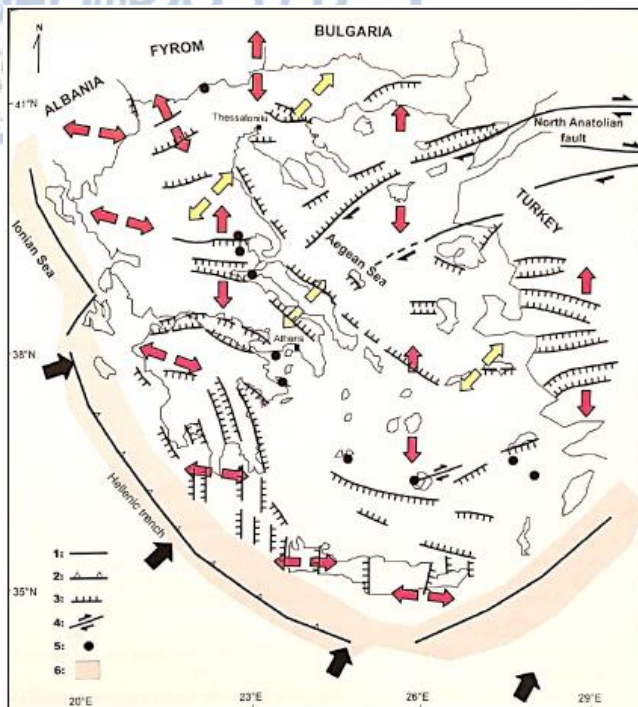
Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η Μυγδονία λεκάνη δεν δεχόταν την επίδραση του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (Dewey et al. 1986). Ο μέσος εφελκυσμός είχε διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ (Mercier et al. 1989), ενώ τα ΒΑ – ΝΔ ρήγματα στην περιοχή ήταν κυρίως κανονικά με μικρή αριστερόστροφη συνιστώσα (Lyberis 1984).

2. Πλειόκαινο – Κατώτερο Πλειστόκαινο

Η περιοχή άρχισε να επηρεάζεται από το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας και διαμόρφωσε τον εφελκυστικό άξονα s_3 σε μια ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων ΒΔ – ΝΑ παράταξης, καθώς επίσης και την επαναδραστηριοποίηση παλαιότερων (Mercier et al. 1989).

3. Μέσο Πλειστόκαινο – Σήμερα

Το ενεργό τεκτονικό πεδίο στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι Β – Ν με μικρές αποκλίσεις από ΒΒΑ – ΝΝΔ έως ΒΒΔ – ΝΝΑ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων Α – Δ παράταξης. Το εφελκυστικό πεδίο στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης επιβεβαιώθηκε κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1978, όπου στις επιφανειακές διαρρήξεις το διάνυσμα ολίσθησης έδειξε διεύθυνση εφελκυσμού Β – Ν (Mercier et al. 1979).

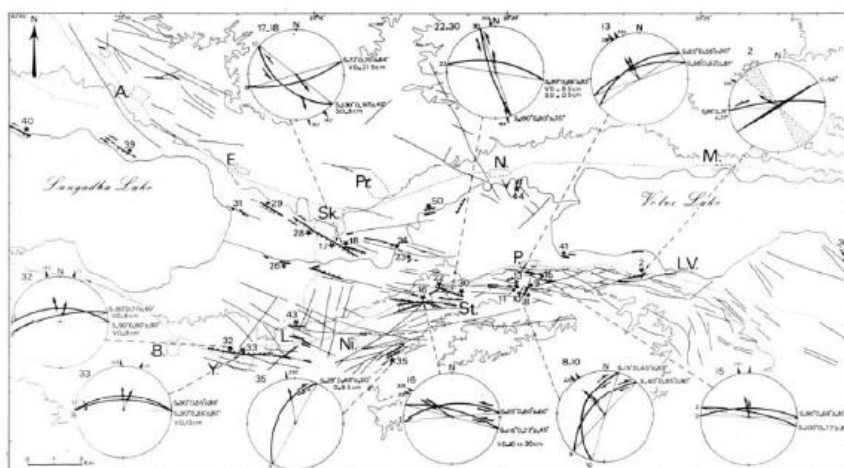


Εικόνα 23. Ενεργή τεκτονική στον Ελληνικό χώρο. 1) Όρια λιθοσφαιρικών πλακών, 2) Ανάστροφα ρήγματα, 3) Κανονικά ρήγματα, 4) Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με ένδειξη την διεύθυνση ολίσθησης, 5) Ηφαίστεια, 6) Ζώνη συμπίεσης. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του εφελκυσμού από το Άνω Μειόκαινο μέχρι το Πλειόκαινο. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου από το Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα. Τα μαύρα βέλη δείχνουν την κίνηση της Αφρικανικής πλάκας (Μουντράκης, 2010).

2.3.2 Σεισμοτεκτονική της λεκάνης της Μυγδονίας

Η σεισμοτεκτονική εξέλιξη της Μυγδονίας λεκάνης είναι ιδιαίτερα αξιόλογη αφού επηρεάζει σημαντικά με την ενεργό σεισμική δράση, το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.

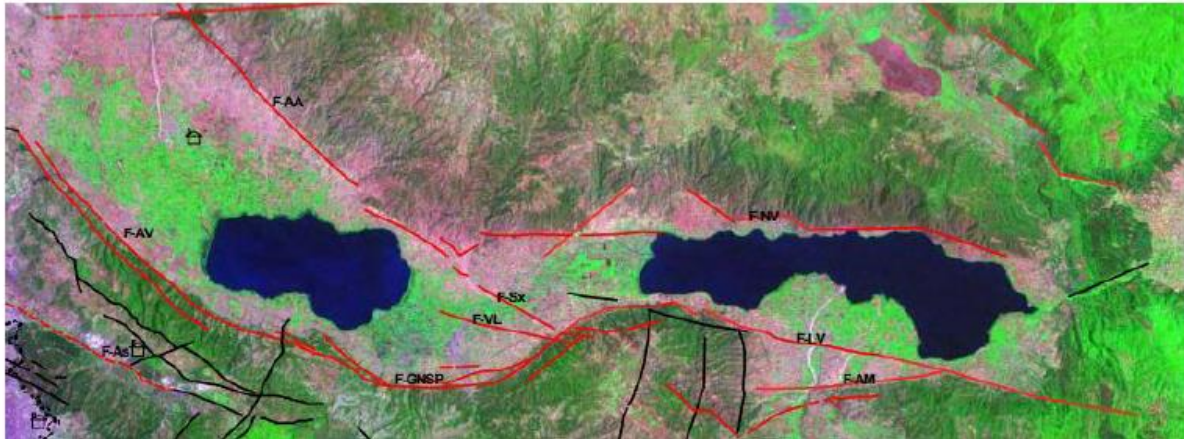
Η λεκάνη της Μυγδονίας με διάταξη Α – Δ έχει δημιουργηθεί από το ενεργό πεδίο των τάσεων κατά διεύθυνση Β – Ν που προκάλεσε ρήγματα διεύθυνσης Α – Δ τα οποία είναι σήμερα ενεργά. Γενικότερα, αποτελεί τμήμα του συστήματος ενεργών ρηγμάτων που κυρίως επηρεάζεται από την δράση της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (Pavlides and Soulakellis 1990).



Εικόνα 24. Χάρτης της περιοχής μεταξύ των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης όπου σημειώνονται οι ρηξιγενείς γραμμές που εντοπίστηκαν μετά τον σεισμό του 1978 (Mercier et al., 1983).

Λόγω ότι είναι μια μεγάλη τεκτονικά ενεργή δομή, έχει ως αποτέλεσμα τη συχνή γένεση σεισμών, πολλές φορές και μεγάλου μεγέθους. Τα κύρια ρήγματα στην περιοχή μελέτης είναι διακριτά στο ύπαιθρο λόγω της γεωμορφολογικής τους εικόνας. Το σύστημα ρηγμάτων και οι

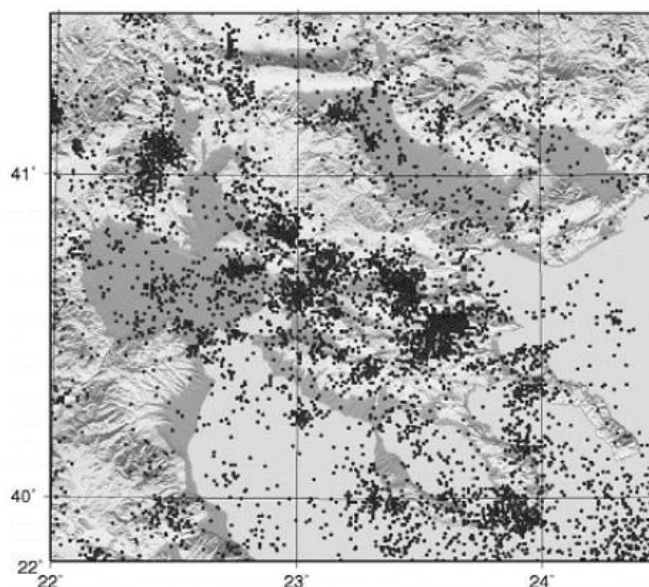
ρηξιγενείς γραμμές της Μυγδονίας φαίνονται στον χάρτη της εικόνας 24. Επιπλέον, στην εικόνα 25 εμφανίζονται μέσω δορυφορικής εικόνας, τα ενεργά ρήγματα της Μυγδονίας λεκάνης σύμφωνα με τη Ζερβοπούλου (2010).



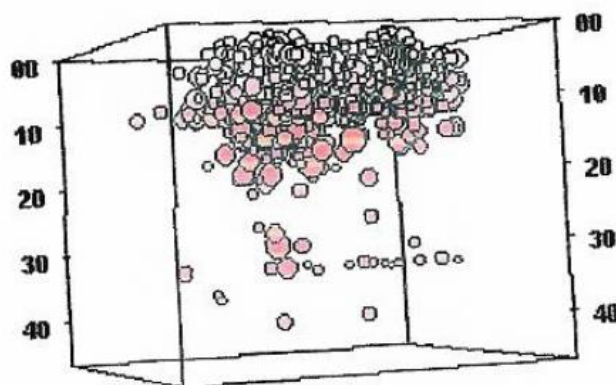
Εικόνα 25. Δορυφορική εικόνα (Landsat-5) των ενεργών ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης (κόκκινο χρώμα). F-AA Ασσήρου - Ανάληψης, F-AV Αγίου Βασιλείου, F-As Ασβεστοχωρίου, F-GNSP Γερακαρούς- Νικομηδινού - Στίβου- Περιστερώνα, F-VL Βόλβης- Λαγκαδά, F-Sx Σχολαρίου, F-NV Νυμφόπετρας - Μεγάλης Βόλβης, F-LV Λουτρών Βόλβης, F-AM Ν. Απολλωνίας - Ν. (Ζερβοπούλου, 2010)

2.4 Σεισμικότητα της περιοχής

Ο Βόρειος Ελληνικός χώρος εμφανίζει υψηλή σεισμικότητα κυρίως κατά μήκος των κύριων ζωνών διάρρηξης, όπως είναι η τάφρος του Βορείου Αιγαίου που ενδεχομένως αποτελεί συνέχεια του ρήγματος της Ανατολίας, αλλά και οι μεγάλοι μήκους ρηξιγενείς ζώνες που οριοθετούν τεκτονικές τάφρους της Σερβομακεδονικής ζώνης. Συγκεκριμένα, η Σερβομακεδονική ζώνη αποτελεί μια από τις πιο σεισμικά ενεργές ζώνες του Βορειοελλαδικού χώρου και χαρακτηρίζεται με μεγάλη συγκέντρωση εστιών ισχυρών σεισμών (Parazachos et al., 1979 & 1982; Mountrakis et al., 1983; Pavlides & Kiliyas, 1987). Έχει διαπιστωθεί έπειτα από έρευνες (Σκορδύλης, 1988) ότι υπάρχει ένας χώρος υψηλής σεισμικότητας που εκτείνεται κατά μήκος της λεκάνης της Μυγδονίας και φτάνει μέχρι το κόλπο της Ιερισσού. Τα εστιακά βάθη των σεισμών αυτών είναι 5- 15 km, πρόκειται δηλαδή για επιφανειακούς σεισμούς, γεγονός που αυξάνει την καταστρεπτικότητα των ισχυρών σεισμών. Οι σημαντικότεροι σεισμοί του προηγούμενου αιώνα που έπληξαν και την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι της Ασσήρου (5 Ιουλίου 1902, M= 6.6), της Kresna (4 Απριλίου 1904, M= 7.3), του Αγίου Όρους (8 Νοεμβρίου 1905, M= 7.5), της Ιερισσού (26 Σεπτεμβρίου 1932, M=6.9) και του Στίβου (20 Ιουνίου 1978, M=6.5), που συνδέεται με το ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνα (F-GNSP).



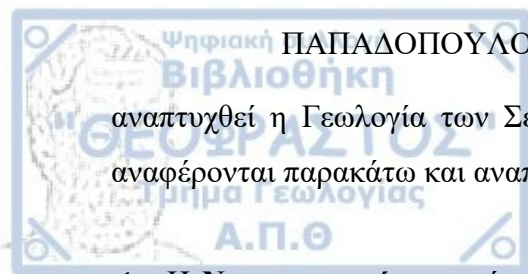
Εικόνα 26. Επίκεντρα σεισμών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο 1981 – 2003 (Galanis et al., 2004).



Εικόνα 27. Τρισδιάστατη απεικόνιση των σεισμών με Μέγεθος $M > 3,5$ σε ακτίνα $R = 25$ km από την περιοχή του Λαγκαδά από το 620 μ.Χ. μέχρι σήμερα (Pavlides et al., 2006).

2.4.1 Γεωλογία και σεισμοί

Η ανάγκη για τη χρήση γεωλογικών μεθόδων στην εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου μιας περιοχής έχει διατυπωθεί από αρκετούς ερευνητές στο παρελθόν, ενώ ο Anderson (1979) διατύπωσε το εξής: Η προϊστορική σεισμικότητα να ονομάζεται «γεωλογική σεισμικότητα» σε αντιδιαστολή με την ενόργανη και την ιστορική σεισμικότητα. Αυτό συμβαίνει διότι η δράση των ρηγμάτων στο προϊστορικό παρελθόν, δηλαδή πριν από τα όρια των καταλόγων ιστορικής σεισμικότητας, αφήνει την «υπογραφή» της στις σελίδες του γεωλογικού αρχείου. Ως αποτέλεσμα, η γεωλογική έρευνα με εξειδικευμένες μεθόδους και εργαλεία, επεκτείνει τους καταλόγους της σεισμικότητας με έναν βαθμό αξιοπιστίας. Στην κατεύθυνση αυτή έχει



αναπτυχθεί η Γεωλογία των Σεισμών η οποία περιλαμβάνει τέσσερις κλάδους οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω και αναπτύσσονται στα επόμενα κεφάλαια πιο αναλυτικά.

1. Η **Νεοτεκτονική**, η οποία εξετάζει τις πρόσφατες γεωλογικά δομές και διεργασίες του γήινου φλοιού
2. η **Μορφοτεκτονική**, η οποία εξετάζει την επίδραση των τεκτονικών διεργασιών στο γήινο μορφοανάγλυφο,
3. η **Σεισμοτεκτονική** που συσχετίζει τα γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα για τη μελέτη των επιφανειακών διαρρήξεων σεισμών και τέλος,
4. η **Παλαιοσεισμολογία**, η οποία ουσιαστικά αποτελεί την λεπτομερή μελέτη της πρόσφατης σεισμικής ιστορίας των ενεργών ρηγμάτων.

2.4.2 Ιστορικοί σεισμοί στην Μυγδονία λεκάνη

Με βάση ιστορικά αρχεία, καταγραφές και μαρτυρίες, αναφέρονται αρκετοί ισχυροί σεισμοί που έλαβαν χώρα στη Μυγδονία λεκάνη, κατά την διάρκεια της ιστορικής περιόδου. Γενικότερα, τα ρήγματα που εντοπίζονται στη περιοχή του τεκτονικού βυθίσματος της Μυγδονίας έχουν ενεργοποιηθεί πολλές φορές στο παρελθόν δίνοντας ισχυρούς, ιστορικούς σεισμούς με $M \geq 6.0$, που έπληξαν την πόλη της Θεσσαλονίκης. Στοιχεία που αντλούνται από ιστορικά αρχεία, δείχνουν ότι οι σεισμοί που έπληξαν την πόλη της Θεσσαλονίκης πριν τον 20^ο αιώνα ήταν πέντε, ενώ σύμφωνα με σύγχρονα, για την εποχή, μέσα έδειξαν ότι η Θεσσαλονίκη αντιμετώπισε ακόμη δύο σεισμούς κατά τον 20^ο αιώνα. Το πιθανότερο επίκεντρό τους εντοπίζεται στη γεωγραφική περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989).

Παρακάτω, αναφέρονται οι κυριότεροι σεισμοί με στοιχεία που αφορούν το μέγεθός τους (M).

1. 620 (VIII, M = 6.6)
2. 667 (VIII, M = 6.6)
3. 700 (VIII, M = 6.6)
4. 1430 (VII, M = 6.5)
5. 1759 (IX, M = 6.5)
6. Ο σεισμός της Ασσήρου (1902)
7. Ο σεισμός του Στίβου (1978)

Ο σεισμός του 1902, γνωστός ως σεισμός της Ασσήρου είναι ο ένας από τους δύο πιο χαρακτηριστικούς σεισμούς που έλαβαν χώρα στη Μυγδονία λεκάνη. Η σεισμική δράση ρηγμάτων με Α – Δ παράταξη παρατηρήθηκε και το 1978 στον Στίβο. Ο σεισμός του 1978 είναι ο πιο πρόσφατος καταστροφικός σεισμός της περιοχής και επίκεντρό του εντοπίζεται στο γεωγραφικό χώρο της Μυγδονίας λεκάνης. Γίνεται επομένως κατανοητό, ότι η επαναδραστηριοποίηση των δυτικών κυρίως ρηγμάτων της περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης θα μπορούσαν δυνητικά να αποτελέσουν μια απειλή για την πόλη της Θεσσαλονίκης.



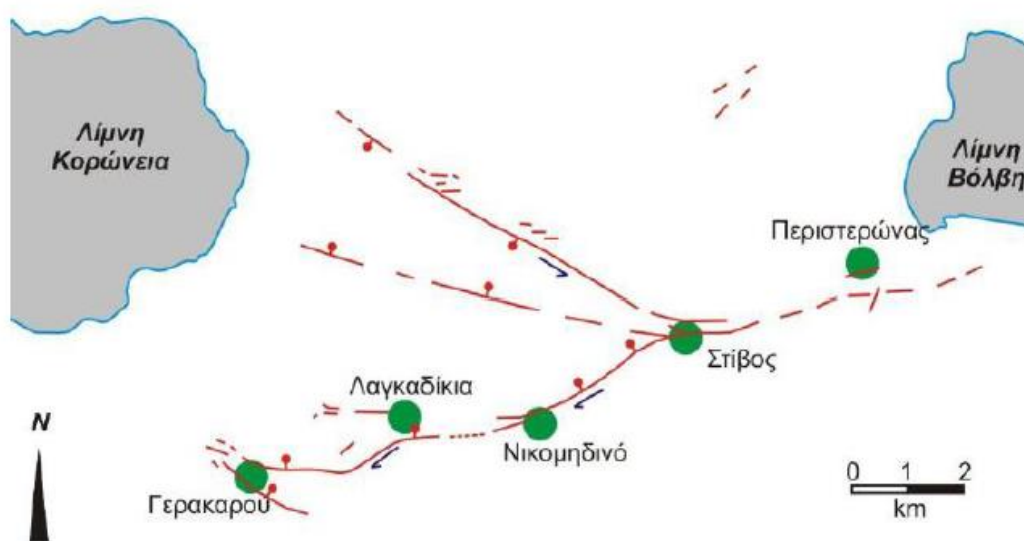
Εικόνα 28. Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης. Φύλλο Θέρμη (Ι.Γ.Μ.Ε., 1:50.000).

Στην εικόνα 28 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης του δυτικού περιθωρίου της λεκάνης της Μυγδονίας, όπως έχει εκδοθεί από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε).

Διακρίνονται τα χαρτογραφημένα ρήγματα της περιοχής, με πιο σημαντικό το ρήγμα Αγίου Βασιλείου (F- AV). Το συγκεκριμένο ρήγμα αποτελεί προέκταση προς τα δυτικά του ρήματος Γερακαρούς- Νικομηδινού – Στίβου – Περιστερώνα (F-GNSP). Απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης 11 km και διέρχεται από τους οικισμούς Λαγυνών και Αγίου Βασιλείου. Το μήκος του ξεπερνάει τα 20 km και έχει παράταξη ΒΔ - ΝΑ, ενώ η κίνησή του χαρακτηρίζεται κανονική με μετάπτωση προς τα Β - ΒΑ. Εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ υποβάθρου (T-Jm.st) και Τεταρτογενών αποθέσεων (Pt.t3.l), ενώ σε κάποια σημεία κατά μήκος του παρατηρούνται αλλουβιακά ριπίδια (Q.cs1). Το ρήγμα αυτό θεωρείται ενεργό και ειδικότερα το συνολικό του άλμα κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς υπολογίζεται, σύμφωνα με ιζηματολογικές

ενδείξεις, στα 220 m (Mountrakis et al., 1996). Η ενεργότητα του συγκεκριμένου ρήγματος γίνεται αισθητή και από άλλους παράγοντες: (α) αποτελεί προέκταση ενός σεισμικά ενεργού ρήγματος, (β) συνδέεται με την εκδήλωση πολλών σεισμών με επίκεντρα σε βάθος 10 km (Mountrakis et al., 1996) και (γ) επηρεάζει Ολοκαινικές αποθέσεις.

