

## ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ – ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ – ΒΑΡΒΑΡΑΣ ΚΑΙ ΓΟΜΑΤΙΟΥ – ΜΕΓΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ)

Χατζηπέτρος Α.<sup>1</sup>, Μιχαηλίδου Α.<sup>1</sup>, Τσάπανος, Θ.<sup>2</sup>, Παυλίδης Σ.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 541 24 Θεσσαλονίκη, (ac@geo.auth.gr)

<sup>2</sup> Τομέας Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 541 24 Θεσσαλονίκη, (ac@geo.auth.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ρήγματα του Στρατωνίου – Βαρβάρας και του Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Χαλκιδικής. Από την ποσοτική ανάλυση των μορφοτεκτονικών δεικτών που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.), διαπιστώθηκε ότι το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας αποτελείται από τρία κύρια τμήματα (segments), ενώ το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα (segments).

Ο συνδυασμός των μορφοτεκτονικών δεικτών δείχνει ότι τόσο το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας, όσο και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι ενεργά. Από τις υψομετρικές καμπύλες των λεκανών απορροής στην περιοχή μελέτης προκύπτει ότι οι περισσότερες υπολεκάνες βρίσκονται στο “στάδιο της ωριμότητας” και οι τιμές υψομετρικού ολοκληρώματος κυμαίνονται από 45% - 55%. Για το δείκτη τις ασυμμετρίας λεκανών, οι συνηθισμένες τιμές κυμαίνονται από 30% - 40%, δηλαδή παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, ενώ σε τέσσερις λεκάνες απορροής παρατηρείται μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά του κύριου ποταμού, με τιμές περίπου 60%. Η ασυμμετρία των λεκανών απορροής που παρατηρείται, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν οφείλεται σε τεκτονική περιστροφή (tilting), αλλά σε λιθολογικούς παράγοντες. Για τον δείκτη λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος οι τιμές κυμαίνονται από ~ 0.2 έως ~ 8.0. Σε αρκετές όμως λεκάνες απορροής παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές και δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κυμαίνονται από 1,1 έως 1,4.

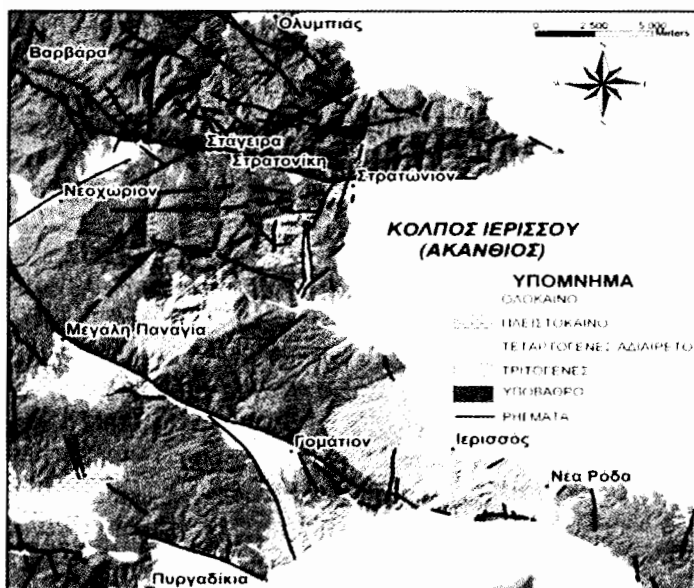
Η υπαίθρια παρατήρηση και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών, συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων όπως εξάλλου αποδεικνύεται από την ιστορική σεισμική δραστηριότητα (Ιερισσός 1932, Αρναία 1995). Τα μεγέθη των μεγάλων σεισμών που συνέβησαν στη περιοχή, σύμφωνα με τα μήκη των ρηγμάτων, έχουν φτάσει τη μέγιστη δυναμικότητά τους. Από την εκτίμηση του σεισμικού δυναμικού, με γεωλογικά δεδομένα, προκύπτει ότι η σεισμική δυναμικότητα και των δυο ρηγμάτων (σεισμός σχεδιασμού) είναι της τάξης μεγέθους που κυμαίνεται από  $M = 6,0$  έως  $M = 6,9$ .