Επίσης, εντοπίζονται και άλλοι κλάδοι ρηγμάτων μέσα στο τεκτονικό βύθισμα της Μυγδονίας. Αξιο αναφοράς, είναι το ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού – Στίβου - Περιστερώνας (F-GNSP). Θεωρείται σεισμικά ενεργό ρήγμα και σε αυτό οφείλεται ο σεισμός του Στίβου το 1978 με μέγεθος $M = 6.5$, που έπληξε με μεγάλες ζημιές την Θεσσαλονίκη. Συγκεκριμένα, απέχει 28 km ανατολικά από την πόλη της Θεσσαλονίκης και αναπτύσσεται σε ορατό μήκος περίπου 12 km. Η κύρια διεύθυνση του κανονικού αυτού ρήγματος είναι Α - Δ και κατά διαστήματα εμφανίζεται με παράταξη ΑΒΑ - ΔΝΔ και ΔΒΔ - ΑΝΑ, ενώ παρατηρείται μετάπτωση του βόρειου τεμάχους ως προς το νότιο (Papazachos, 1980). Η κλίση του στην επιφάνεια είναι $75^\circ - 80^\circ$, ενώ με το βάθος μειώνεται και φτάνει τις 35° περίπου στα 10 km, παρουσιάζει δηλαδή τυπική λιστρωτή γεωμετρία (Kilias & Pavlides, 1987, (Pavlides et al., 2006, Tranos et al. 2003). Στην λεκάνη εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ του υποβάθρου και των Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων (Μουντράκης, 2010). Σύμφωνα με ιζηματολογικές παρατηρήσεις στο ύπαιθρο, το συνολικό γεωλογικό άλμα του ρήγματος κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς είναι 220 m και ο ρυθμός ολίσθησης κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου και Άνω Πλειστοκαίνου κυμαίνεται στα 0.06 - 0.7 mm/y (Α. Χατζηπέτρος, 1998).



Εικόνα 29. Χάρτης του συστήματος των επιφανειακών διαρρήξεων που δημιουργήθηκαν από το σεισμό του 1978. (Papazachos et al., 1980)

Στην εικόνα 29 διακρίνονται οι επιφανειακές διαρρήξεις που δημιουργήθηκαν κατά το σεισμό του 1978 στο χωριό Στίβος. Κατά τη σεισμική ακολουθία του 1978, έγιναν αισθητές τρεις μεγάλες δονήσεις. Η πρώτη συνέβη στις 23 Μαΐου με μέγεθος $M = 5.8$, η δεύτερη στις 20 Ιουνίου με $M = 6.5$ και η τρίτη στις 4 Ιουλίου με $M = 5$. Το μέσο εστιακό βάθος των γεγονότων της σεισμικής ακολουθίας ήταν από 7 έως 11 km. Η κατακόρυφη μετατόπιση κατά τον σεισμό ήταν κανονική 12 – 15 cm, ενώ η ασεισμική ολίσθηση αποτελεί το 40% της μετατόπισης που προκλήθηκε από το σεισμό και υπολογίζεται στα 2,8 mm/y (Chatzipetros et al., 2005). Σύμφωνα με γεωδαιτικά δεδομένα, η ολίσθηση από το έτος 1979 έως το 1994 δίνει ρυθμό 8 cm μέσα σε 15 χρόνια, δηλαδή περίπου 5-6 mm/y (Chatzipetros et al., 2005). Ο σεισμός του 1978 προκάλεσε τη δημιουργία ενός συστήματος επιφανειακών διαρρήξεων στην περιοχή ανάμεσα στις λίμνες το οποίο συνίσταται από τρεις κύριους κλάδους. Στην εικόνα 24 παρατηρούνται οι εξής κύριοι κλάδοι:

1. Ο κύριος κλάδος διέρχεται από τους οικισμούς Στίβος, Νικομηδινό και Γερακαρού. Η παράταξη του είναι ΒΑ-ΝΔ με μετάπτωση του ΒΔ τεμάχους ως προς το ΝΑ, ενώ φέρει δεξιόστροφη συνιστώσα.
2. Η ρηξιγενής γραμμή Στίβος - Σχολάρι έχει μήκος 8 km και παράταξη ΒΔ - ΝΑ. Η κίνησή της χαρακτηρίζεται ως κανονική με αριστερόστροφη συνιστώσα και μετάπτωση προς τα ΝΔ. Εμφανίζεται ως το όριο μεταξύ Νεογενών και Τεταρτογενών αποθέσεων. Με τη δράση αυτού του ρήγματος κατά τον σεισμό του 1978 παρατηρήθηκε επιφανειακό άλμα 25 cm με αριστερόστροφη μετατόπιση των 2-3 cm, αλλά και άνοιγμα 2-16 cm.
3. Η ρηξιγενής γραμμή Στίβος - λίμνη Κορώνεια (F-VL) έχει μήκος 5 km με ΒΔ-ΝΑ παράταξη και κίνηση κανονική που χαρακτηρίζεται με μετάπτωση προς τα ΒΑ. Κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1978 το ρήγμα παραμόρφωσε τις πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις που συναντώνται στην περιοχή ανάμεσα στις δυο λίμνες, Κορώνεια και Βόλβη. Το άλμα κυμαινόταν από 2 έως 20 cm, ενώ το άνοιγμα ήταν 15 cm. (εικόνα 28)

2.5 Παλαιοσεισμολογία

Η Παλαιοσεισμολογία είναι ένας επιστημονικός κλάδος, ο οποίος εισήχθη σχετικά πρόσφατα στην επιστήμη της Γεωλογίας. Γενικότερα, κάνει χρήση μεθόδων και δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμών που αφορούν τις γεωλογικά πρόσφατες δραστηριοποιήσεις συγκεκριμένων ρηγμάτων ή τμημάτων αυτών. Βασικός της στόχος είναι να καθοριστούν οι ισχυροί σεισμοί που συνδέονται με ρήγματα. Ωστόσο, διαδικασία της ερμηνείας των δεδομένων είναι αρκετά πολύπλοκη για τον λόγο ότι συνδυάζονται στοιχεία από πολλές

διαφορετικές επιστήμες (Γεωλογία, Στρωματογραφία, Γεωμορφολογία, Ραδιοχρονολογήσεις) και έπειτα αυτά συγκρίνονται με δεδομένα ιστορικής και ενόργανης σεισμολογίας. Το πιθανό μέγεθος του σεισμού, ο χρόνος γένεσης, ο μέσος ρυθμός ολίσθησης και η περίοδος επανάληψης είναι τελικά το αποτέλεσμα που προκύπτει από τον συνδυασμό των δεδομένων. Τέλος, γίνεται η καταγραφή στους καταλόγους των προηγούμενων σεισμών, χρησιμεύοντας στην πληρέστερη εκτίμηση της σεισμικότητας και κατ' επέκταση της σεισμικής επικινδυνότητας για μία συγκεκριμένη περιοχή.

2.5.1 Παλαιοσεισμολογικές τομές στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Η περιοχή του νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης αποτελεί μια από τις περιπτώσεις στην Ελλάδα όπου υπάρχει πληθώρα παλαιοσεισμολογικών τομών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Χατζηπέτρος (1998) έχουν μελετηθεί έξι παλαιοσεισμολογικές τομές (4 τεχνητές και 2 φυσικές) κατά το διάστημα 1993 – 1996.

Παλαιοσεισμολογική τομή GER-1 (Γερακαρού)

Μια από τις παλαιοσεισμολογικές τομές της λεκάνης της Μυγδονίας είναι αυτή ανατολικά της Γερακαρούς (εικόνα 30). Είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς, ότι η θέση της παλαιοσεισμολογικής τομής, παίζει ιδιαίτερο ρόλο για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Στην περίπτωση της Γερακαρούς, οι επιφανειακές διαρρήξεις που είχαν δημιουργηθεί κατά το σεισμό του 1978 του Στίβου, διέρχονταν από τη θέση της τομής. Επομένως, η επιφανειακή μορφολογία της θέσης θεωρήθηκε ιδιαίτερα καλή. Οι διαρρήξεις αυτές είχαν παράταξη ΒΑ – ΝΔ και μικρό άλμα 8 – 10 εκατοστά προς Βορρά. Ακόμη, το υλικό το οποίο παραμορφώνεται είναι οι Ολοκαινικές αποθέσεις της Μυγδονίας λεκάνης, οι οποίες καλύπτουν τους προϋπάρχοντες σχηματισμούς. Με αυτόν τον τρόπο, οι παλαιοσεισμοί που θα ταυτοποιούνταν, θα ήταν πρόσφατοι και επομένως χρήσιμοι στην εξαγωγή πρακτικών συμπερασμάτων. Σε αυτή την εργασία, τα αποτελέσματα της παλαιοσεισμολογικής τομής της Γερακαρούς μπορούν να φανούν χρήσιμα, στην περίπτωση των ρηγμάτων που χαρτογραφήθηκαν στα Λαγυνά και έχουν άμεση συσχέτιση με την διάρρηξη του 1978.

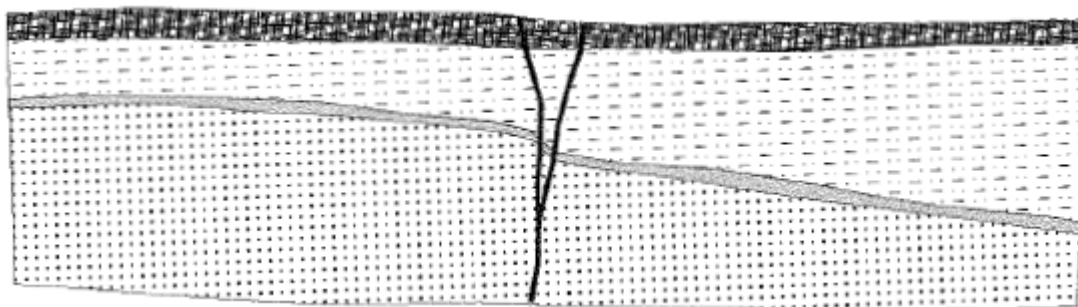
Παλαιοσεισμολογική τομή GER-2 (Γερακαρού)

Η παλαιοσεισμολογική τομή GER-2 βρίσκεται 35 μέτρα ανατολικά της τομής GER-1. Σύμφωνα με τον Χατζηπέτρο (1998) η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε διότι είχε θεωρηθεί ότι εκεί θα βρισκόταν η συνέχεια της ρηξιγενούς ζώνης της τομής GER-1. Ακόμη, η θέση αυτής

της τομής θα ήταν κατάλληλη για την εξέταση της στρωματογραφίας και τη συσχέτιση της με την προηγούμενη τομή. Ένας ακόμη λόγος για τη κατασκευή της GER-2 στο σημείο αυτό, ήταν ότι από εκεί διέρχονταν οι σεισμικές διαρρήξεις του σεισμού του 1978.

Το μήκος της GER-2 είναι 25m και το βάθος της 2,5 m. Η μικροστρωματογραφία της τομής αποτελείται από δύο ομάδες στρωμάτων:

1. Την κατώτερη ομάδα η οποία περιελάμβανε συνεκτικά στρώματα μεσόκοκκης άμμου με άφθονες κροκάλες και χάλικες μικρού έως μέσου μεγέθους. Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της κατώτερης ομάδας είναι η ύπαρξη παλαιοεδάφους στο ανώτερό της σημείο, το οποίο αποτελείται από σκουρόχρωμο οργανικό υλικό πάχους 8 – 10 εκ.
2. Την ανώτερη ομάδα η οποία αποτελούνταν από λεπτά αδιατάρακτα στρώματα αδρόκοκκης άμμου με απουσία κροκάλων ή χαλίκων. Η υφή τους δείχνει ότι πρόκειται για λιμναίες αποθέσεις. Αποτέθηκε ασύμφωνα πάνω στην επιφάνεια διάβρωσης της προηγούμενης ομάδας που ορίζεται από το παλαιοέδαφος.



Εικόνα 30. Καταγραφή ου δυτικού τοιχώματος της παλαιοσεισμολογικής τομής GER-1

Τεκτονικές δομές δεν ανιχνεύθηκαν στην τομή παρά μόνο ένα μικρό κανονικό ρήγμα το οποίο μετατόπιζε το παλαιοέδαφος κατά 10 cm. το άλμα αυτό συμφωνεί με αυτό του σεισμού του 1978, και αφού πρόκειται για το νεότερο γεγονός στο ρήγμα, αποδόθηκε στη σεισμική αυτή διάρρηξη.

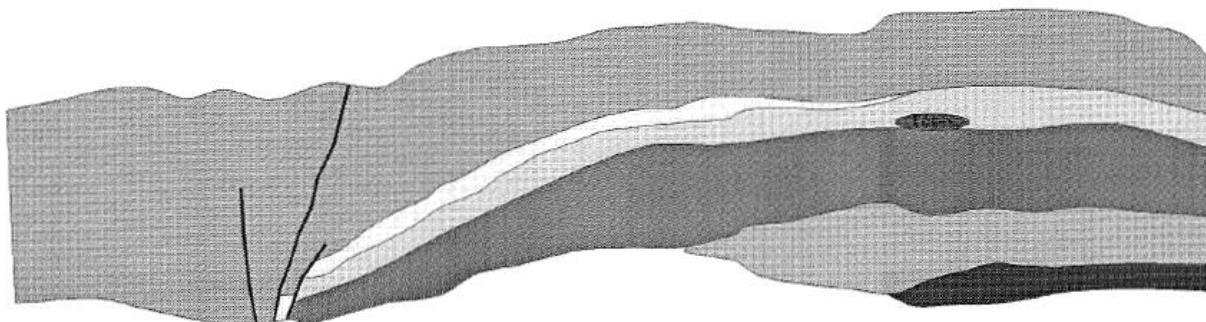
Φυσική παλαιοσεισμολογική τομή GER-3 (Γερακαρού)

Σύμφωνα με τον Χατζηπέτρο (1998), είχε παρατηρηθεί στο οδόστρωμα της εθνικής οδού Θεσσαλονίκης – Καβάλας, στο δυτικό όριο του οικισμού της Γερακαρούς μία παραμόρφωση της ασφάλτου με τη μορφή *en échelon* μικρών διαρρήξεων διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ και ορατό μήκος μερικών δεκάδων μέτρων (εικόνα 31). Οι συγκεκριμένες μικρές διαρρήξεις μέσα σε μερικούς μήνες, εξελίχθηκαν σε ανοικτές ρωγμώσεις με μετάπτωση του ΒΑ τεμάχους.



Εικόνα 31. Παραμόρφωση της ασφάλτου της παλαιάς εθνικής οδού Θεσσαλονίκης – Καβάλας με τη μορφή *en échelon* μικρών διαρρήξεων διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ

Λόγω της ύπαρξης ενός παρόμοιου φαινομένου στην κεντρική διασταύρωση της εισόδου του χωριού με την εθνική οδό, η οποία ταυτίζεται με το σεισμικό ρήγμα του 1978, έγινε η υπόθεση ότι και αυτή η παραμόρφωση θα πρέπει να σχετίζεται με τον ερπυσμό κάποιου ενεργού ρήγματος. Πράγματι, η ύπαρξή του ανιχνεύθηκε στις φυσικές τομές που αποκαλύπτονται στα τοιχώματα του παρακείμενου ρέματος. Είναι χαρακτηριστικό ότι το ρήγμα αυτό ήταν άγνωστο, αφού δεν ενεργοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της σεισμικής ακολουθίας του 1978. Στη θέση αυτή παρατηρούνται στρώματα τα οποία ήταν παραμορφωμένα τόσο από ρήγματα της ρηξιγενούς ζώνης που προαναφέρθηκε, όσο και από κάμψη (*warping*) λόγω της δράσης των ρηγμάτων (εικόνα 32). Στη διάρρηξη αυτή παρατηρήθηκε σεισμική μετατόπιση τουλάχιστον 7 cm (Chatzipetros et al., 2005). Λόγω της θέσης τους και του προσανατολισμού τους, θεωρούνται ως δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις σεισμικού ερπυσμού χωρίς σημαντική συμβολή υδρογεωλογικών παραγόντων.

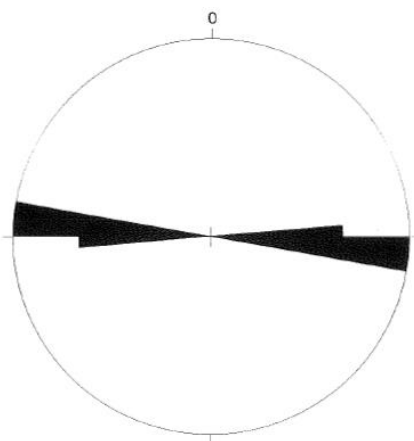


Εικόνα 32. Καταγραφή του ανατολικού τοιχώματος του ρέματος στη θέση GER – 3. Διακρίνεται η παραμόρφωση των στρωμάτων τόσο από τα ΒΔ – ΝΑ παράταξης ρήγματα, όσο και από την κάμψη που έχει προκληθεί από την τεκτονική δραστηριότητα (Α. Χατζηπέτρος, 1998).

Φυσική παλαιοσεισμολογική τομή ΝΙΚ-1 (Νικομηδινό)

Η παλαιοσεισμολογική τομή ΝΙΚ - 1 βρίσκεται νότια του χωριού Νικομηδινό, σε ένα πρανές ακριβώς στα όρια του χωριού. Πρόκειται για μία φυσική τομή η οποία έχει διαμορφωθεί με

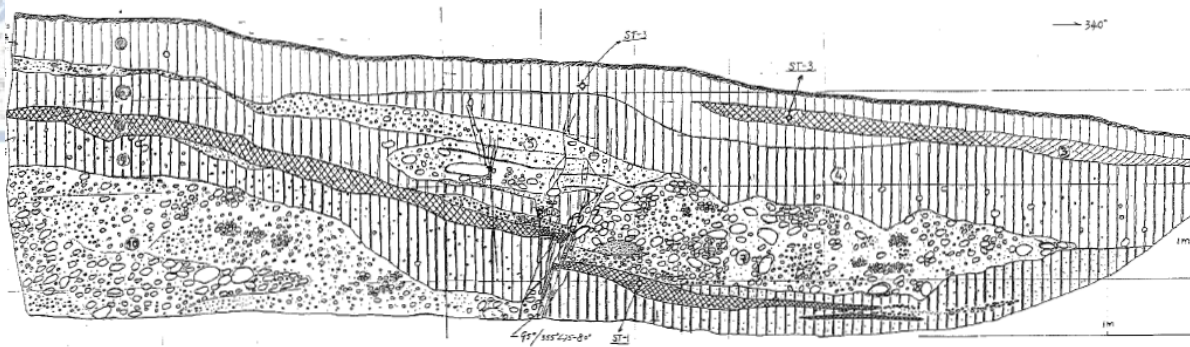
τεχνητά μέσα, έτσι ώστε να είναι ορατές οι λεπτομέρειές της. Η στρωματογραφία της τομής περιλαμβάνει υλικά του σχηματισμού Γερακαρούς στο μεγαλύτερό της μέρος, ενώ Ολοκαινικά πλευρικά κορήματα βρίσκονται στο άνω βόρειό της τμήμα. Η μεγάλη ηλικία των στρωμάτων στη θέση αυτή δε βοηθά στην εξαγωγή παλαιοσεισμολογικών συμπερασμάτων. Το πιο χαρακτηριστικό σημείο σύμφωνα με τον Χατζηπέτρο (1998), είναι ένα σύστημα καθαρά εφελκυστικών διακλάσεων παράλληλων με την κύρια ρηξιγενή ζώνη, η οποία σε αυτή τη θέση έχει παράταξη Α – Δ (σχήμα 2). Οι διακλάσεις αυτές είναι πυκνές και πληρώνονται με ασβεστιτικό υλικό. Η ηλικία δημιουργίας τους είναι άγνωστη, αλλά προφανώς συνδέονται με τη δράση του κυρίως ρήγματος.



Σχήμα 2. Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων των εφελκυστικών διαρρήξεων στη θέση της φυσικής παλαιοσεισμολογικής τομής ΝΙΚ – 1. Είναι φανερή η σχέση τους με την κύρια ρηξιγενή ζώνη (Α. Χατζηπέτρος, 1998).

Παλαιοσεισμολογική τομή STI-1 (Στίβος)

Τον Μάιο του 1996 κατασκευάστηκε μια παλαιοσεισμολογική τομή στο χωριό Στίβος. Βρίσκεται στη δυτική είσοδο του χωριού δίπλα στο ποδοσφαιρικό γήπεδο του οικισμού. Η επιλογή της θέσης έγινε επειδή ο Στίβος βρίσκεται στο ανατολικό όριο του τμήματος Νικομηδινού - Στίβου του ενεργού ρήγματος, και επομένως η δραστηριότητά του σε αυτό το σημείο αναμένεται να είναι μικρότερη. Επίσης, πρόκειται για κομβικό σημείο στο οποίο συγκλίνουν τα τρία τμήματα που ενεργοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1978, δηλαδή τα τμήματα Νικομηδινό - Στίβος (BA- ΝΔ παράταξη), Σχολάρι - Στίβος (ΒΔ - ΝΑ παράταξη) και Στίβος - Λουτρά Βόλβης (ΑΒΑ - ΔΝΔ παράταξη). Επιπρόσθετα, η τοποθέτηση της τομής έγινε στο σημείο όπου αλλάζει η μορφολογική κλίση του εδάφους. Η θέση της τομής βρίσκεται σε μικρή απόσταση από το ρέμα που διέρχεται από τις δυτικές παρυφές του οικισμού, αυξάνοντας έτσι τις πιθανότητες να βρεθεί χρονολογήσιμο υλικό σε αυτή (σχήμα 3).



Σχήμα 3. Παλαιοσεισμολογική τομή STI – 1. Εμφάνιση του δυτικού τοιχώματος της τομής στο Στίβο δραστηριότητα (Α. Χατζηπέτρος, 1998).

Η τομή περιλαμβάνει μια ρηξιγενή ζώνη, η οποία αποτελείται από επτά κλάδους που μετατοπίζουν τα κατώτερα στρώματα, μέχρι και το τρίτο το οποίο δεν παρουσιάζει κάποια παραμόρφωση. Έτσι αποδείχθηκε ότι δεν πρόκειται για τη μετατόπιση του σεισμού του 1978, αλλά για έναν παλαιότερο σεισμό ο οποίος έγινε πριν την απόθεση του τρίτου στρώματος. Η χρονολόγηση με θερμοφωταύγεια των στρωμάτων που επηρεάζονται από το ρήγμα έδωσε ως κατώτερο χρονικό όριο του σεισμού τα 15.300 ± 1.200 έτη BP, ενώ ως ανώτερο τα 4.400 ± 360 έτη BP. Το διάστημα είναι αρκετά μεγάλο, έτσι δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί χρονικά με ακρίβεια η χρονολογία γένεσης του παλαιοσεισμού αυτού. Μία χαλαρή συσχέτιση θα μπορούσε να γίνει με τον πρώτο παλαιοσεισμό που εντοπίστηκε στην παλαιοσεισμολογική τομή GER – 1. Η μετατόπιση είναι φαινομενικά ανάστροφη, ωστόσο πρόκειται για μία ψευδοανάστροφη μετατόπιση, παρόμοια με αυτήν που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της σεισμικής ακολουθίας του 1978 στην περιοχή του Νικομηδινού. Το ρήγμα κλίνει προς νότο, ωστόσο θα πρέπει να θεωρηθεί ότι στο βάθος ενώνεται με την κύρια μεταπτωτική ζώνη που έχει κλίση προς βορρά. Το ρήγμα έχει παράταξη σχεδόν Α- Δ και μεγάλη κλίση ($75^\circ - 80^\circ$).

Παλαιοσεισμολογική τομή LVL-1 (Λουτρά Βόλβης)

Η παλαιοσεισμολογική τομή LVL - 1 βρίσκεται στη θέση των λουτρών του Μεγάλου Αλεξάνδρου στη νότια όχθη της λίμνης Βόλβης. Στο σημείο αυτό υπάρχει ένα πρηνές παράταξης Α – Δ το οποίο συνδέεται με τις θερμές πηγές και τους τραβερτίνες που παρατηρούνται σε μία γραμμική διάταξη παράλληλη με το πρηνές. Η τομή έχει διεύθυνση Β - Ν, κάθετα στο πρηνές και η στρωματογραφία της τομής αποτελείται από ένα χαρακτηριστικό ερυθρό στρώμα αδρόκοκκης άμμου με την παρουσία πολλών ψηφιδών στη βάση της τομής, που δείχνει χερσαίο περιβάλλον, εναλλαγές διαφόρων στρωμάτων χαλαρής άμμου λιμναίας προέλευσης με την παρεμβολή λεπτών ενστρώσεων και φακών κροκάλων και ενός

παλαιοεδάφους (Α. Χατζηπέτρος, 1998). Λόγω ότι δεν υπάρχουν παραμορφώσεις στα στρώματα, η τομή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή παλαιοσεισμολογικών συμπερασμάτων. Δύο εξηγήσεις μπορούν να δοθούν για την έλλειψη ρηγμάτων στην παλαιοσεισμολογική τομή:

1. Δεν υπάρχει ρήγμα σε αυτή τη θέση, επομένως το πρανές δεν είναι τεκτονικό. Αυτή η υπόθεση έρχεται σε αντίθεση με τα γεωλογικά στοιχεία, την ύπαρξη των θερμών πηγών σε αυτή τη θέση, αλλά και με δεδομένα που αφορούν την έκλυση ραδονίου εγκάρσια στο πρανές, που δείχνουν ότι παρατηρείται μία αύξηση ακριβώς στη βάση του πρανούς, όπου και θα ήταν αναμενόμενο σε ένα ρηξιγενές πρανές.
2. Υπάρχει ρήγμα σε αυτή τη θέση, αλλά σταμάτησε να λειτουργεί πριν την απόθεση των λιμναίων άμμων. Η δράση της λίμνης είχε σαν αποτέλεσμα, εκτός από την απόθεση των στρωμάτων αυτών, και την περαιτέρω διαμόρφωση του πρανούς. Επειδή η θέση αυτή βρίσκεται σε πολύ χαμηλό υψόμετρο επάνω από την επιφάνεια της Βόλβης, είναι λογικό να υποτεθεί ότι οι άμμοι που παρατηρούνται είναι μικρής ηλικίας και συνδέονται με τη σύγχρονη φάση εξέλιξης της λίμνης. Η άποψη αυτή φαίνεται πιο πιθανή, ειδικά εάν ληφθεί υπόψη και η θέση της παλαιοσεισμολογικής τομής σε σχέση με τα όρια του συγκεκριμένου ρήγματος. Η θέση αυτή βρίσκεται στο ένα άκρο του τμήματος παράταξης Α - Δ, οπότε είναι αναμενόμενο η δραστηριότητα του ρήγματος να είναι περιορισμένη.

2.6 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Στην έκταση της Μυγδονίας λεκάνης συναντώνται ελεύθεροι και υπό πίεση υδροφορείς, με τους τελευταίους να δημιουργούνται από την παρουσία στρωμάτων με αδιαπέρατα, αλλά και ημιδιαπερατά υλικά. Τα βάθη των υδροφόρων οριζόντων στην περιοχή διαφοροποιούνται ανάλογα με τα πάχη των περατών σχηματισμών και κυμαίνονται από 20 m μέχρι και πάνω από 100 m (Βουδούρης, 2009). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην λεκάνη μπορούν να διακριθούν, ανάλογα με την δυνατότητα τους να διεισδύει και να κυκλοφορεί νερό στη μάζα τους, σε:

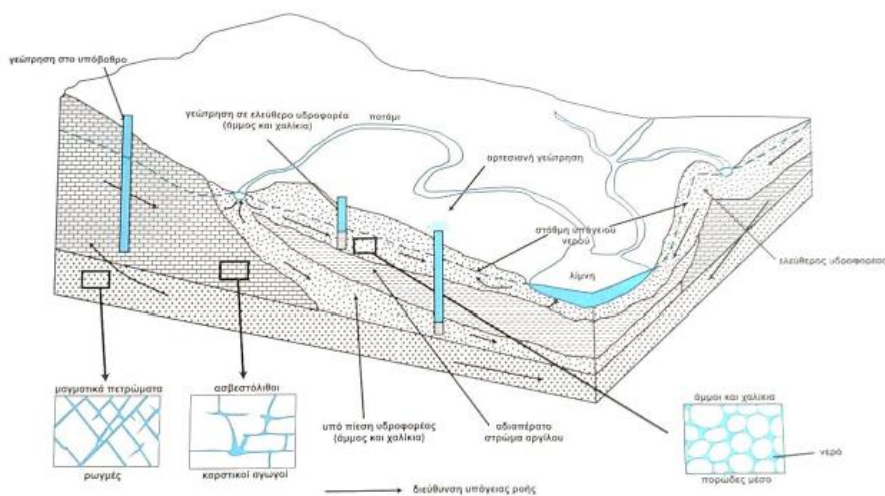
- Περαιτούς σχηματισμούς, που στη συγκεκριμένη περίπτωση ανήκουν τα κροκαλοπαγή, οι άμμοι, τα Τεταρτογενή κορήματα (Q.cs1) και τα χαλαρά Ολοκαινικά υλικά της έκτασης που εμφανίζονται με τη μορφή αλλουβιακών ριπιδίων (al). Γενικότερα, κοκκώδεις, αδρομερείς σχηματισμοί που η αποθήκευση του νερού στη μάζα τους, γίνεται μέσω διακένων, δηλαδή φέρουν πρωτογενές πορώδες.

- Μικροπερατούς σχηματισμούς, δηλαδή γεωλογικά στρώματα συνεκτικά που χαρακτηρίζονται από την παρουσία δευτερογενούς πορώδους. Πρόκειται για διαρρηγμένα πετρώματα του υποβάθρου της Σερβομακεδονικής και Περιοδοπικής ζώνης, αλλά και συνεκτικά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες που έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση, ενώ επίσης συναντώνται και καρστικοί υδροφορείς στα ανθρακικά πετρώματα.

- Αδιαπέρατους σχηματισμούς. Στη περιοχή μελέτης εντοπίζονται αργιλικοί και μαργαϊκοί ορίζοντες που χαρακτηρίζονται από υψηλή στεγανότητα και στην παρουσία των οποίων οφείλεται η λειτουργία φαινομένων αρτεσιανισμού.

- Ημιπερατούς σχηματισμούς. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ερυθροστρώματα του σχηματισμού Γερακαρούς της Προμυγδονιακής ομάδας με πάχη που ανά θέσεις ξεπερνάν τα 100 m. Εμφανίζουν διακυμάνσεις στην περατότητα από ημιπερατά έως και αδιαπέρατα λόγω της σύστασής τους που εναλλάσσεται ανάμεσα σε κροκαλοπαγή, άμμο, ιλύ και άργιλο.

Οι ελεύθεροι υδροφορείς της Μυγδονίας λεκάνης εμπλουτίζονται από την βροχόπτωση αλλά και την επιφανειακή απορροή από ορεινότερα σημεία μέσω ποταμοχειμάρρων. Από την άλλη, ο εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων που βρίσκονται σε βάθος επιτυγχάνεται μέσω τεκτονικών ασυνεχειών σε σχηματισμούς και πετρώματα του υποβάθρου της περιοχής. Ωστόσο, μεταξύ των διαφόρων επιμέρους υδροφόρων οριζόντων που αναπτύσσονται, φαίνεται να υπάρχει υδραυλική επικοινωνία καθώς τα αργιλικά και μαργαϊκά στρώματα, που συνιστούν δάπεδο και οροφή για τα υδροφόρα στρώματα, δεν είναι συνεχή σε όλη την έκταση της λεκάνης.



Εικόνα 33. Σχηματική απεικόνιση διαφόρων ειδών υδροφορέων σε σχέση με το πορώδες που εμφανίζουν.

Οι περιπτώσεις καλύπτουν όλες τις εμφανίσεις υδροφόρων στη Μυγδονία λεκάνη (Βουδούρης, 2017).

Η Κορώνεια λίμνη στα δυτικά της Μυγδονίας λεκάνης αποτελεί ένα αβαθή, φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα ο οποίος έχει σχεδόν εξαντληθεί. Το φαινόμενο που παρατηρείται στην περιοχή με την εμφανή πτώση στάθμης οφείλεται σε ένα συνδυασμό υπεράντλησης και τεκτονικής δραστηριότητας. Ακόμη, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης λειτουργούν αλόγιστα και συνεχώς πάνω από 2000 γεωτρήσεις, χρήση η οποία μπορεί να οδηγήσει ενδεχομένως και σε φαινόμενα καθιζήσεων (Βουδούρης, 2017). Από την άλλη, λόγω της έντονης τεκτονικής καταπόνησης της περιοχής μελέτης είναι έντονη η ανάπτυξη δευτερογενούς πορώδους στους σχηματισμούς και στα πετρώματα. Το δευτερογενές πορώδες εκδηλώνεται με τη μορφή επιφανειακών διαρρήξεων/ ρηγμάτων που επιτρέπουν την διέλευση του νερού από τα ανώτερα στρώματα των ελεύθερων υδροφόρων οριζόντων σε κατώτερους υδροφορείς, κατάσταση που επιφέρει μείωση της στάθμης στην επιφανειακή υδάτινη έκταση.

3. Νεοτεκτονική χαρτογράφηση

Ο κύριος σκοπός αυτής της εργασίας, όπως προαναφέρθηκε ήταν η νεοτεκτονική χαρτογράφηση της περιοχής. Τα σημαντικότερα στοιχεία που την ξεχωρίζουν από την κλασική γεωλογική χαρτογράφηση, είναι η περισσότερη λεπτομέρεια στους νεότερους σχηματισμούς και η λιγότερη λεπτομέρεια στο υπόβαθρο. Επίσης, θεωρείται πολύ σημαντικό εργαλείο για την αναπαράσταση της νεοτεκτονικής εξέλιξης, με σκοπό την αξιολόγηση της σεισμικής επικινδυνότητας μιας περιοχής. Κατά τη νεοτεκτονική χαρτογράφηση σημαντικά είναι ακόμη η αξιολόγηση και ο χαρακτηρισμός της ενεργότητας των ρηγμάτων. Γι' αυτό το λόγο, τα ρήγματα της περιοχής χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με τη σεισμική τους ενεργότητα.

Η περιοχή μελέτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί επανειλημμένως στα παραπάνω βρίσκεται στο Νότιο περιθώριο της Μυγδονίας Λεκάνης, το οποίο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως σεισμικά ενεργό. Η χαρτογράφηση περιελάμβανε δουλειά γραφείου και έπειτα υπαίθρια εργασία. Σημαντική βοήθεια στη χαρτογράφηση προσέφεραν τα τοπογραφικά και γεωλογικά φύλλα χάρτη Θέρμη και Θεσσαλονίκη 1:50.000 (Ι.Γ.Μ.Ε), καθώς επίσης οι νεοτεκτονικοί χάρτες Θεσσαλονίκης και Λαγκαδά κλίμακας 1:100.000 του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) αλλά και ο Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.). Ιδιαίτερη δυσκολία αντιμετωπίστηκε στην κλίμακα των χαρτών λόγω ότι η αποτύπωση των σχηματισμών που έγινε για τον νεοτεκτονικό χάρτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν πολύ μεγαλύτερη.



Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης, αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν τρεις κύριοι υποπαράλληλοι κλάδοι ρηγμάτων και ονομάστηκαν από το παλαιότερο στο νεότερο Α, Β και Γ. Περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούν στο υποκεφάλαιο 3.2.

3.1 Νεοτεκτονική

Η Νεοτεκτονική είναι ένας νέος επιστημονικός κλάδος, ο οποίος μελετά τις τεκτονικές δομές που σχηματίστηκαν ή εξακολούθησαν να είναι ενεργές σε πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Αποτελεί έναν κατεξοχήν εφαρμοσμένο κλάδο της γεωλογίας. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Έρευνας του Τεταρτογενούς (International Union For Quaternary Research) οι νεοτεκτονικές κινήσεις ορίζονται ως «οποιοσδήποτε κινήσεις ή παραμορφώσεις της Γης, οι οποίες μπορούν να μετρηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους, οι μηχανισμοί τους, η γεωλογική προέλευσή τους, τα έμμεσα συμπεράσματα τα οποία μπορούμε να εξάγουμε από αυτές για διάφορους πρακτικούς σκοπούς, καθώς και οι μελλοντικές προεκτάσεις τους».

3.2 Μεθοδολογία

Για τους σκοπούς αυτής της έρευνας και στο πεδίο εφαρμογής της νεοτεκτονικής χαρτογράφησης και της υπαίθρια εργασίας, εκτελέστηκαν οι ακόλουθες ενέργειες.

Πρώτα από όλα, παρατηρήθηκαν στην ύπαιθρο, οι λιθολογικές ενότητες, οι τεκτονικές δομές και οι σχέσεις μεταξύ αυτών. Καταγράφηκαν και μελετήθηκαν οι σχηματισμοί του υποβάθρου. Ωστόσο, μεγαλύτερης σημασίας για την τρέχουσα έρευνα έχουν οι μετα-αλπικές ενότητες. Με τη βοήθεια των τοπογραφικών, γεωλογικών και νεοτεκτονικών φύλλων χάρτη της ευρύτερης περιοχής των Λαγυνών εξακριβώθηκαν και αποτυπώθηκαν τα πετρώματα και ιζήματα της περιοχής ώστε να παραχθεί ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Εντοπίστηκαν μέσω δορυφορικών εικόνων κάποια από τα ρήγματα της περιοχής και στη συνέχεια επαληθεύτηκε η ύπαρξή τους με εργασία υπαίθρου. Ακολούθως, κατά την υπαίθρια εργασία, εντοπίστηκαν και άλλοι κλάδοι ρηγμάτων που επηρεάζουν σημαντικά την μορφολογία του νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης. Ακολούθησε μέτρηση και καταγραφή των τεκτονικών στοιχείων των σχηματισμών, όπως η κλίση και η διεύθυνση κλίσης. Στη συνέχεια, τα γεωμετρικά στοιχεία των τεκτονικών δομών, όπως ρήγματα και ασυνέχειες καταγράφηκαν και συσχετίστηκαν σε κάθε θέση δειγματοληψίας. Το επόμενο βήμα, ήταν ο διαχωρισμός και η ερμηνεία των πρόσφατων – μετααλπικών σχηματισμών.

Η γεωλογική αποτύπωση έγινε μέσω λογισμικού GIS (Geographic Information System) για την παραγωγή του χάρτη. Το αρχικό βήμα, ήταν η γεωαναφορά και ψηφιοποίηση των στοιχείων,

των τοπογραφικών και γεωλογικών φύλλων 1:50.000 της περιοχής. Στο τοπογραφικό φύλλο ψηφιοποιήθηκαν τα σημεία ανύψωσης της τοπογραφίας, δηλαδή οι κορυφές των όρεων, οι κύριες ισοϋψείς καμπύλες (100 m), οι δευτερεύουσες ισοϋψείς καμπύλες και το τοπικό υδρογραφικό δίκτυο. Ακόμη, ψηφιοποιήθηκαν τα τοπωνύμια των οικισμών της ευρύτερης περιοχής, αλλά και οι θέσεις λήψεως των τεκτονικών μετρήσεων και δόθηκε η ανάλογη κωδικοποίηση σε αυτές. Η γεωλογία της περιοχής, δηλαδή των μεταλλικών σχηματισμών και αυτών του υποβάθρου, καθώς επίσης και οι τεκτονικές δομές αποτυπώθηκαν από το σχετικό φύλλο του γεωλογικού χάρτη. Ο χάρτης που παράχθηκε αποτυπώνει τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μαζί με όλα τα απαραίτητα τεκτονικά στοιχεία. Αναπαριστά πιο συγκεκριμένα τη νεοτεκτονική πλευρά της περιοχής, δηλαδή δίνεται περισσότερη λεπτομέρεια στους πρόσφατους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις ενεργές τεκτονικές δομές.

3.3 Λιθολογία

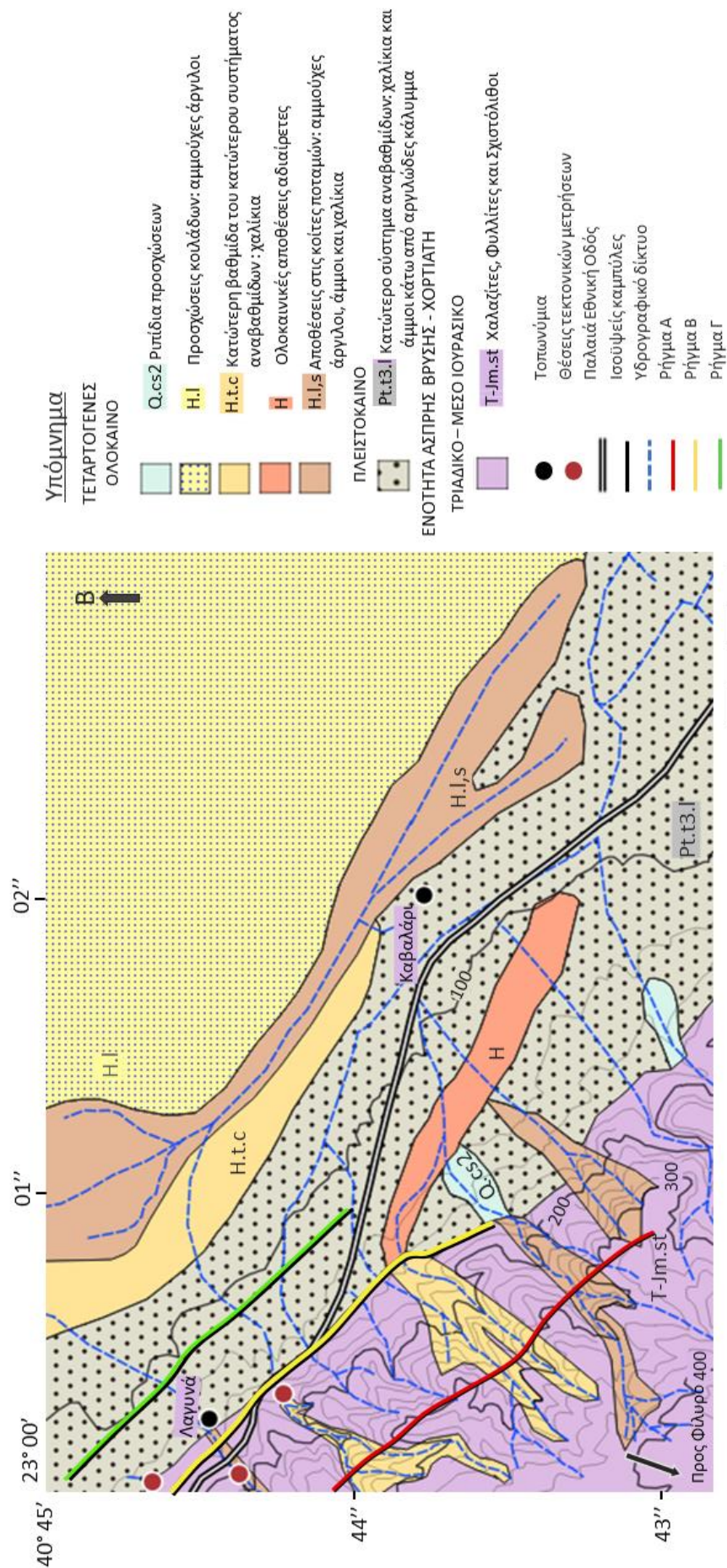
Με βάση τα φύλλο χάρτη και τις υπαίθριες παρατηρήσεις, η περιοχή μελέτης αποτελείται από τους μεταλλικούς σχηματισμούς και το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.