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών σε δύο μεγάλα ρήγματα που κυριαρχούν στο χώρο της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας. Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων σχετικά

με την επίδραση ενός ρήγματος στη μορφολογία και ο υπολογισμός τους βασίζεται σε μετρήσεις γεωμορφολογικών στοιχείων.

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που αναλύθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι οι: *υψομετρική καμπύλη* και *υψομετρικό ολοκλήρωμα*, *ασυμμετρία λεκάνης απορροής*, *δαντέλωση στους πρόποδες των ρηξιγενών πραινών*, *μήκος ρέματος* – *δείκτης κλί-*



**Σχήμα 1:** Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τόσο τα πετρώματα όσο και τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των παρακάτω χαρτών: 1:50.000 Γεωλογικοί χάρτες, φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, Cepeda, A., TVX, 1999.

σης, ο παράγοντας *εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας*, λόγος *πλάτους κοιλάδας προς ύψος*. Ορισμένοι από αυτούς εύκολα μπορούν να μετρηθούν απευθείας από έναν απλό τοπογραφικό χάρτη, όμως στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται στοιχεία τα οποία μπορούν να υπολογιστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

## 2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

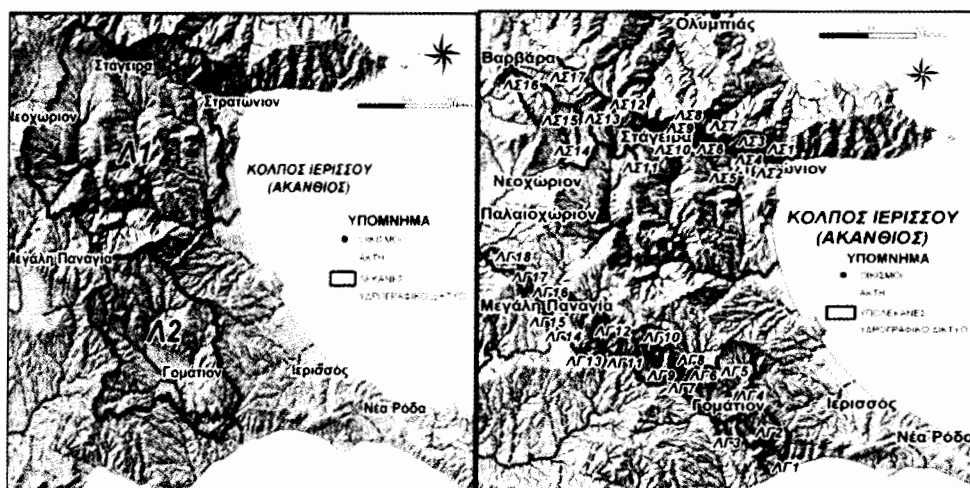
Τα πετρώματα του υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής αποτελούνται από σχηματισμούς της Σερβομακεδονικής μάζας, των σχηματισμών Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Σημαντική έκταση και ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή, αφού αποτελούν μητρικά πετρώματα της μεταλλοφορίας, έχουν τα πυριγενή πετρώματα που αναπτύσσονται εκατέρωθεν του ρήγματος (Μουντράκης 1985).

Η σειρά των Κερδυλλίων αποτελείται από βιοτιτικό γνεύσιο με παρεμβολές βιοτιτικών –κεροστιλιβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων και από τρεις οριζόντες μαρμάρου (Δημητριάδης 1974). Η σειρά του Βερτίσκου συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων

μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους οριζόντες της επικρατούν οι μεταγάββροι – μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978). Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα.

Τα νεότερα ιζήματα έχουν περιορισμένη έκταση και αποτελούνται από: *Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων* που διαχωρίζονται σε ανώτερο (Ηλικία: Πλειστόκαινο) και κατώτερο σύστημα (Ηλικία: Ολόκαινο). Το ανώτερο σύστημα εντοπίζεται κατά μήκος της κοιλάδας μεταξύ των Σταγείρων και της Στρατονίκης. Το κατώτερο σύστημα αποτέθηκε έξω από την περιοχή μελέτης. *Πλειστοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες* που περιλαμβάνουν, εκτός των υλικών του ανώτερου συστήματος αναβαθμίδων, πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων. *Κώνοι κορημάτων*. Πρόσφατοι κώνοι μικρής εξάπλωσης στις εξόδους μικρών ρεμάτων. Στο γεωλογικό χάρτη του σχήματος 1 οι σχηματισμοί έχουν χωριστεί συμφωνά με την ηλικία τους.

Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν στον ευρύτερο χώρο της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Pavlidis &



**Σχήμα 2:** Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου με την κατανομή του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης και τις κύριες λεκάνες για την περιοχή του Στρατωνίου και Γοματίου (αριστερά), και τις υπολεκάνες για τις περιοχές του Στρατωνίου και Γοματίου (δεξιά).

Kiliias 1987): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα έχουν διεύθυνση περίπου Β-Ν (Σχ. 1).

### 3. ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Για την κατασκευή των μορφοτεκτονικών και γεωλογικών χαρτών και την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS Desktop 8.3 και πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ArcMap και ArcCatalog, καθώς επίσης και τα υποπρογράμματα 3D Analyst και Spatial Analyst. Για την εισαγωγή των τοπογραφικών και άλλων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν πληθώρα πηγών.

#### 3.1 Μορφοτεκτονικοί Δείκτες

Οι μορφοτεκτονικοί δείκτες που αναλύθηκαν στην περιοχή μελέτης είναι οι: υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα, ασυμμετρία λεκάνης απορροής, δαντέλωση στους πρόποδες των ρηγιγενών πρηνών, μήκος ρέματος – δείκτης κλίσης, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας, λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

(Keller & Pinter 2002, Παυλίδης, 2003).

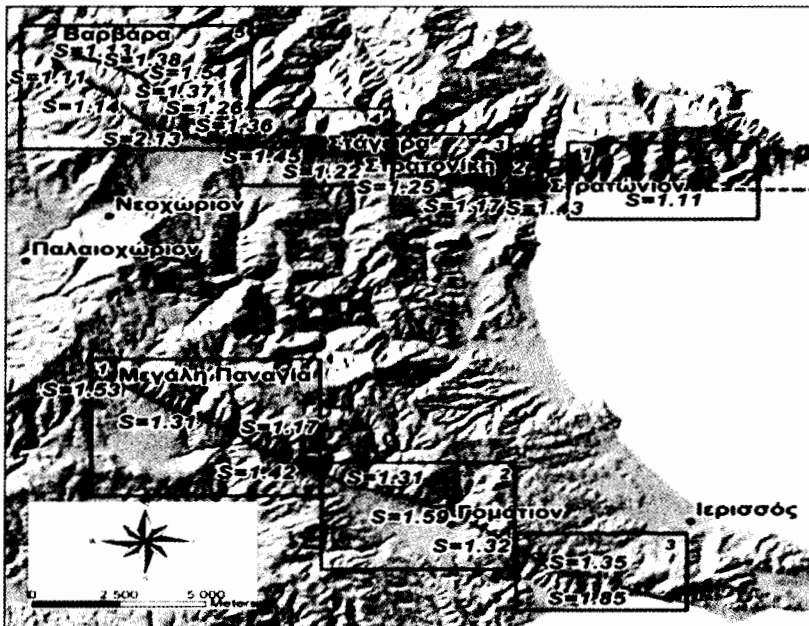
Τα αποτελέσματα της μορφοτεκτονικής ανάλυσης παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Για την υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη Λ1 (Σχ. 2) βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας. Με βάση τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών ΛΣ1 - ΛΣ17 (Σχ. 2), συμπεραίνεται ότι στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής ΛΣ: 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής ΛΣ: 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, ενώ οι λεκάνες απορροής ΛΣ: 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος». Για την περιοχή του Γοματίου η κύρια λεκάνη Λ2 (Σχ. 2) βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας, ενώ λαμβάνοντας υπόψη τα υψομετρικά ολοκληρώματα των υπολεκανών ΛΓ1 – ΛΓ18 (Σχ. 2), οι λεκάνες απορροής από ΛΓ: 2 έως και 18 βρίσκονται στο «στάδιο της ωριμότητας» και η λεκάνη απορροής ΛΓ1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».