Οι φυλλίτες - χαλαζίτες (T-Jm.st) της Περιοδοπικής ζώνης συντελούν το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης (Εικόνα 34). Αποτελούνται από κοκκινοκάστανους, λεπτόκκους έως μεσόκοκκους, λεπτοστρωματώδεις, σιδηρούχους και σκοτεινότεφρους, ασβεστιτικούς χαλαζιτικούς ψαμμίτες με ενστρώσεις από σκοτεινότεφρους φυλλίτες, τοπικά γραφιτικούς σχιστόλιθους και σκοτεινότεφρες μπάντες από μεταψαμμίτες και ψαμιτικούς ασβεστόλιθους. Ανήκουν στην ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και πιο συγκεκριμένα στην ομάδα της Σβούλας. Η ηλικία τους είναι Τριαδική – Μέσο-Ιουρασική.



Εικόνα 34. Φυλλίτες – Χαλαζίτες της ομάδας της Σβούλας.. Διακρίνονται πτεροειδείς διακλάσεις μέσα στο πέτρωμα σε διάφορες διευθύνσεις με κυριότερη BBA – NNΔ και ANA – ΔΒΔ.

Νεοτεκτονικός Χάρτης του Νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας Λεκάνης



Ο κατώτερος σχηματισμός αναφέρεται ως το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων (Pt.t₃.l). Πιο αναλυτικά, είναι συνεκτικές ιλύες, άργιλοι – άμμοι με κροκάλες και γενικά κροκάλες μέσα σε συνδετικό υλικό Κάτω Πλειστοκαινικής ηλικίας. Η βάση του σχηματισμού έχει ηλικία Νεογενούς. Υπερκείμενα αυτών, εντοπίζονται περιέχει χερσαίες αποθέσεις με μικρές παρεμβολές λιμναίων – λιμνοθαλάσσιων αποθέσεων (H.l,s). Πιο συγκεκριμένα, είναι τα ιζήματα της Προμυγδονιακής λεκάνης των οποίων, η βάση αποτελείται από κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. Ο επόμενος σχηματισμός περιέχει ολοκαινικές αδιαίρετες αποθέσεις και τα υπερκείμενα στρώματα του περιέχουν λιμναία ρυθμικά ιζήματα με εναλλαγές ιλύων και άμμων (H.t,c).

Τα ανώτερα μεταλικά ιζήματα έχουν Ολοκαινική ηλικία και είναι κατά βάση αποθέσεις κοιλάδων (H.l) , όπως χαλίκια, άμμοι με κροκάλες, αμμούχες άργιλοι και ιλύες. Τέλος, εντοπίζονται κατά θέσεις πλευρικά κορήματα (Q.cs₂).



Εικόνα 36. Οι φυλλίτες των Λαγυνών. Φυσική τομή και θέση μετρήσεων 2 – Εκκλησία.



Εικόνα 37. Φυλλίτες και σχιστόλιθοι της ομάδας της Σβούλας που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης στη θέση μετρήσεων 2 – Εκκλησία.



Εικόνα 38. Φυλλίτες της περιοχής μελέτης. Φαίνεται ξεκάθαρα η σχιστότητα S, η οποία μετρήθηκε και καταγράφηκε στη θέση μετρήσεων 2 – Εκκλησία.

Στις εικόνες 36, 37 και 38 εμφανίζεται το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης καθώς και κάποια ριπίδια, όπως κροκάλες, λατύπες, άμμοι και ιλύες. Ακόμη σε κάποιες θέσεις (βλ. εικόνα 36) φαίνεται η σχιστότητα S₁.

3.4 Γεωμορφολογικά στοιχεία

Η νεοτεκτονική χαρτογράφηση συσχετίζεται άμεσα και με την μορφοτεκτονική χαρτογράφηση κατά την οποία αποτυπώνονται τα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής όπως τα τεκτονικά πρηνή, οι τεκτονικές αναβαθμίδες, οι κώνοι κορημάτων, επιφάνειες επιπέδωσης και το υδρογραφικό δίκτυο της.

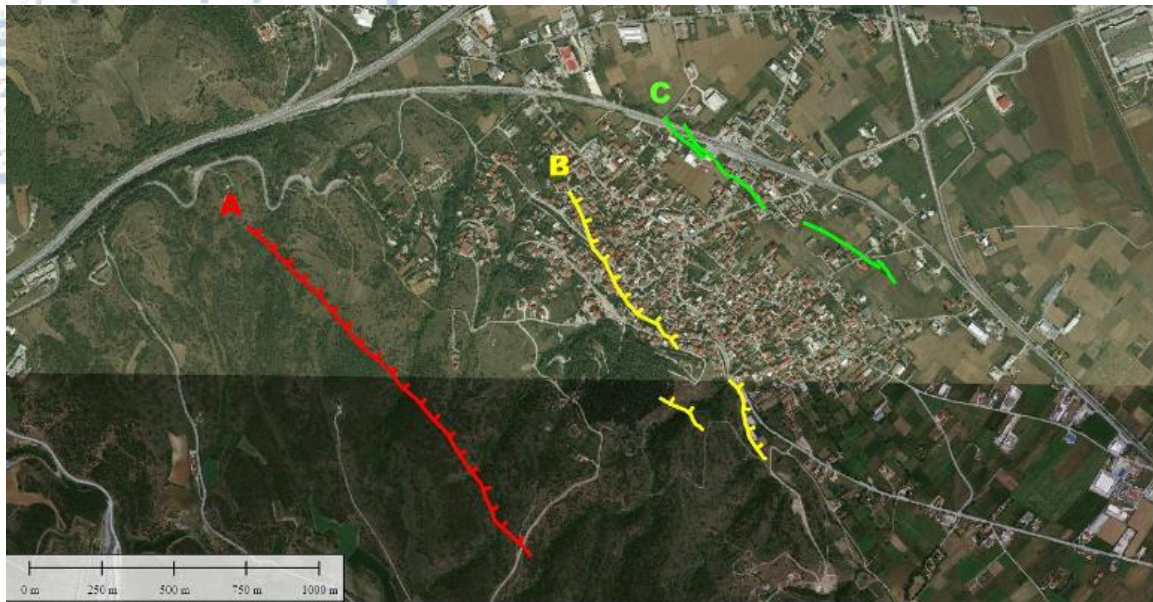
Στην περιοχή μελέτης ανιχνεύθηκαν τεκτονικές αναβαθμίδες, οι οποίες εμφανίζονται με τη μορφή μεγάλων φυσικών κλιμακωτών ταπεινώσεων και αποτελούνται από μια επίπεδη επιφάνεια και μια απότομη κλιτύ (εικόνα 39). Εκτός αυτού, οι τεκτονικές αναβαθμίδες χαρακτηρίζονται και ως κλιμακωτές δομές που υποδηλώνουν τη φορά της κίνησης προς τα βόρεια λόγω προς εκείνη την διεύθυνση ταπεινώνεται η μορφολογία στο νότιο περιθώριο της λεκάνης. Κατά την παρατήρηση στο ύπαιθρο θα πρέπει να εξακριβωθεί και τη σχετική φορά κίνησης των τεμαχών εκατέρωθεν του ρήγματος, γεγονός που αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την τεκτονική ανάλυση μιας ρηξιγενούς δομής, αλλά και γενικά μιας τεκτονικής μελέτης.



Εικόνα 39. Φωτογραφία της περιοχής μελέτης ΒΑ των Λαγυνών, που εμφανίζονται οι τεκτονικές αναβαθμίδες μεταξύ των τριών ρηγμάτων. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τα ρήγματα της περιοχής με κόκκινο, κίτρινο και πράσινο χρώμα.

Αρχικά, πρέπει να τονισθεί ότι το περιβάλλον του νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας θεωρείται ιδιαίτερα σεισμικά ενεργό, γεγονός που αναφέρεται τη βιβλιογραφία. Ωστόσο, οι παρατηρήσεις στο ύπαιθρο και στη συνέχεια η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, επιβεβαιώνουν τις αντίστοιχες αναφορές. Εκτός των Τεταρτογενών ιζημάτων της λεκάνης, των κώνων κορημάτων και των τεκτονικών αναβαθμίδων, στην περιοχή μελέτης ανιχνεύονται τρεις κύριοι κλάδοι ρηγμάτων. Οι κλάδοι των ρηγμάτων που εντοπίστηκαν από δορυφορικές εικόνες αλλά και κατά την υπαίθρια εργασία - χαρτογράφηση ήταν δύο. Ωστόσο, υπάρχει και ένα τρίτο σύστημα ρηγμάτων το οποίο δεν μπορεί να ανιχνευθεί παρά μόνο με έμμεσες παρατηρήσεις σε σπίτια, δρόμους, πεζοδρόμια, φράχτες κτλ., τα οποία φαίνεται να έχουν παραμορφωθεί σημαντικά. Έχοντας καλή γνώση της περιοχής, δηλαδή ότι δεν υπάρχουν καθιζήσεις, οι οποίες να οφείλονται σε πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στη θέση αυτή, αλλά ούτε φθορά των δρόμων και πεζοδρομίων λόγω παλαιότητας, φαινόταν ξεκάθαρα η ύπαρξη αυτού του τρίτου κλάδου ρηγμάτων. Ωστόσο, η θέση αυτή χρήζει περισσότερης μελέτης για την εξακρίβωση γένεσης του τρίτου κλάδου.

Το επόμενο βήμα ήταν να μετρηθούν και να καταγραφούν τα τεκτονικά στοιχεία σε κάθε θέση παρατήρησης. Εκτός από κωδικοποίηση που δόθηκε στις θέσεις παρατήρησης και λήψης των τεκτονικών μετρήσεων, σημειώθηκαν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που αφορούσαν τη λιθολογία, τη μορφολογία και τον προσανατολισμό των τεκτονικών στοιχείων στο χώρο. Έπειτα, έλαβε μέρος, η μορφοτεκτονική ανάλυση στην ευρύτερη περιοχή των Λαγυνών με διαδικασίες που αφορούν το βαθμό δραστηριότητας των ρηγμάτων.



Εικόνα 40. Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, όπου αποτυπώνονται οι τρεις κύριοι κλάδοι ρηγμάτων.

Η εικόνα 40 παρουσιάζει την ευρύτερη περιοχή των Λαγυνών και τους τρεις κλάδους ρηγμάτων που εντοπίστηκαν σε αυτή.

1. Το πρώτο ρήγμα (Α), που απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα στον παραπάνω χάρτη είναι το νοτιότερο από όλα και βρίσκεται ολοκληρωτικά μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Εμφανίζεται ως μια σειρά από διατμητικές ζώνες, δείχνοντας την κατανεμημένη παραμόρφωση. Το συγκεκριμένο ρήγμα χαρτογραφήθηκε με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων. Στη συνέχεια, επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του με *in situ* παρατηρήσεις κατά την υπαίθρια εργασία.

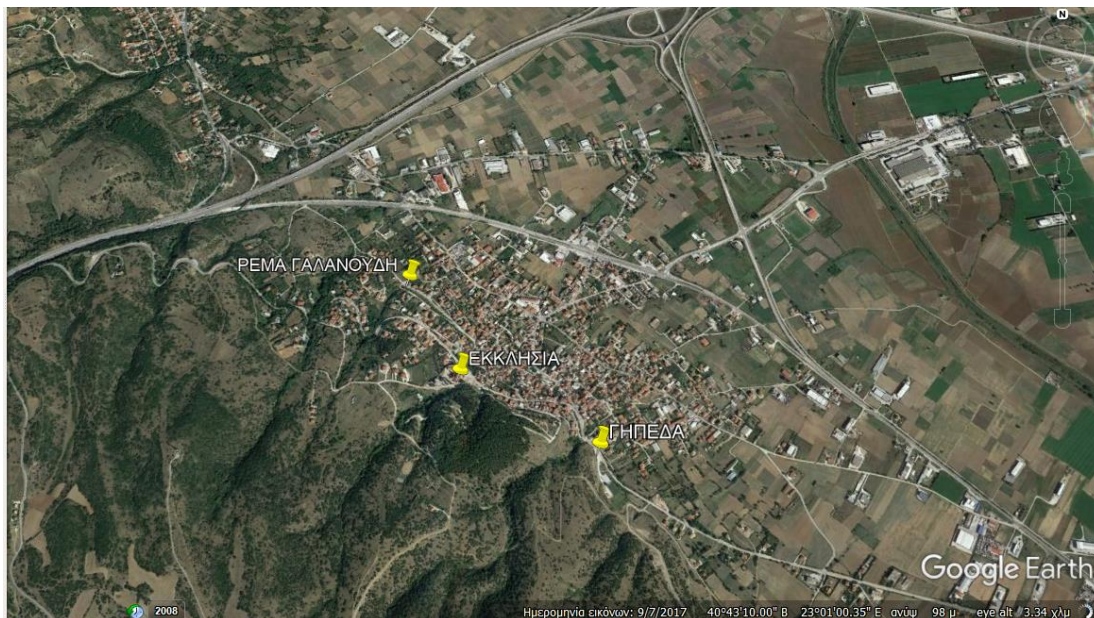
2. Το μεσαίο ρήγμα (Β), το οποίο αναπαρίσταται με κίτρινο χρώμα, είναι αυτό που καθορίζει την επαφή μεταξύ του υποβάθρου και της ιζηματογενούς ακολουθίας. Χαρακτηρίζεται ως το πιο διακριτό ρήγμα μεταξύ των τριών καθώς, καθορίζει το όριο μεταξύ του πεδινού και ημιορεινού αναγλύφου. Επιπλέον, το ρήγμα Β χαρτογραφήθηκε πιο εύκολα από όλα, ακολουθώντας το προαναφερθέν όριο υποβάθρου και ιζημάτων.

3. Ο βορειότερος κλάδος ρηγμάτων (C) ανιχνεύεται μέσα στο Ολοκαινικό ιζηματογενές κάλυμμα και είναι ορατός μόνο σε μερικές θέσεις στην περιοχή, εκεί όπου εμφανίζονται παραμορφώσεις σε άκαμπτες δομές, όπως σπίτια, δρόμοι, πεζοδρόμια, φράχτες και τοιχία. Ο κλάδος ρηγμάτων C εμφανίζεται σαν ένα σύνολο, κυρίως ανοιχτών ρωγμών, οι οποίες είναι ευθυγραμμισμένες στην ίδια διεύθυνση και παράλληλα με τα δύο προηγούμενα ρήγματα. Στην πραγματικότητα, επιβεβαιώνουν την υποπαράλληλη διεύθυνση ανάπτυξης αυτών των ρωγμών. Δεν έχει εξακριβωθεί πλήρως η διαδικασία σχηματισμού και γένεσης του συγκεκριμένου ρήγματος καθώς είναι το νεότερο της ρηξιγενούς ζώνης. Κάθε νέο ρήγμα πιθανώς να έχει

επηρεαστεί ή και να επηρεάζεται ακόμη από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα μέσα στην ζώνη παραμόρφωσης. Και οι τρεις κλάδοι ρηγμάτων έχουν μια γενική παράταξη ΒΔ – ΝΑ και κλίση προς τα ΒΑ. Στην ουσία, καθορίζουν τη γεωμετρία των κλιτιών του νότιου περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης.

3.5 Τεκτονικά στοιχεία

Τα τεκτονικά στοιχεία της περιοχής μελέτης είναι επωθήσεις και κανονικά ρήγματα, ενεργά και ανενεργά. Ακόμη, πλήθος ασυνεχειών και διακλάσεων εμφανίζονται σε φυσικές και τεχνητές τομές. Τα κύρια ρήγματα διακρίνονται εύκολα στο ύπαιθρο λόγω της γεωμορφολογικής τους δομής. Η εικόνα 41 παρουσιάζει την ευρύτερη περιοχή των Λαγυνών και με κίτρινες πινέζες παρουσιάζονται οι θέσεις παρατήρησης και λήψεις των τεκτονικών στοιχείων.



Εικόνα 41. Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής των Λαγυνών. Στα μαρκαρισμένα σημεία επισημαίνονται οι θέσεις λήψης των τεκτονικών μετρήσεων. Πηγή: Google Earth

Παρατηρήσεις στις θέσεις λήψης των μετρήσεων:

Θ1 – ΓΗΠΕΔΑ: Τα τεκτονικά στοιχεία που μετρήθηκαν στη θέση αυτή ήταν σχιστότητες S_1 (διαμπερής) και S_2 , καθώς ο συγκεκριμένος σχιστόλιθος εμφανίζει διπλή σχιστότητα. Επίσης, λήφθηκαν μετρήσεις των ασυνεχειών – διακλάσεων (J). Ακόμη, εμφανίζονται περοειδείς διακλάσεις και ασυνέχειες πληρωμένες με χαλαζιακό υλικό. Τα πετρώματα του υποβάθρου, δηλ. οι φυλλίτες – χαλαζίτες και σχιστόλιθοι εμφανίζονται ελαφρά πτυχωμένοι με μεγάλες και ανοιχτές πτυχές.

Θ2 – ΕΚΚΛΗΣΙΑ: Σε αυτή τη θέση παρατηρούνται ολισθόλιθοι ασβεστολιθικής σύστασης μέσα στους σχιστόλιθους, που επηρεάζουν αρκετά τη δομή σε εκείνο το σημείο. Οι δύο σχιστότητες S_1 , S_2 καθώς και οι ασυνέχειες J ήταν τα στοιχεία που μετρήθηκαν στη συγκεκριμένη θέση. Πολλές από τις ασυνέχειες είναι επίσης πληρωμένες με χαλαζιακό υλικό.

Θ3 – ΡΕΜΑ ΓΑΛΑΝΟΥΔΗ: Ακολουθείται η ίδια λογική όσον αφορά τις μετρήσεις σχιστότητας και ασυνεχειών σε δύο διαφορετικά πρηνή μέσα στο χωριό των Λαγυνών. Αυτά τα πρηνή βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο, σε απόσταση περίπου 50 μέτρων. Έχουν παρόμοιο προσανατολισμό, ωστόσο ο προσανατολισμός των τεκτονικών τους στοιχείων είναι λίγο διαφορετικός. Τα πρηνή στο ρέμα Γαλανούδη επιλέχθηκαν διότι η επαφή του υποβάθρου με τα μεταλλικά ιζήματα της λεκάνης είναι εμφανής στις συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η διαφορά που παρουσιάζουν τα τεκτονικά στοιχεία στις δύο θέσεις, οφείλεται στο γεγονός ότι τα πετρώματα του υποβάθρου, δηλαδή οι φυλλίτες – χαλαζίτες και σχιστόλιθοι εμφανίζονται πτυχωμένοι με μεγάλες και ανοιχτές πτυχές.

Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται τα τεκτονικά στοιχεία τα οποία μετρήθηκαν στις τρεις θέσεις δειγματοληψίας (DD: διεύθυνση κλίσης, DA: γωνία κλίσης, S_1 , S_2 : σχιστότητα, J: διακλάσεις).

Γήπεδα			Εκκλησία			Ρέμα Γαλανούδη		
DD	DA		DD	DA		DD	DA	
055	65	S_1	320	85	S_1	012	35	S_1
053	75	S_1	280	83	S_1	015	25	S_1
061	75	S_1	290	83	S_1	009	15	S_1
062	80	S_1	295	75	S_1	008	20	S_1
059	75	S_1	290	80	S_1	359	23	S_1
081	79	S_1	285	85	S_1	005	21	S_1
070	65	S_1	284	80	S_1	005	25	S_1
057	75	S_1	275	85	S_1	010	23	S_1
063	70	S_1	281	55	S_1	015	20	S_1
085	75	S_1	200	90	S_1	002	14	S_1
075	85	S_1	285	65	S_1	005	16	S_1
090	80	S_1	283	68	S_1	007	10	S_1
075	85	S_1	291	70	S_1	010	05	S_1
070	86	S_1	305	78	S_1	195	40	S_2

Γήπεδα			Εκκλησία			Ρέμα Γαλανούδη		
DD	DA		DD	DA		DD	DA	
085	70	S ₁	295	85	S ₁	147	40	S ₂
083	71	S ₁	279	83	S ₁	177	75	S ₂
084	72	S ₁	322	85	S ₁	191	37	S ₂
086	77	S ₁	290	65	S ₁	175	50	S ₂
090	73	S ₁	295	70	S ₁	190	40	S ₂
082	77	S ₁	290	80	S ₁	196	45	S ₂
060	72	S ₁	285	85	S ₁	185	38	S ₂
063	75	S ₁	005	55	S ₂	177	45	S ₂
058	77	S ₁	010	50	S ₂	175	42	S ₂
080	76	S ₁	015	50	S ₂	185	46	S ₂
091	79	S ₁	020	52	S ₂	178	50	S ₂
085	87	S ₁	018	57	S ₂	172	55	S ₂
074	88	S ₁	005	65	S ₂	140	60	S ₂
065	88	S ₁	009	50	S ₂	145	67	S ₂
072	80	S ₁	019	60	S ₂	320	30	J
073	68	S ₁	010	56	S ₂	315	40	J
070	58	S ₁	011	53	S ₂	318	20	J
354	35	S ₂	015	54	S ₂	340	25	J
349	50	S ₂	015	63	S ₂	342	35	J
338	52	S ₂	018	50	S ₂	338	22	J
351	35	S ₂	011	62	S ₂	335	24	J
354	35	S ₂	020	70	S ₂	332	35	J
349	50	S ₂	010	77	S ₂	320	34	J
338	52	S ₂	007	50	S ₂	310	35	J
351	35	S ₂	015	60	S ₂	340	30	J
340	35	S ₂	010	50	S ₂	334	28	J
350	40	S ₂	007	51	S ₂	319	31	J
340	50	S ₂	010	50	S ₂			
349	45	S ₂	015	60	S ₂			
348	45	S ₂	047	55	J			
347	45	S ₂	035	35	J			
345	43	S ₂	005	40	J			
339	42	S ₂	018	45	J			
337	40	S ₂	003	35	J			
336	35	S ₂	012	30	J			

Γήπεδα			Εκκλησία			Ρέμα Γαλανούδη		
DD	DA		DD	DA		DD	DA	
335	36	S ₂	020	50	J			
338	36	S ₂	022	55	J			
340	37	S ₂	045	40	J			
325	45	S ₂	015	30	J			
322	50	S ₂	047	35	J			
333	60	S ₂						
335	55	S ₂						
323	40	S ₂						
319	35	J						
320	25	J						
318	45	J						
340	50	J						
355	36	J						
320	33	J						
319	24	J						
318	26	J						
317	28	J						
315	29	J						
315	31	J						
316	35	J						
320	46	J						
341	42	J						
342	41	J						
343	43	J						
319	47	J						
318	22	J						

4. Μορφοτεκτονική

Κατά την μορφοτεκτονική ανάλυση μίας περιοχής, στην οποία επιδρούν ρήγματα, είναι δυνατό να εκτιμηθεί βαθμός δραστηριότητας αυτών των ρηγμάτων, δηλαδή, εάν υπήρξε δραστηριοποίηση αυτών στο πρόσφατο ή στο απώτερο γεωλογικό παρελθόν. Για να εξακριβωθεί αυτή η δραστηριότητα μελετώνται μορφοδομές όπως το υδρογραφικό δίκτυο, οι ακτογραμμές, τα πρανή, οι λεκάνες και το ορεογραφικό δίκτυο. Μέσω της μελέτης των παραπάνω μορφοδομών μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόλυτη και

σχετική χρονολόγηση των νεοτεκτονικών γεγονότων, την ανίχνευση νεοτεκτονικών δομών και το βαθμό ενεργότητάς τους. Για την πραγματοποίηση της μορφοτεκτονικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται δύο κύριες μεθοδολογίες: η ποιοτική και η ποσοτική μορφοτεκτονική.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της ποιοτικής μορφοτεκτονικής ανάλυσης, παρατηρήθηκε ότι τα πρηνή της λεκάνης της Μυγδονίας, χωρίζονται στις τρεις κατηγορίες που διαχώρισε ο Mayer (1988), δηλαδή απλά, πολλαπλά και σύνθετα πρηνή. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πρηνή μικρού ύψους, τα οποία είναι δυνατό να οφείλουν τη δημιουργία τους σε ένα γεγονός. Ωστόσο, μια τέτοια παρατήρηση δεν μπορεί υποστηριχθεί με βεβαιότητα, εφόσον δεν υπάρχουν άλλα παραδείγματα σύγχρονων σεισμών στην περιοχή μελέτης προς σύγκριση.

Επομένως, οι τρεις ομάδες που διαχωρίστηκαν σύμφωνα με τον Mayer (1988) είναι οι εξής:

Ομάδα 1. Η συγκεκριμένη ομάδα περιέχει τα πρηνή τα οποία σχηματίστηκαν μέσα στο υπόβαθρο. Έχουν μεγάλη γωνία κλίσης, καθώς και μεγάλο ύψος. Από τη γεωλογική έρευνα είναι φανερό ότι αποτελούν τα παλαιότερα ρήγματα της λεκάνης, δηλαδή αυτά που συνέβαλαν στη δημιουργία της Προμυγδονιακής λεκάνης. Βέβαια, υπάρχουν ενδείξεις, κυρίως από το σεισμό του 1978, ότι τα ρήγματα αυτά είναι ακόμη ενεργά. Παρά το γεγονός, ότι θεωρούνται τα παλαιότερα, είναι αυτά με τη μεγαλύτερη γωνία κλίσης. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων που συνιστούν το υπόβαθρο, τα οποία είναι πολύ πιο συνεκτικά και ανθεκτικά στη διάβρωση από τα χαλαρά ιζήματα της λεκάνης.

Ομάδα 2. Σε αυτή την ομάδα κατατάσσονται τα πρηνή των νεότερων περιθωριακών ρηγμάτων που σχημάτισαν τη λεκάνη της Μυγδονίας. Τα ρήγματα αυτά δημιουργήθηκαν πριν το Μέσο Πλειστόκαινο, και όπως αποδείχθηκε κατά τη διάρκεια του σεισμού του 1978, εξακολουθούν να είναι ενεργά. Γενικά, τα πρηνή της ομάδας αυτής έχουν μεγάλο ύψος όμως παρουσιάζουν τη μικρότερη γωνία κλίσης από όλα τα υπόλοιπα πρηνή. Αυτό είναι συνέπεια, τόσο της ηλικίας τους, όσο και της φύσης του υλικού που παραμορφώνουν.

Ομάδα 3. Αποτελείται από τα πρηνή μικρού ύψους που επηρεάζουν τόσο τα ιζήματα της Προμυγδονιακής, όσο και αυτά της Μυγδονιακής ομάδας. Το υλικό που παραμορφώνουν έχει περίπου της ίδιας φυσικής ιδιότητες με αυτό της προηγούμενης ομάδας, ωστόσο η γωνία κλίσης τους είναι αρκετά μεγαλύτερη. Η απόδοση αυτού του φαινομένου επιβεβαιώνεται στη νεότερη ηλικία τους. Το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από το σχηματισμό τους δεν ήταν τόσο μεγάλο ώστε να προλάβουν να εξομαλυνθούν περισσότερο από τις

διαδικασίες διάβρωσης. Το μικρό ύψος αυτών των πρανών δείχνει ότι δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια λίγων σεισμικών γεγονότων.

Σε αντίθεση με την ποιοτική, η ποσοτική μορφοτεκτονική ανάλυση μιας περιοχής μπορεί να δώσει συμπεράσματα για την ηλικία σχηματισμού των μορφοδομών. Επίσης, εξετάζει το ρυθμό παραμόρφωσης μιας μορφοδομής και κατά πόσο αυτή επηρεάζει το ανάγλυφο. Κατά την ποσοτική μορφοτεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τεκτονικά διαγράμματα Schmidt και ροδοδιαγράμματα.

4.1 Ποσοτική ανάλυση

Τεκτονικά διαγράμματα

Για τη δημιουργία των τεκτονικών διαγραμμάτων, επιλέχθηκαν προς μέτρηση τα τεκτονικά στοιχεία τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά της τεκτονικής δομής της περιοχής. Οι θέσεις λήψης των τεκτονικών μετρήσεων, Θ_1 , Θ_2 και Θ_3 , Γήπεδα, Εκκλησία και Ρέμα Γαλανούδη αντίστοιχα, αποτυπώθηκαν στο σχετικό χάρτη.

Ροδοδιαγράμματα

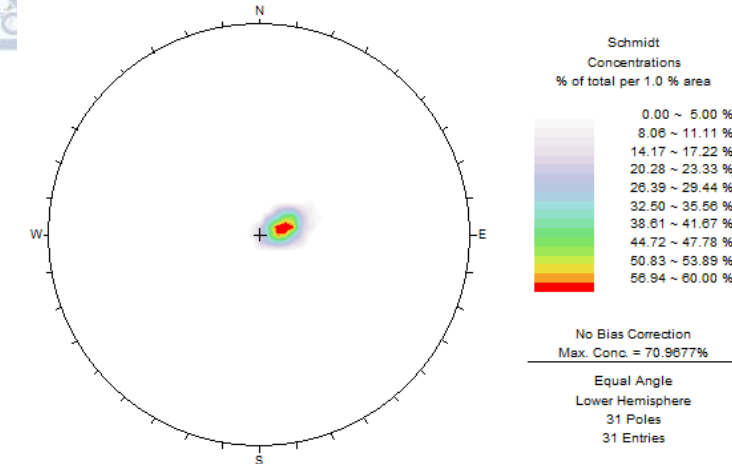
Γενικά, τα ροδοδιαγράμματα διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τα ροδοδιαγράμματα των παρατάξεων και η δεύτερη αυτά των διευθύνσεων και γωνιών κλίσεων όπου και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των συμπερασμάτων που αφορούν την τεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης. Η επιλογή της κατασκευής των ροδοδιαγραμμάτων της πρώτης κατηγορίας δίνει τη γενική εικόνα για την διάταξη των τεκτονικών στοιχείων στο χώρο ενώ της δεύτερης βασίστηκε στο γεγονός ότι έχουν ως αποτέλεσμα να δίνουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την εικόνα της ρηξιγενούς τεκτονικής δομής της περιοχής καθώς αναφέρονται στις διευθύνσεις και γωνίες κλίσεων των γεωλογικών σχηματισμών.

Γήπεδα – Θέση τεκτονικών μετρήσεων Θ1

Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 1. Σχιστότητα S -

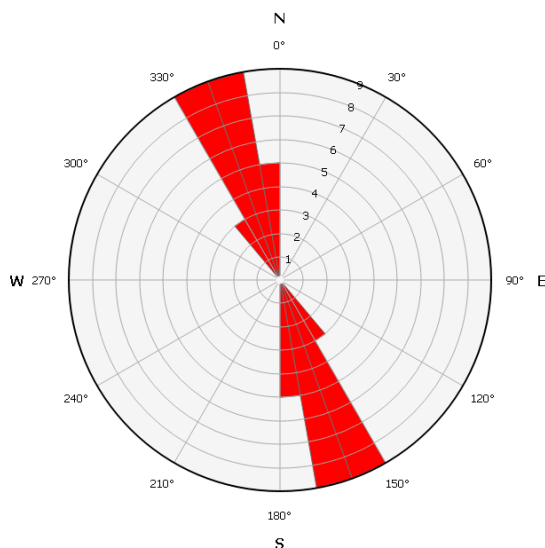
Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

Η σχιστότητα S_1 στη θέση μετρήσεων 1 – Γήπεδα δεν εμφανίζει διακυμάνσεις, καθώς αντιπροσωπεύει συγκεκριμένες τιμές. Η μέγιστη πυκνότητα παρατηρείται με διεύθυνση κλίσης 65 μοίρες και κλίση 70°.



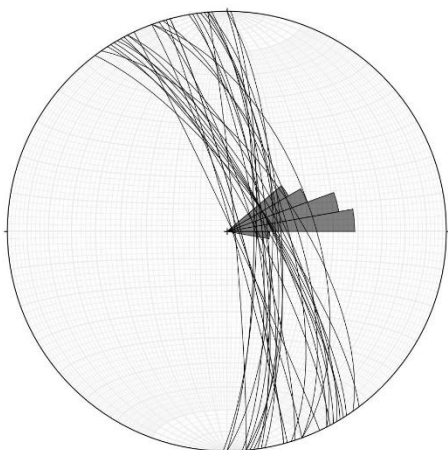
Ροδοδιάγραμμα παράταξης 1. Σχιστότητα S_1 – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

Στη θέση μετρήσεων 1 – Γήπεδα παρατηρείται η διαμπερής σχιστότητα S_1 να έχει παράταξη ΒΒΔ – ΝΝΑ. Επομένως, υπάρχει μια κάμψη – πτύχωση των σχηματισμών του υποβάθρου, αφού πιο δυτικά η κύρια παράταξη της σχιστότητας S_1 είναι ΔΒΔ – ΑΝΑ.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 1. Σχιστότητα S_1 – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 2

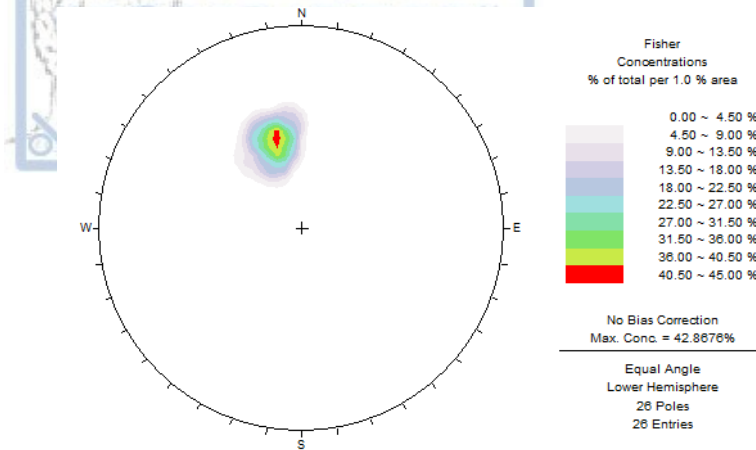
Η σχιστότητα S_1 παρουσιάζει ως κύρια διεύθυνση κλίσης τα Α. Οι υπόλοιπες βρίσκονται ανάμεσα στα ΑΒΑ έως ΒΑ. Οι κλίσεις είναι μεγάλες άνω των 70 μοιρών,



Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 2. Σχιστότητα S_2

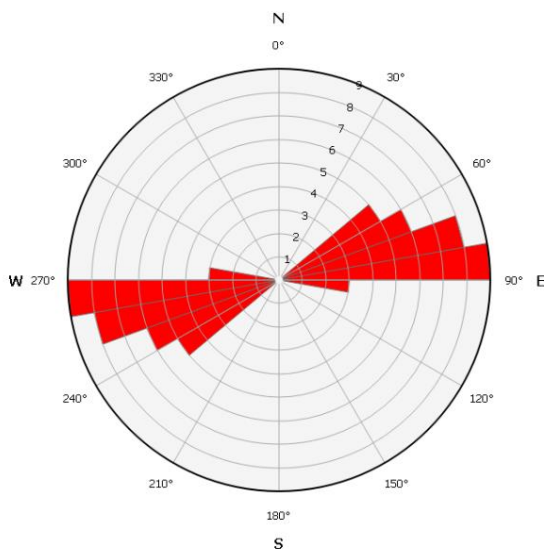
Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

Η σχιστότητα S_2 στη θέση μετρήσεων 1 – Γήπεδα είναι και αυτή αρκετά συγκεκριμένη. Κυμαίνεται μεταξύ 320° έως 360° όσον αφορά τη διεύθυνση κλίσης, ενώ η κλίση είναι κατά βάση $40 - 50$ μοίρες



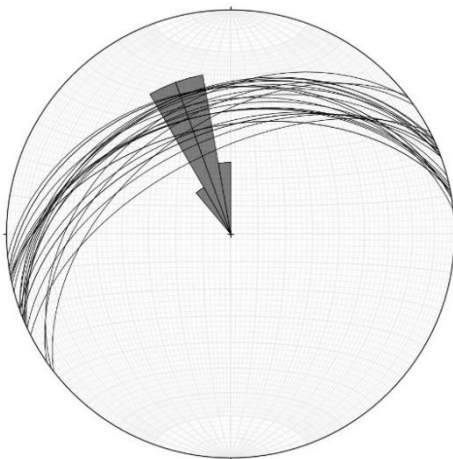
Ροδοδιάγραμμα παράταξης 2. Σχιστότητα S_2 – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

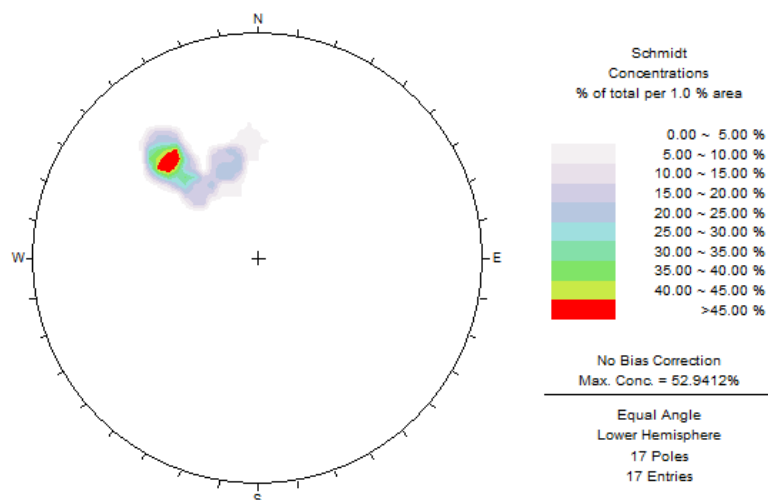
Η παράταξη της σχιστότητας S_2 στη θέση 1 – Γήπεδα αλλάζει τελείως σε ABA – ΔΝΔ. Η σχιστότητα S_2 στη θέση μετρήσεων 2 έχει παράταξη που κυμαίνεται μεταξύ $140^\circ - 190^\circ$.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 2. Σχιστότητα S_2 – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 2

Η σχιστότητα S_2 παρουσιάζει κύριες διευθύνσεις κλίσεις ΒΒΔ και κλίσεις κοντά στις 45 μοίρες.

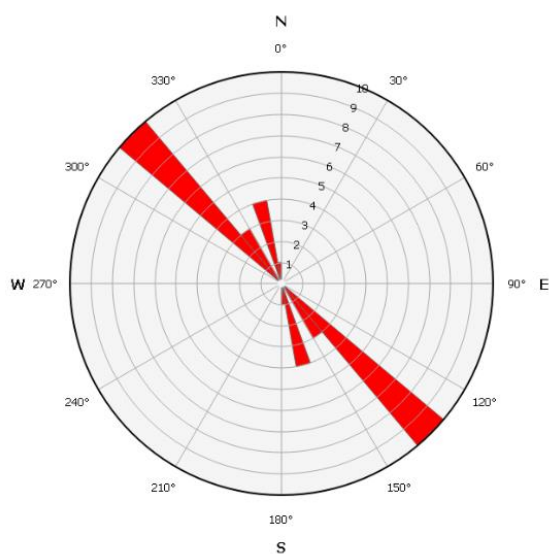




Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 3. Ασυνέχειες J -

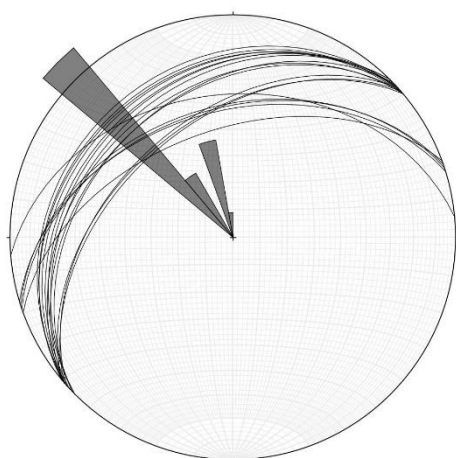
Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

Οι ασυνέχειες J εμφανίζουν μια σχετική διακύμανση στην τεχνητή τομή και Θέση μετρήσεων 1. Η πιο σημαντική είναι αυτή με διεύθυνση κλίσης κοντά στις 320° και κλίση μικρότερη από 40°.



Ροδοδιάγραμμα παράταξης 3. Ασυνέχειες J – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

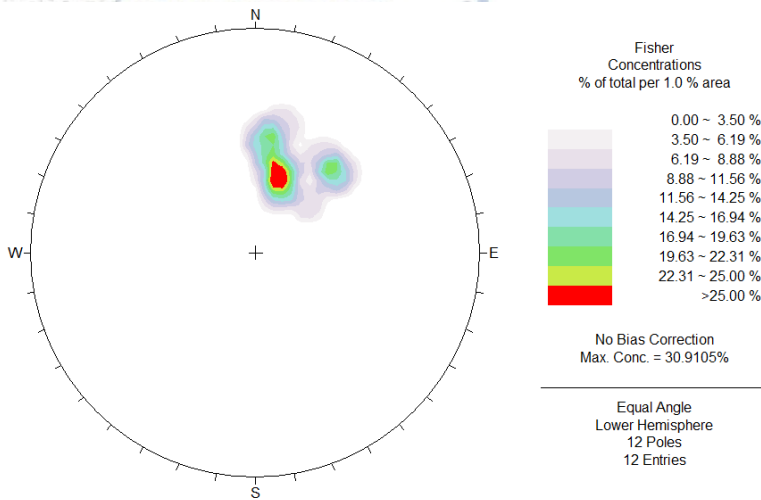
Στη θέση μετρήσεων 2 οι ασυνέχειες J παρουσιάζουν παράταξη ΒΔ – ΝΑ.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 3. Ασυνέχειες J – Γήπεδα – Θέση μετρήσεων 1

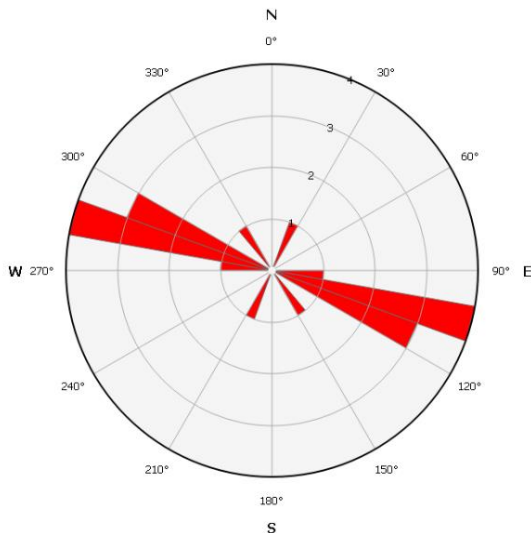
Στη θέση μετρήσεων 2 οι ασυνέχειες J παρουσιάζουν κύρια διεύθυνση κλίσης ΒΔ και δευτερεύουσα ΒΒΔ. Η κλίση των ασυνεχειών είναι από 30 έως 40 μοίρες.

Εκκλησία – Θέση τεκτονικών μετρήσεων Θ2



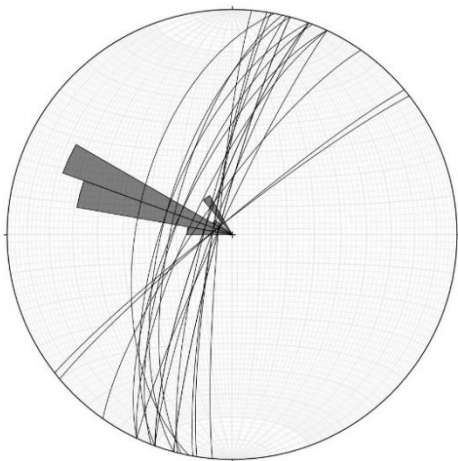
Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 4. Σχιστότητα S_1 – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

Στη θέση μετρήσεων 2 η διαμπερής σχιστότητα εμφανίζει δύο κύριες ομάδες. Η πρώτη αποτελείται από διευθύνσεις κλίσεων από 0° έως 20° και διάφορες κλίσεις κοντά στις 50° . Αντιθέτως, η δεύτερη ομάδα έχει κύρια διευθύνση κλίσης 40° και 40° κλίση. Σε γενικές γραμμές δεν μπορούμε να τις θεωρήσουμε, ως δύο διαφορετικές και χωρίς καμία σχέση μεταξύ τους σχιστότητες.



Ροδοδιάγραμμα παράταξης 4. Σχιστότητα S_1 – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

Η διαμπερής σχιστότητα στη θέση μετρήσεων 1 – Εκκλησία, εμφανίζει κύρια παράταξη ΔΒΔ – ΑΝΑ και κυμαίνεται μεταξύ 100 – 120 μοιρών. Επιπλέον, παρατηρούνται δύο ακόμη οικογένειες σχιστότητας. Η πρώτη έχει παράταξη ΒΑ – ΝΔ και η δεύτερη ΒΔ – ΝΑ. Λόγω της μεταβολής της παράταξης της σχιστότητα S επιβεβαιώνεται η ομαλή πτύχωση των φυλλιτών – χαλαζιτών της ομάδας της Σβούλας.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 4. Σχιστότητα S_1 – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

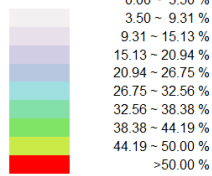
Η σχιστότητα S_1 στη θέση μετρήσεων 2 παρουσιάζει κύρια διεύθυνση κλίσης ΔΒΔ και κλίσεις που βρίσκονται ανάμεσα στις 50° και 90°

Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 5. Σχιστότητα S_2 –

Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

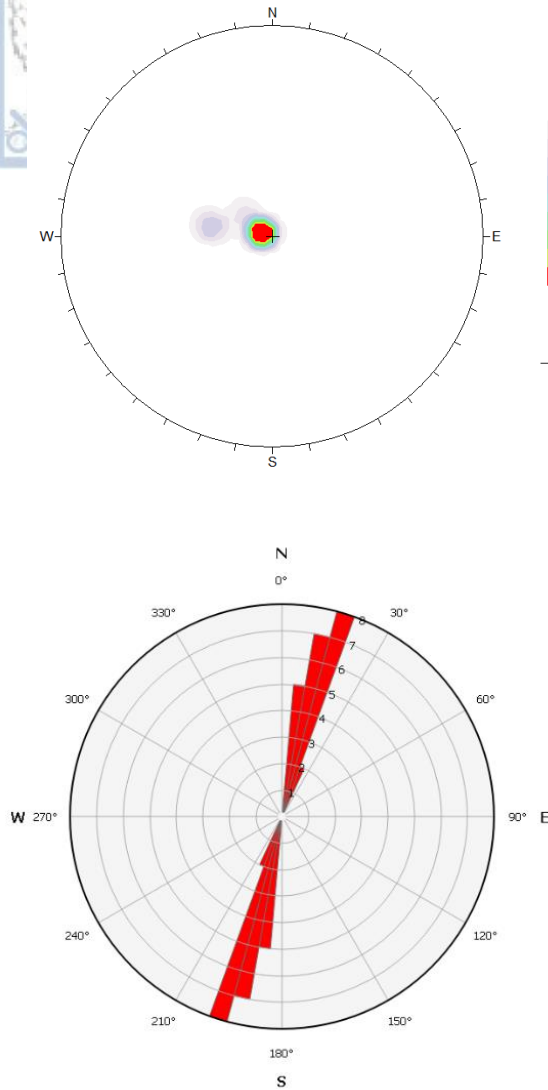
Η σχιστότητα S_1 στη θέση μετρήσεων 2, γίνεται σχεδόν κατακόρυφη με διευθύνσεις κλίσεις κοντά στις 310° . Προηγουμένως, εμφάνιζε παρόμοιες διευθύνσεις κλίσεων, ωστόσο η κλίση αλλάζει δραματικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην τεκτονική δράση που έχει επηρεάσει την περιοχή.

Fisher Concentrations
% of total per 1.0 % area



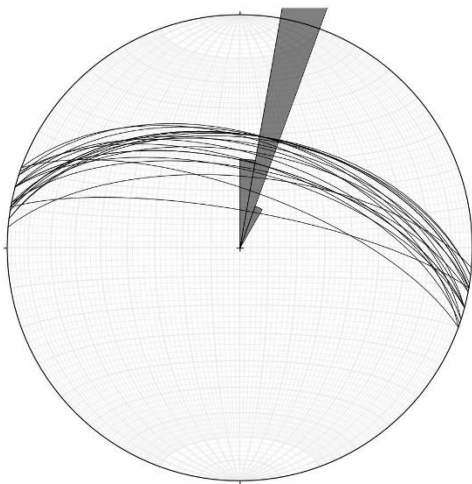
No Bias Correction
Max. Conc. = 66.3072%

Equal Angle
Lower Hemisphere
10 Poles
10 Entries



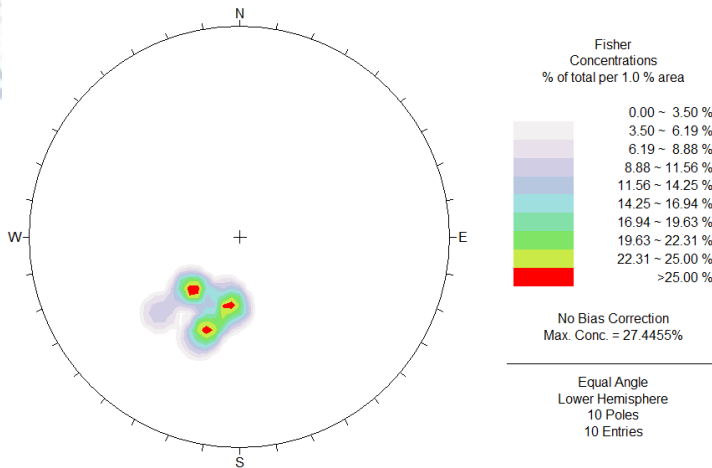
Ροδοδιάγραμμα παράταξης 5. Σχιστότητα S_2 – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

Η παράταξη της σχιστότητας S_1 στη θέση μετρήσεων 1, παρουσιάζει έναν εμφανή προσανατολισμό BBA – NNΔ. Η σχιστότητα S_1 είναι αυτή που δημιουργήθηκε μαζί με την μεταμόρφωση και πτύχωση των σχηματισμών του υποβάθρου.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 5. Σχιστότητα S_2 – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

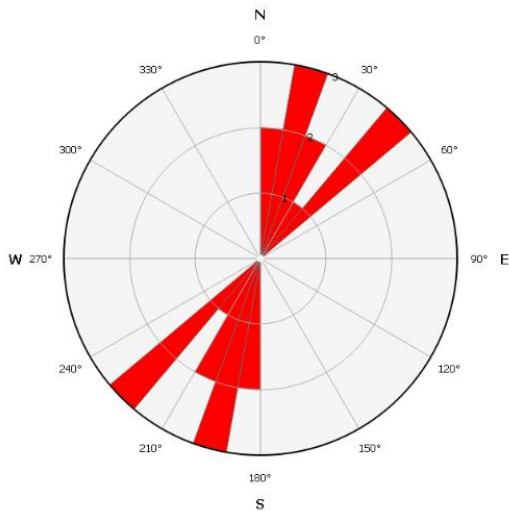
Η σχιστότητα S_1 ακολουθεί κύρια διεύθυνση κλίσης BBA και κλίσεις της τάξης των 45°



Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 6. Ασυνέχειες J –

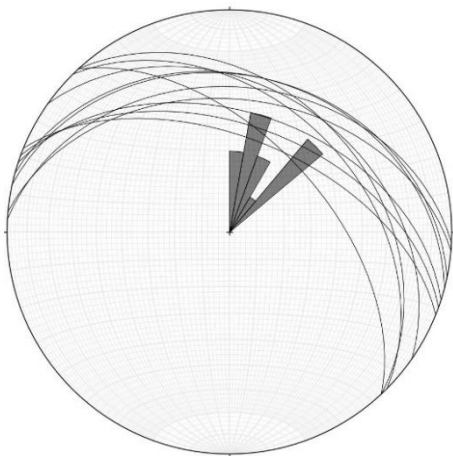
Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

Η ασυνέχεια J1 εμφανίζει τρεις κύριες τάσεις που αφορούν λίγο διαφοροποιημένα τεκτονικά στοιχεία. Κατά βάση, όλα βρίσκονται μεταξύ 180° - 250° (διεύθυνση κλίσης) και 40° - 70° (κλίση). Επομένως, θεωρείται ότι ίσως υπάρχει έλλειψη μετρήσεων, γι' αυτό και οι τρεις μέγιστες πυκνότητες.



Ροδοδιάγραμμα παράταξης 6. Ασυνέχειες J – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 2

Πλήθος ασυνεχειών εμφανίζονται στις φυσικές και τεχνητές τομές κατά μήκους της επαρχιακής οδού Λαγυνών – Φιλύρου. Η κύρια παράταξή τους είναι BBA – NNΔ και κυμαίνεται μεταξύ $0 - 50$ έως $180 - 230$ μοιρών. Οι ασυνέχειες ακολουθούν κατά βάση την παράταξη της σχιστότητας S1, επομένως είναι προϊόν μετά της πτύχωσης των φυλλιτών – χαλαζιτών της περιοχής.



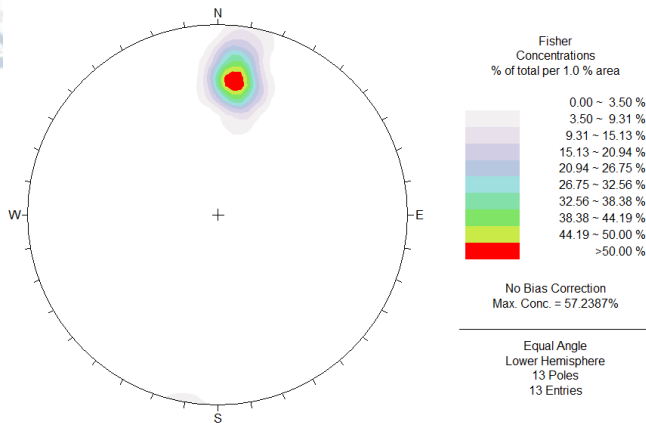
Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 6. Ασυνέχειες J – Εκκλησία – Θέση μετρήσεων 1

Δύο κύριες διευθύνσεις που αφορούν τη διεύθυνση κλίσης της ασυνέχειας J, εμφανίζονται στο παραπάνω ροδοδιάγραμμα. Η μια είναι BA και η δεύτερη BBA. Οι κλίσεις βρίσκονται ανάμεσα στις 30 και 50 μοίρες.

Ρέμα Γαλανούδη – Θέση τεκτονικών μετρήσεων Θ3

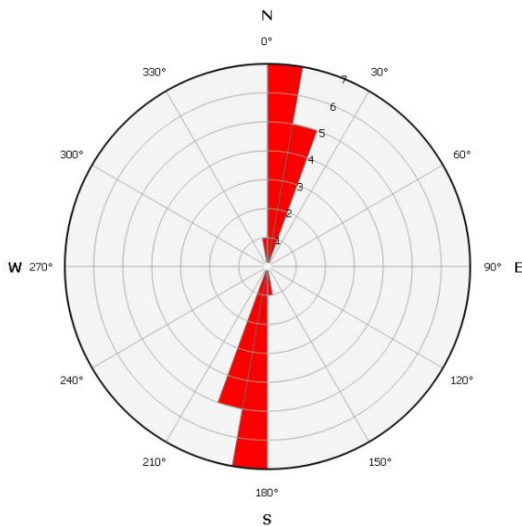
Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 7. Σχιστότητα S_1 – Ρέμα

Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

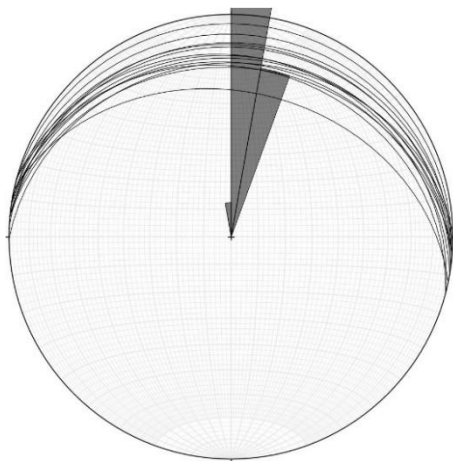


Η σχιστότητα S στη θέση μετρήσεων 3 εμφανίζεται ολοφάνερα να ακολουθεί μια συγκεκριμένη πορεία. Έχει διεύθυνση κλίσης κοντά στις 10 μοίρες και κλίση από οριζόντια έως 40 μοίρες.

Ροδοδιάγραμμα παράταξης 7. Σχιστότητα S_1 – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων

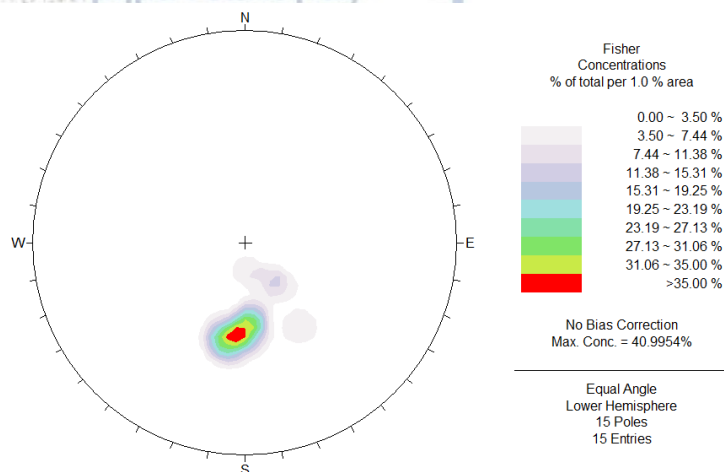


Στη θέση μετρήσεων 3 – Ρέμα Γαλανούδη παρατηρείται σχιστότητα με παράταξη σχεδόν B – N. Κυμαίνεται μεταξύ 0 – 20 και 180 – 200 μοιρών. Αλλάζει ξανά την διεύθυνση της, πράγμα που οδηγεί στην επιβεβαίωση της πτύχωσης των σχηματισμών του υποβάθρου.



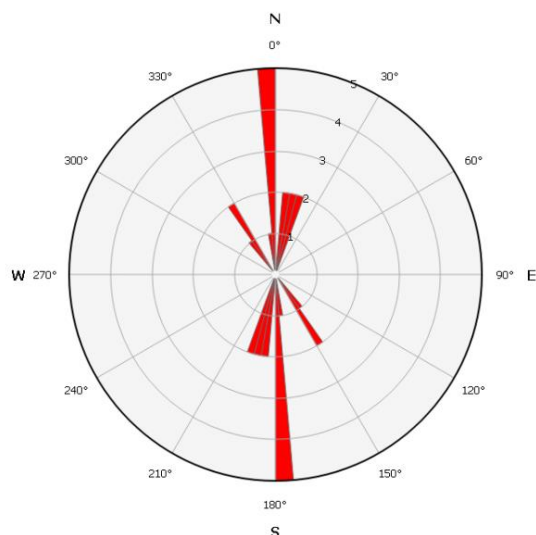
Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 7. Σχιστότητα S_1 – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

Στη θέση μετρήσεων 3 – Ρέμα Γαλανούδη παρατηρείται σχιστότητα με διεύθυνση κλίσης BBA και κλίσεις κάτω των 25 μοιρών.



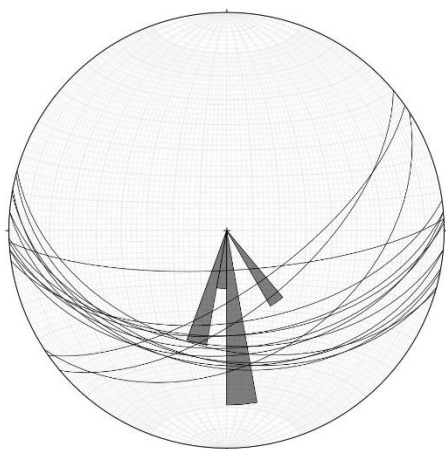
Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 8. Σχιστότητα S_2 – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

Η σχιστότητα S_1 στη θέση μετρήσεων 3 κυμαίνεται από 130° έως 200° όσον αφορά τη διεύθυνση κλίσης και από 50° έως και με σχεδόν κατακόρυφη κλίση.



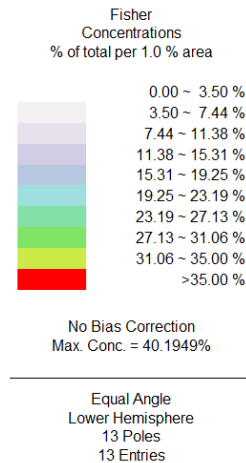
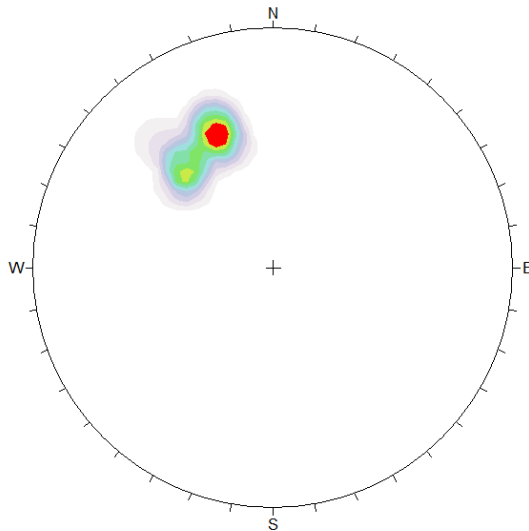
Ροδοδιάγραμμα παράταξης 8. Σχιστότητα S_2 – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

Η σχιστότητα S_1 στη θέση μετρήσεων 3 – Ρέμα Γαλανούδη ακολουθεί κύρια παράταξη Β – Ν. Ωστόσο, υπάρχουν και δευτερεύουσες παρατάξεις, μια ΒΔ – ΝΑ και μια άλλη ΒΑ – ΝΔ.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 8. Σχιστότητα S_2 – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

Η κύρια διεύθυνση κλίσης της σχιστότητας S_2 στη θέση μετρήσεων 3 είναι σχεδόν Ν. Επίσης, εμφανίζονται δευτερεύουσες διευθύνσεις ΝΝΔ και ΝΑ. Η γωνία κλίσης ποικίλει από 15° έως 80° μοίρες.



Τεκτονικό διάγραμμα Schmidt 9.

Ασυνέχειες J – Ρέμα Γαλανούδη –

Θέση μετρήσεων 3

Στη θέση μετρήσεων 3 –

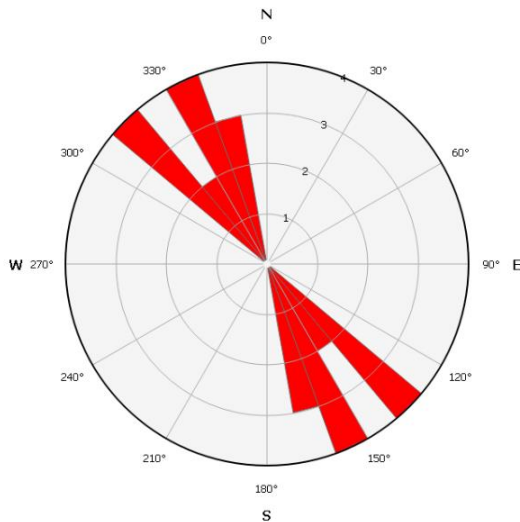
Ρέμα Γαλανούδη η

ασυνέχειες J εμφανίζεται με

διεύθυνση κλίσης μεταξύ

300° - 350° και κλίση

μεταξύ 25° - 45°.



Ροδοδιάγραμμα παράταξης 9. Ασυνέχειες J – Ρέμα Γαλανούδη – Θέση μετρήσεων 3

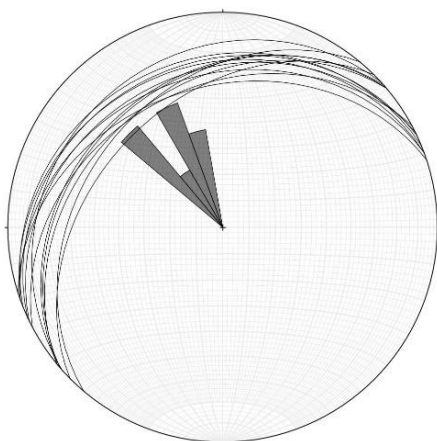
Η παράταξη της ασυνέχειας J στη θέση μετρήσεων 3

– Ρέμα Γαλανούδη, εμφανίζεται η ίδια σε σχέση με

αυτή στη θέση μετρήσεων 2 – Γήπεδα. Δηλαδή,

ακολουθεί την διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ έως ΒΒΔ –

NNA.



Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσης 9. Ασυνέχειες J – Ρέμα Γαλανούδη

– Θέση μετρήσεων 3

Η ασυνέχεια J εμφανίζει διευθύνσεις κλίσεων 320° -

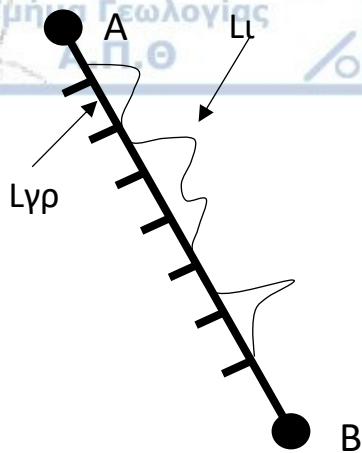
340° και κλίσεις μεγαλύτερες των 45 μοιρών.

Όσον αφορά την τεκτονική εξέλιξη και παραμόρφωση, σημαντικές αναφορές είναι οι δύο φάσεις πτυχώσεων, οι οποίες συμφωνούν με τις δύο σχιστότητες. Ταυτόχρονα με την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση θεωρείται ότι έλαβε χώρα η πρώτη, κύρια παραμόρφωση των σχηματισμών της ζώνης. Αυτή, προκάλεσε πτυχές σχεδόν ισοκλινείς και οδήγησε στην εμφάνιση σχιστότητας των πετρωμάτων. Η δεύτερη φάση πτυχώσεων συνέβη κατά το Τριτογενές και περιλαμβάνει πτυχές ανοιχτές, μετά – μεταμορφικές και πτυχές τύπου knick.

4.2 Μορφοτεκτονικές δομές

Η περιοχή του νοτίου περιθωρίου της Μυγδονίας λεκάνης παρουσιάζει έντονα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με τη ρηξιγενή δραστηριότητα των ενεργών ρηγμάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνοψίζονται ως εξής:

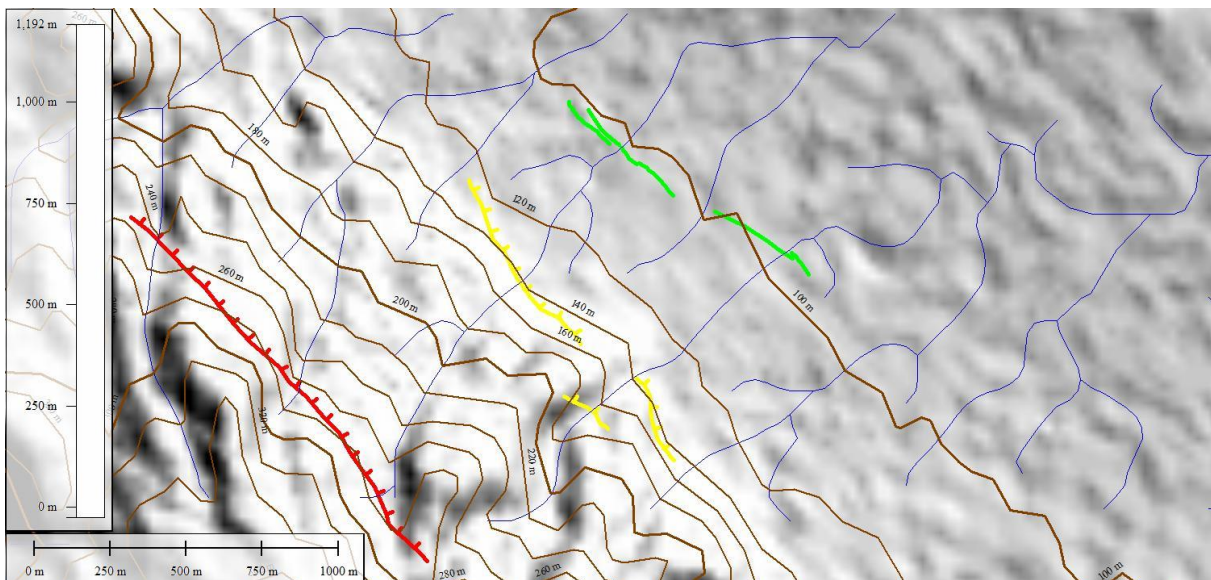
1. Έντονη κατά βάθος διάβρωση.
 2. Χαμηλός βαθμός δαντέλωσης.
 3. Απότομες αλλαγές στη γωνία κλίσης των ρεμάτων.
1. Έντονη κατά βάθος διάβρωση: Τα ρέματα και οι χείμαρροι σε ολόκληρο το νότιο περιθώριο της Μυγδονίας λεκάνης έχουν γενικά διεύθυνση ροής από το νότο προς το βορρά. Χαρακτηρίζονται από βαθιές κοιλάδες σχήματος V κοντά στα νεότερα περιθωριακά ρήγματα. Αντιθέτως, η κοίτη των ρεμάτων στη περιοχή λιμνών εξομαλύνεται, λόγω ότι εκεί βρίσκεται και το βασικό τους επίπεδο. Η έντονη κατά βάθος διάβρωση υποδηλώνει σχετικά πρόσφατη πτώση του βασικού επιπέδου. Στην περίπτωση της λεκάνης της Μυγδονίας, η πτώση του βασικού επιπέδου συνδέεται με την πλέον πρόσφατη δραστηριότητα των περιθωριακών ρηγμάτων.
 2. Χαμηλός βαθμός δαντέλωσης: σύμφωνα με τον Doornkamp (1986) ως δαντέλωση (D) σε ένα κανονικό ρήγμα ορίζεται ο λόγος μεταξύ του μήκους του μετώπου του κατά μήκος μίας ισοϋψούς στο επίπεδο της επιφάνειας του κατελθόντος τεμάχους και του γραμμικού του μήκους, δηλαδή:
$$D = \frac{L\sigma}{Ly\rho}$$
 (Παυλίδης, 2003)



Σχήμα 4. Ο λόγος $L_{ισ}$ προς $L_{γρ}$ μεταξύ δύο σημείων A και B σε ένα ρήγμα είναι η δαντέλωση του ρηξιγενούς πρानούς (D) που αποτελεί δείκτη τεκτονικής δραστηριότητας του ρήγματος. Τροποποιημένο από Παυλίδη (2003).

Η δαντέλωση ενός ρήγματος αποτελεί δείκτη της τεκτονικής του δραστηριότητας. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι, τόσο νεότερο είναι το ρήγμα, αφού δεν θα έχει προλάβει η διάβρωση να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη γραμμική μορφή του πρानού του.

Στην περιοχή μελέτης εφαρμόστηκε λεπτομερής μορφοτεκτονική ανάλυση, η οποία βασίστηκε στο Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου που κατασκευάστηκε από δεδομένα ανοικτής πρόσβασης SRTM, ακρίβειας 1-arcsecond.



Εικόνα 42. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής μελέτης, ο οποίος προήλθε από την επεξεργασία δεδομένων SRTM, όπου διακρίνεται το υδρογραφικό δίκτυο με μπλε καμπύλες και τα χαρτογραφημένα ρήγματα με κόκκινο, κίτρινο και πράσινο χρώμα.

Μετρήθηκαν το μήκος του κάθε ρήγματος και το μήκος της πλησιέστερης ισοϋψούς, ώστε να βρεθεί ο λόγος της δαντέλωσης. Με βάση τη γραφική κλίμακα του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής μελέτης (Εικόνα 42), βρέθηκαν τα εξής μήκη:

- Μήκος ισοϋψούς: $L_{ισ} = 2115$ m
- Μήκος ρήγματος A $L_{γρ} = 1485$ m
- Μήκος ισοϋψούς: $L_{ισ} = 1025$ m

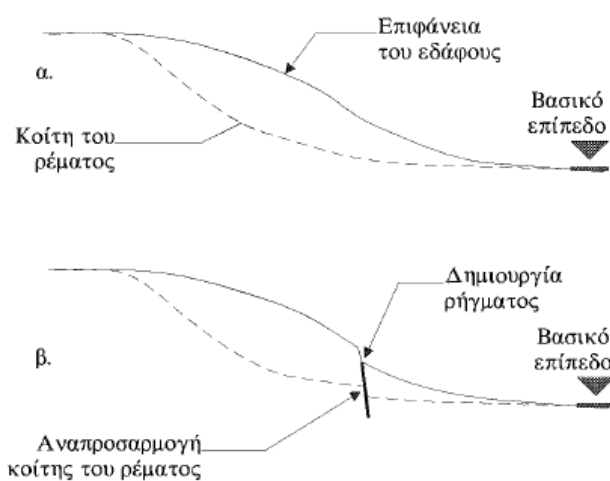
- Μήκος ρήγματος Β: $L_{gr} = 950 \text{ m}$
- Μήκος ισοϋψούς: $L_{is} = 555 \text{ m}$
- Μήκος ρήγματος Γ: $L_{gr} = 545 \text{ m}$

Επομένως, με βάση τη σχέση $D = L_{is}/L_{gr}$ η δαντέλωση για κάθε ένα από τα παραπάνω ρήγματα είναι:

- $D_A = (2115/1485) \Rightarrow D_A = 1,424$
- $D_B = (1025/750) \Rightarrow D_B = 1,366$
- $D_C = (625/545) \Rightarrow D_C = 1,14$

Σύμφωνα, με τον Χατζηπέτρο (1998), η δαντέλωση των ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης που οριοθετούν το νότιο της περιθώριο είναι της τάξης του 1,3 – 1,5. Ομοίως, η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την δαντέλωση των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης ανήκουν στην 1^η κατηγορία 1,0 – 1,5 που σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση του Doornkamp (1986) θεωρείται ενδεικτική των ενεργών ρηγμάτων και συσχετίζεται μορφολογικά με αλλουβιακά κορήματα, επιμήκη λεκάνη απορροής με στενή κοιλάδα και απότομες πλαγιές.

3. Απότομες αλλαγές στη γωνία κλίσης των ρεμάτων: Ένας ακόμη γεωμορφολογικός δείκτης ρηξιγενούς δραστηριότητας είναι η μορφή του πυθμένα της κοίτης των ρεμάτων. Τα ρέματα αποτελούν μία από τις πιο ευμετάβλητες γεωμορφολογικές δομές που επηρεάζονται από έστω και μικρές αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι είτε μεταβολή του βασικού επιπέδου, είτε δημιουργία ενός ρήγματος κατά μήκος της κοίτης του ρέματος.

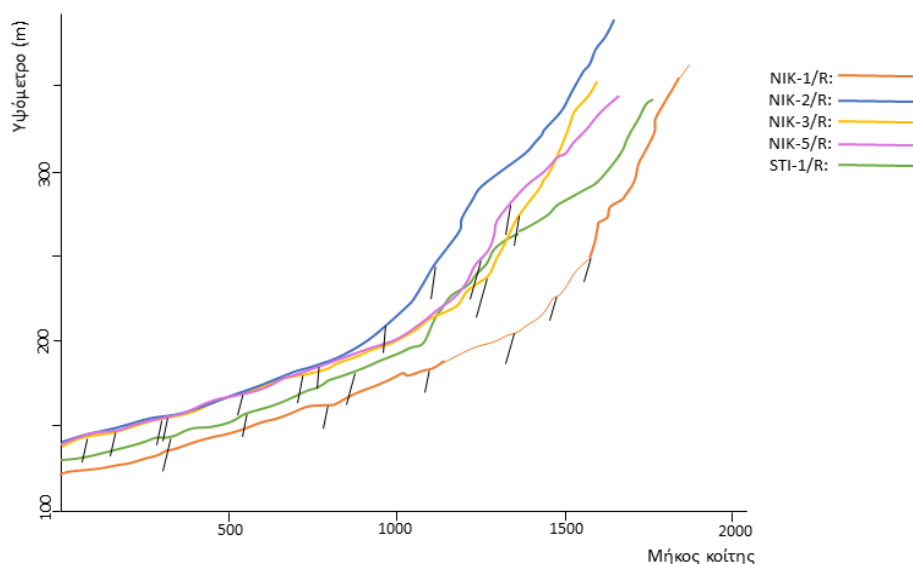


Εικόνα 43. Σχηματική τομή ενός πρανού με την αντίστοιχη κοίτη ενός ρέματος που το διαρρέει. Α. Η κοίτη του ρέματος που συμβολίζεται με διακεκομμένη γραμμή, γίνεται σταδιακά ομαλότερη προς τα κατάντη, μέχρι το υψόμετρο του βασικού επιπέδου. Β. Μια οποιαδήποτε αλλαγή είτε στο βασικό επίπεδο, είτε σε κάποιο σημείο κατά μήκος του ρέματος αναγκάζει την κοίτη του να αναπροσαρμοστεί στις νέες συνθήκες (Α Χατζηπέτρος, 1998).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η κοίτη του ρέματος στην εικόνα 44 αναγκάζεται να προσαρμοστεί στις καινούριες συνθήκες. Η προσαρμογή εκδηλώνεται, ως ανανέωση της

διαβρωτικής δράσης του ρέματος. Μπορεί να ξεκινήσει είτε από το βασικό επίπεδο, εάν αυτό είναι η αιτία της αλλαγής, είτε από το σημείο όπου δημιουργήθηκε το ρήγμα. Ως αποτέλεσμα, η μορφή της κοίτης του ρέματος παρουσιάζει μία αλλαγή στη γωνία κλίσης της, όπου αυτή είναι ορατή σε τοπογραφικές τομές κατά μήκος του άξονα της κοίτης τους.

Κάτι παρόμοιο παρατηρείται και στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Σύμφωνα με τον Χατζηπέτρο (1998), προκύπτει ένα διάγραμμα (Σχήμα 5) από τη σύγκριση των μορφολογικών τομών των ρεμάτων και δείχνει ότι γενικά μπορούν να συσχετιστούν οι αλλαγές στη γωνία κλίσης κοίτης των ρεμάτων επίσης της Μυγδονίας τόσο με τα χαρτογραφημένα ρήγματα, όσο και με τις λιθολογικές επαφές, οι οποίες βέβαια ορίζονται από τα μεγαλύτερα ρήγματα. Ωστόσο, αυτές οι αλλαγές, εκτός λίγων περιπτώσεων, δεν είναι αρκετά έντονες έτσι ώστε η συσχέτιση και η ποιοτική τους ανάλυση να είναι επαρκώς αξιόπιστες.

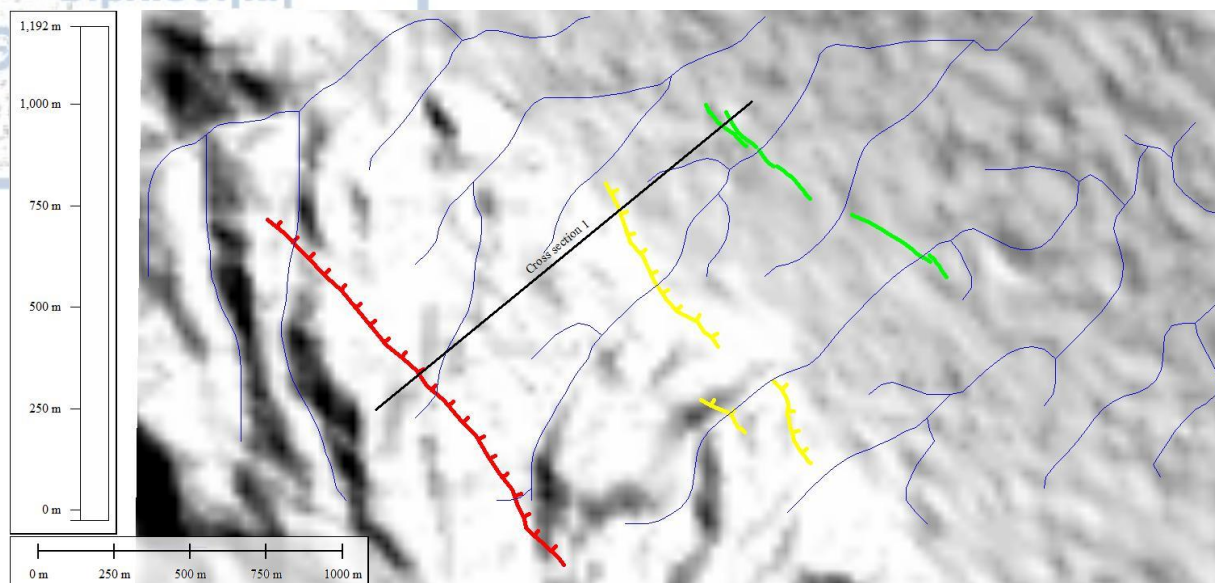


Σχήμα 5. Διάγραμμα μήκους κοίτης ρεμάτων – υψομέτρων. Σημειώνονται οι θέσεις των χαρτογραφημένων ρηγμάτων, καθώς επίσης και η διαφορετική λιθολογία. Τροποποιημένο από Χατζηπέτρος (1998).

Η μορφοτεκτονική ανάλυση της περιοχής μελέτης, έδειξε επίσης, ότι τα πρώτα δύο ρήγματα (Α,Β) επηρεάζουν το τοπικό υδρογραφικό δίκτυο, κυρίως στα σημεία τομής τους (σχήμα5). Επίσης, φαίνεται ξεκάθαρα η επιρροή στον τρόπο που επεκτείνεται στο χώρο, αλλά ταυτόχρονα και τη διεύθυνση της ροής της μισγάγγειας (Chatzipetros and Papadopoulou, 2019).

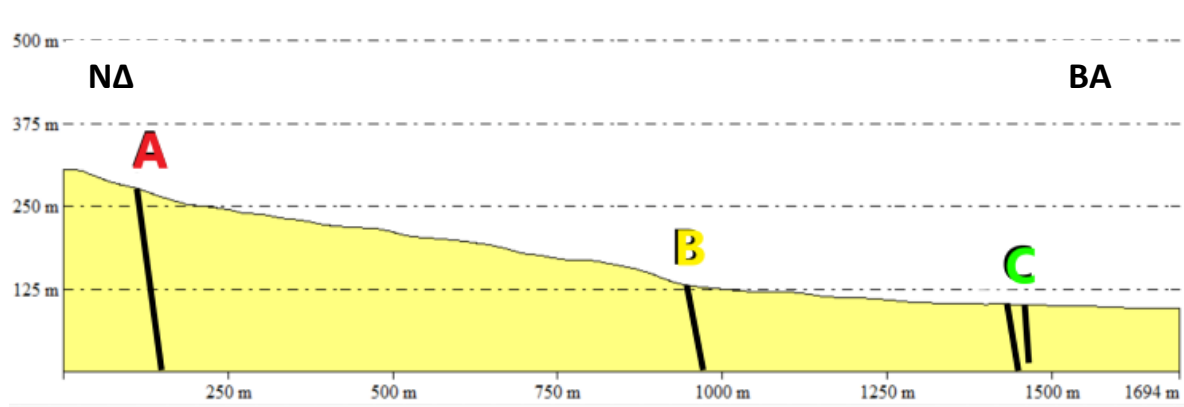
Σύμφωνα με την μορφοτεκτονική ανάλυση του ρήγματος (Α) λήφθηκαν πληροφορίες σχετικές με την επιρροή του στο υδρογραφικό δίκτυο και στο ανάγλυφο της γύρω περιοχής.

Το τρίτο ρήγμα (C) έχει την μικρότερη επιφανειακή εκδήλωση από όλα και για αυτό τον λόγο δεν είναι εμφανές στην ανάλυση που εφαρμόστηκε (εικόνα 44).



Εικόνα 44. Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής, όπου διακρίνονται το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα της περιοχής. Η μαύρη γραμμή αναπαριστά το ίχνος της μορφολογικής τομής που παράχθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Global Mapper.

Η παρακάτω μορφολογική τομή (εικόνα 45) είναι κάθετη στην παράταξη των ρηγμάτων Α, Β, και C και έχει ΝΔ – ΒΑ παράταξη. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι το ρήγμα Β διακρίνεται ευκολότερα από όλα, καθώς είναι η επαφή μεταξύ υποβάθρου - ιζημάτων και επηρεάζει σημαντικά το ανάγλυφο. Το ρήγμα Α είναι το λιγότερο εμφανές καθώς βρίσκεται ολοκληρωτικά μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Από την άλλη, το C, μολονότι νεότερο, δεν είναι ακόμη ανιχνεύσιμο στην επιρροή της μορφολογίας.



Εικόνα 45. Μορφολογική τομή της περιοχής με παράταξη ΝΔ – ΒΑ. Παρατηρούνται οι τρεις κλάδοι ρηγμάτων της περιοχής μελέτης (Alexandros Chatzipetros and Evdokia Papadopoulou 2019)

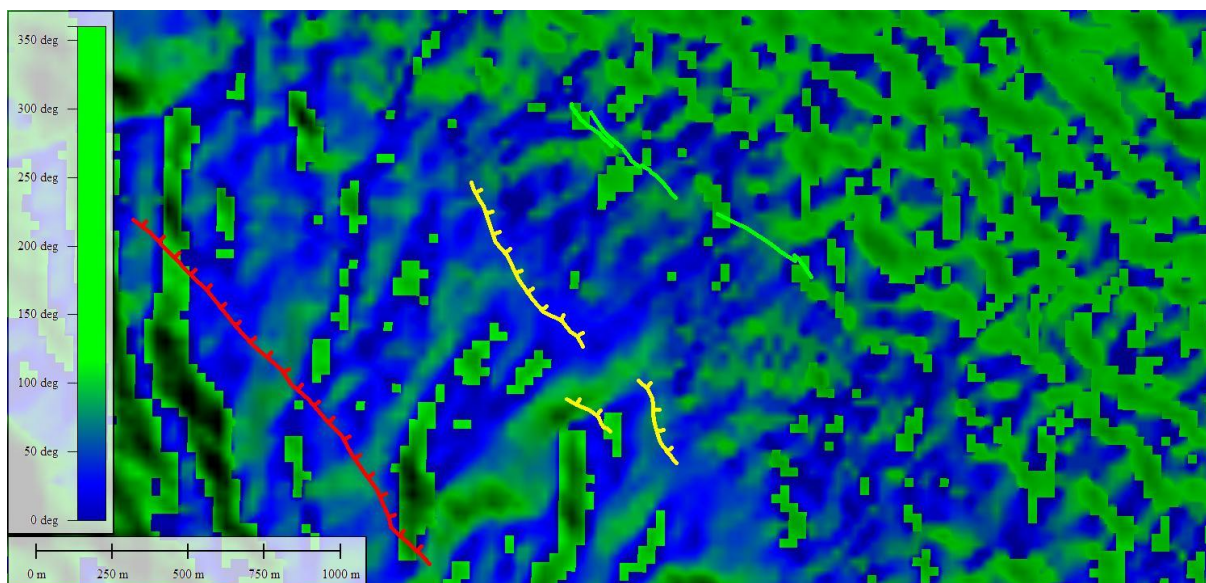
Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που υπολογίστηκαν για κάθε ένα από τα τρία ρήγματα, υποδεικνύουν ότι το δεύτερο ρήγμα (Β), είναι και το πιο ενεργό. Παρ' όλ' αυτά, είναι βέβαιο ότι υπάρχουν περισσότεροι κλάδοι αυτής της ζώνης ρηγμάτων που μπορούν να ανιχνευθούν προς το εσωτερικό της λεκάνης, όπως φαίνεται από την σεισμική παραμόρφωση του τρίτου κλάδου και από τις επιφανειακές ρωγμές του σεισμού του Στίβου το 1978.



Εικόνα 46. Φωτογραφίες από το χωριό Στίβος, όπου διακρίνονται η μετατόπιση εκατέρωθεν του ρήγματος και οι πληγείσες οικίες (Pavlidis & Syrides, 1997).

Ο χάρτης διεύθυνσης κλίσεων των πρανών που κατασκευάστηκε (εικόνα 46), χωρίζει την περιοχή μελέτης σε δύο υποπεριοχές με διαφορετικές διευθύνσεις κλίσης.

- Η πρώτη, με το μπλε χρώμα, αντιστοιχεί στην ρηξιγενή περιοχή με τα ρήγματα A, B, και C. Αυτή η υποπεριοχή εξαπλώνεται ομοιόμορφα και περιλαμβάνει και το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και το ιζηματογενές κάλυμμα. Οι διευθύνσεις κλίσης κυμαίνονται κυρίως BA – ΝΔ.
- Η δεύτερη υποπεριοχή με πράσινο χρώμα και μπλε εμφανείς κυματισμούς αντιστοιχεί στα ιζήματα που δεν έχουν παραμορφωθεί από την δράση των ρηγμάτων και έχει διευθύνσεις κλίσης ΒΔ – ΝΑ.



Εικόνα 47. Χάρτης διεύθυνσης κλίσεων των πρανών της περιοχής μελέτης. Παρατηρούνται τα τρία ρήγματα της περιοχής με κόκκινο, κίτρινο και πράσινο χρώμα. (Alexandros Chatzipetros and Evdokia Papadopoulou 2019).

Αυτή η διαφορετικότητα στη μορφολογία μπορεί να αποδοθεί στην προχωρημένη διαβρωτική δραστηριότητα των ρεμάτων, η οποία με τη σειρά της είναι μια ένδειξη ανύψωσης του νοτιοδυτικού τμήματος της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, υπάρχει το ερώτημα εάν αυτή η διαφορά στη μορφολογία έχει επηρεαστεί και από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Η λεκάνη της Μυγδονίας είναι μια περιοχή όπου η υπεραντλήσεις για τις γεωργικές εργασίες ίσως να έχουν προκαλέσει πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, με συνέπεια το ανάγλυφο να επηρεάζεται και από αυτή την παράμετρο. Τέλος, η μορφοτεκτονική ανάλυση των πρानών της περιοχής μελέτης έδειξε ότι υπάρχει γενικά μια καλή συσχέτιση μεταξύ του ύψους τους και της μέγιστης γωνίας κλίσης τους, επιβεβαιώνοντας έτσι τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τη διάβρωση των ρηξιγενών πρानών.

5. Συμπεράσματα

Με βάση τα προαναφερθέντα σε όλα τα κεφάλαια, φαίνεται πως η Μυγδονία λεκάνη είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη δομή όσον αφορά την τεκτονική της εξέλιξη και τη συμπεριφορά των ρηγμάτων στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Η περιοχή έχει διαμορφωθεί λόγω τεκτονικών κινήσεων, με κύριες χαρακτηριστικές γεωμορφές, τις τεκτονικές αναβαθμίδες και ενεργά ρήγματα που οριοθετούν τη λεκάνη της Μυγδονίας στο βόρειο και στο νότιο περιθώριο της.

Η τεκτονική μελέτη της περιοχής και ο εντοπισμός τριών κύριων κλάδων ρηγμάτων (Α, Β και C) στην περιοχή των Λαγυνών, τα οποία επηρεάζουν τη μορφολογία και συνδέονται με πρόσφατους σεισμούς, καθιστούν το περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής, σεισμικά ενεργό.

Τα γεωμορφολογικά στοιχεία που παρατηρήθηκαν και συνδέθηκαν με τη δράση των ρηγμάτων, συμφωνούν με τις γεωλογικές και σεισμολογικές παρατηρήσεις περί ενεργών ρηγμάτων. Συνεπώς, κατατάσσουμε τα ρήγματα Β και C στην κατηγορία των ενεργών ρηγμάτων καθώς το πρώτο συνδέεται άμεσα με ισχυρό σεισμό (Στίβος, 1978) και το δεύτερο «κόβει» πρόσφατα ιζήματα τεταρτογενούς ηλικίας, κυρίως ολοκαινικά. Ο κλάδος ρηγμάτων Α, ο οποίος βρίσκεται ολοκληρωτικά μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, εμφανίζεται ως μια σειρά διατμητικών ζωνών και δείχνει μια κατανεμημένη παραμόρφωση. Έπειτα από τις διαφύρες αναλύσεις, τεκτονικές και μορφοτεκτονικές, θεωρήθηκε ως αδρανές (ανενεργό) ρήγμα διότι δε δίνει ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας για την επαναδραστηριοποίησή του στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν σύμφωνα τις σεισμολογικές, ιστορικές και γεωλογικές ενδείξεις.

Είναι σημαντικό αναφοράς, η θέση της παλαιάς εθνικής οδού Θεσσαλονίκης – Καβάλας σε σχέση με τον Β κλάδο ρηγμάτων, ο οποίος περνά μέσα από το δρόμο και τον ακολουθεί για αρκετά χιλιόμετρα. Επίσης, ο C κλάδος ρηγμάτων εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα του οικισμού των Λαγυνών, στο ύψος του καταστήματος «ΕΓΝΑΤΙΑ», ο οποίος έχει προκαλέσει ζημιές και

παραμορφώσεις στον δρόμο απέναντι από αυτό, στην περιφράξη του καθώς και στο ίδιο το κατάστημα. Δεν έχει εξακριβωθεί πλήρως η διαδικασία σχηματισμού και γένεσης του C ρήγματος καθώς είναι το νεότερο της ρηξιγενούς ζώνης. Κάθε νέο ρήγμα πιθανώς να έχει επηρεαστεί ή και να επηρεάζεται ακόμη από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα μέσα στην ζώνη παραμόρφωσης.

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που υπολογίστηκαν επιβεβαίωσαν την ενεργότητα των ρηγμάτων, καθώς ο βαθμός δαντέλωσης 1,0 – 1,5, είναι χαρακτηριστικός της 1^{ης} κατηγορίας και ενδεικτικός των ενεργών ρηγμάτων. Ακόμη, παρατηρούνται παραμορφώσεις μέσα στο χωριό των Λαγυνών, εξαιτίας των δύο παραπάνω ενεργών κλάδων ρηγμάτων, καθιστώντας το σεισμικό κίνδυνο αρκετά υψηλό για την περιοχή.

Ακόμη, ο νεοτεκτονικός χάρτης που δημιουργήθηκε έδειξε ότι η περιοχή μελέτης, καλύπτεται σχεδόν ολοκληρωτικά από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Η νεοτεκτονική χαρτογράφηση έχει ποικίλες εφαρμογές, οι οποίες θεωρούνται εξαιρετικά σημαντικές για το γενικότερο πλαίσιο της γεωλογίας αλλά και της καθημερινής ζωής. Η οδοποιία, ο πολεοδομικός σχεδιασμός μαζί με το οικιστικό περιβάλλον και τη σεισμική επικινδυνότητα καθορίζουν τις συνιστώσες για την σωστή δόμηση σε περίπλοκες περιοχές με έντονη σεισμικότητα.

6. Βιβλιογραφία

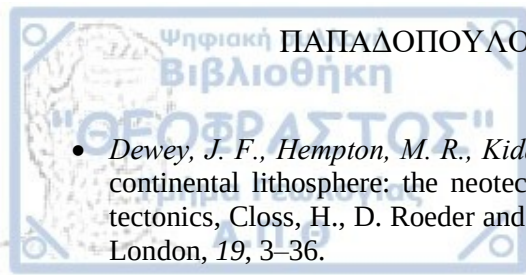
Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βουδούρης, Κ., 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη.
- Βουδούρης, Κ., 2017. Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού. Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.): Τοπογραφικός χάρτης Θέρμης, 1970, Κλίμακας 1:50.000.
- Δημητριάδης, Σ. (1974) Πετρολογική μελέτη των μιγματικών γνωευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας – Ασπροβάλτας, Σταυρού – Ολυμπιάδας. Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης, 232p.
- Ζερβοπούλου Α., 2010. Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσ-σαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. (Διδακτορική Διατριβή)
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο Θέρμη.
- Κασώλη, Α. (1981). Συμβολή στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη αμφιβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας. Διδακτ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης 230p.
- Κολιαδημου Καλλιοπη (1996). Παλαιοντολογική και βιοστρωματογραφική μελέτη των απολιθωμένων μικροθηλαστικών της Μυγδονίας Λεκάνης.

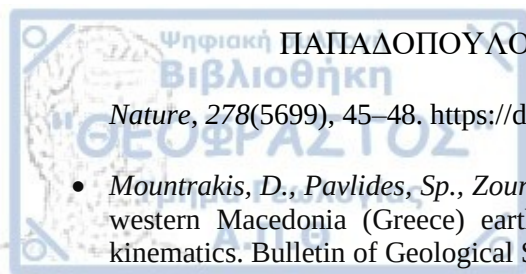
- Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ. 1989. Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος Β., 1996. Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη γεωφυσική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος Β. & Παπαζάχου Κ. 2003. Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος Β. Κ., Καρακαϊσης Γ. Φ., Χατζηδημητρίου Π. Μ., 2005. Εισαγωγή στη σεισμολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης Σ. Β. 2016. Γεωλογία των Σεισμών: Εισαγωγή στη Νεοτεκτονική, Μορφοτεκτονική, Παλαιοσεισμολογία και Αρχαιοσεισμολογία. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σακελαρίου, Α. (1989). Γεωλογία της Σερβομακεδονικής μάζας στην ΒΑ Χαλκιδική. Παραμόρφωση και Μεταμόρφωση. Διδ. Διατρ. Πανεπ. Αθηνών 177p.
- Σιδηρόπουλος, Ν. (1991). Λιθολογία, γεωχημεία, τεκτονική και μεταμόρφωση του ΒΔ τμήματος του Βερτίσκου. Η περιοχή του όρους Δύσωρο (Κρούσια) βόρεια από το Κιλκίς. Διδ. Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης 592p.
- Τσάπανος Θ., Παυλίδης Σ., Χατζηπέτρος Α., 2006. Γεωλογική – Σεισμολογική έρευνα του ρήγματος στο Δ.Δ. Λαγυνών του Δήμου Λαγκαδά. Έκθεση Δήμου Λαγκαδά
- Χατζηπέτρος, Α., 1998. Παλαιοσεισμολογική- Μορφοτεκτονική μελέτη και μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων, Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης- Γρεβενών. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Ψιλοβίκος Α., 1977. Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά- Βόλβης). Σελίδες 1-256. (Διδακτορική Διατριβή).

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- A. Kiliyas, G.F.& D.M., 1999. Cretaceous–Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece).
- Chatzipetros A.A. and Pavlides S.B., 1998. A quantitative morphotectonic approach to the study of active faults; Mygdonia basin, northern Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. 32, No 1, Pages 155-164.
- Chatzipetros A., Kokkalas S., Pavlides S. and Koukouvelas I., 2005. Palaeoseismic data and their implication for active deformation in Greece. Journal of Geodynamics, Vol. 40, No 2-3, September-October 2005, Pages 170-188.
- Chatzipetros, A., Mourouzidou, O., and Pavlides, S., 2003. Recent earthquake activity in a multifracted area as derived by trenching – Mygdonia basin, northern Greece. International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology, Ankara, Turkey, 31 August-12 September 2003, Abstract volume, Pages 127.
- Chatzipetros, A., Papadopoulou, E., 2019. A case of active fault migration in Mygdonia basin, northern Greece. IESCA – International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Izmir, Turkey, 7-11 October 2019.



- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., & Sengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia - a young collision zone, in: Collision tectonics, Closs, H., D. Roeder and K. Schmidt, Eds., Special Publication of the Geological Society of London, 19, 3–36.
- Galanis, O. C., Papazachos, C. B., Hatzidimitriou P. M., Scordilis E. M., 2004. Application of 3-D velocity models and ray tracing in double difference earthquake location algorithms: application to the Mygdonia basin (Northern Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVI, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.
- Himmerkus, F., Reischmann, T. & Kostopoulos, D. (2006). Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbomacedonian massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides.
- Kaufmann G., Kockel F., Mollat H., 1976. Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (northern Greece). Bulletin de la Societe Geologique de France, No 18, Pages 225-230.
- Kiliass & Pavlides, 1987. Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece).
- Kockel, F., and Walther, H. W., 1968. Zur geologischen Entwicklung des Suldlichen Seorvomazedonischen Massivs (Nordgriechenland). Bulg. Akad. Sc. Bull. Geol. Inst., Serv. Geot. Str. Lyth., No 17, January 1968, Pages 133–142.
- Koufos, G., 1992. The Pleistocene carnivores of the Mygdonia Basin (Macedonia, Greece). Annales de Paleontologie, Vol. 78, No 4, Pages 205-257.
- Koufos, G., Syrides G., Kostopoulos, D., Koliadimou, K., 1995. Preliminary results about the stratigraphy and the paleoenvironment of Mygdonia Basin, Macedonia, Greece. GEOBIOS, M.S., No 18, Pages 243-249.
- Koufos, G.D., Syrides, G.E., Kostopoulos, D.S., Koliadimou, K.K., 1995. Preliminary results about the stratigraphy and the palaeoenvironment of Mygdonia Basin, Macedonia, Greece. Geobios 28, 243–249. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(95\)80171-5](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(95)80171-5)
- Lyberis, N. (1984). *Geodynamique du domain égeen depuis le Miocene superieur. Thèse Doctorat d'Etat*. Université P.M. Curie, Paris VI.
- Manakou, M., Raptakis, D., Apostolidis P., Chavez-Garcia F., Pitilakis K. (2007). The 3D geological structure of the Mygdonia basin (Greece) in terms of site response evaluation. 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (4ICEGE). Thessaloniki, Greece.
- Mercier, J. L., Carey-Gailhardis, E., Mouyaris, N. Simeakis, K., Roundoyannis, Th., Anghelidhis, Ch., 1983. Structural analysis of recent and active fault and regional state of stress in the epicentral area of the 1978 Thessaloniki earthquakes (Northern Greece). Tectonics, Vol. 2, No 6, December 1983, Pages 577-600.
- Mercier, J. L., Sorel, D., Vergely, P., Simeakis, K., 1989. Extensional tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. Basin Research, Vol. 2, No 1, March 1989, Pages 49 – 71.
- Mercier, Jacques Louis, Mouyaris, N., Simeakis, K., Roundoyannis, T., & Angelidhis, C. (1979). Intraplate deformation: a quantitative study of the faults activated by the 1978 Thessaloniki earthquakes.



Nature, 278(5699), 45–48. <https://doi.org/10.1038/278045a0>

- Mountrakis, D., Pavlides, Sp., Zouros N., Chatzipetros, Al., Kostopoulos, D., 1996. The May 13, 1995 western Macedonia (Greece) earthquake; Preliminary results on the seismic fault geometry and kinematics. *Bulletin of Geological Society of Greece*. Athens, Greece. Vol.6, Pages 112-121.
- Papazachos, B., Mountrakis, D., Psilovikos, A., Leventakis, G., 1979. Surface fault traces and fault plane solution of May- June 1978 major shocks in the Thessaloniki area. *Tectonophysics*, Vol. 53, Pages 171-183.
- Papazachos, B. C., Mountrakis, D., Psilovikos, A., Leventakis, G., 1980. Focal properties of the 1978 earthquakes in the Thessaloniki area. *Bulgarian Geophysical J.*, Vol. 6, Pages 72-80.
- Papazachos, 1980. Seismicity rates and long-term earthquake prediction in the Aegean area.
- Pavlides, S., Kiliass, A., (1987). Neotectonic and active faults along the Servomac-edonian zone (Chalkidiki, N. Greece). *Annales Tectonicae*, Vol. 1, Pages 97-104.
- Pavlides, S., & Soulakellis, N. (1990). Multifractured seismogenic area of Thessaloniki 1978 earthquake. (Northern Greece, in Savascin M.Y. and Eronat A.H., eds. In *Proceedings of IESCA-90, 1-6 October 1990, Izmir-Turkey*. VII (pp. 64–75).
- Pavlides, S., Caputo, R., Koukouvelas, I., Kokkalas S., Chatzipetros, A., 2006. Paleioseismological investigations of Aegean- type active faults in mainland Greece and their implications. *Geological Society of America*, Special Paper 409, Pages 176-188.
- Sotiriadis, L., Psilovikos, A., Vavliakis, E., Syrides G., 1983. Some Tertiary and Quaternary Basins of Macedonia/Greece. Formation and Evolution. *Clausthaler Geologische Abhandlungen*, No 44, Pages 87.
- Tranos, M.D., Papadimitriou, E.E., Kiliass, A.A., 2003. Thessaloniki - Gerakarou Fault Zone (TGFZ): The western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *Journal of Structural Geology* 25, 2109–2123. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(03\)00071-3](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(03)00071-3)
- Yong Technology Inc., 2014. Georose.