Για το δείκτη (AF) της ασυμμετρίας λεκάνης απορροής, για την περιοχή του Στρατωνίου η κύρια λεκάνη Λ1 (Σχ. 2) είναι ασύμμετρη με βάση την τιμή του δείκτη AF η οποία είναι 33,81 και δείχνει

**Πίνακας 1.** Τα υψομετρικά ολοκληρώματα (αριστερά) των υπολεκανών ΛΣ: 1 – 17 για την περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας. Τα υψομετρικά ολοκληρώματα (δεξιά) των υπολεκανών ΛΓ: 1 – 18 για την περιοχή του ρήγματος Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ
ΛΣ1	51,1%	ΛΓ1	25,4%
ΛΣ2	27,3%	ΛΓ2	49,4%
ΛΣ3	50,1%	ΛΓ3	39,8%
ΛΣ4	38,7%	ΛΓ4	35,0%
ΛΣ5	25,2%	ΛΓ5	45,8%
ΛΣ6	43,6%	ΛΓ6	36,4%
ΛΣ7	60,4%	ΛΓ7	32,9%
ΛΣ8	53,8%	ΛΓ8	37,2%
ΛΣ9	35,2%	ΛΓ9	41,7%
ΛΣ10	34,4%	ΛΓ10	55,6%
ΛΣ11	41,0%	ΛΓ11	47,7%
ΛΣ12	46,0%	ΛΓ12	42,2%
ΛΣ13	45,7%	ΛΓ13	45,1%
ΛΣ14	25,0%	ΛΓ14	41,6%
ΛΣ15	40,8%	ΛΓ15	45,0%
ΛΣ16	62,1%	ΛΓ16	40,1%
ΛΣ17	39,5%	ΛΓ17	44,1%
		ΛΓ18	42,8%



**Σχήμα 3.** Αποτελέσματα του δείκτη της δαντέλωσης στους πρόποδες βουνών για την περιοχή Στρατωνίου – Βαρβάρας, και για την περιοχή Γομάτι – Μ. Παναγία. Οι πρόποδες χωρίστηκαν σε πέντε και τρεις μικρότερες περιοχές αντίστοιχα, για την μελέτη του δείκτη S.

**Πίνακας 2.** Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κατά μήκος του ρήγματος Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΤΙΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ S
<b>Ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας</b>	
1	1.11
2	1.43
3	1.25, 1.17
4	1.45, 1.22
5A	1.11, 1.14, 2.13
5B	1.13, 1.38, 1.54, 1.37, 1.26, 1.36
<b>Ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας</b>	
1	1.53, 1.31, 1.17, 1.42
2	1.31, 1.59, 1.32
3	1.35, 1.85

μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, η οποία δε σχετίζεται με τεκτονική περιστροφή (tilting). Για τις υπολεκάνες ΛΣ: 5, 12, 13 και 17 (Σχ. 2) είναι συμμετρικές (Πιν. 1), στις υπολεκάνες ΛΣ: 1 - 3, 6 - 16 (Σχ. 2) παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στην υπολεκάνη ΛΣ4 (Σχ. 2). Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες ΛΣ: 4, 7, 8, 9, 16 και 17. Για την περιοχή του Γοματίου η μεγάλη λεκάνη Λ2 (Σχ. 2) είναι συμμετρική (AF = 47,24). Οι υπολεκάνες ΛΓ: 12 και 17 είναι συμμετρικές (Σχ. 2), οι υπολεκάνες ΛΓ: 2 - 4, 6, 8 - 11. και 13 - 16 (Σχ. 2) παρουσιάζουν μία δεξιόστροφη περιστροφή του κύριου ποταμού, ενώ μια μικρή αριστερόστροφη περιστροφή παρατηρείται στις υπολεκάνες ΛΓ: 1, 5, 7 και 18 (Πιν. 1). Με τεκτονική περιστροφή (tilting) σχετίζονται οι υπολεκάνες ΛΓ: 2, 11, 17 και 18.

Για τον υπολογισμό του δείκτη της δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών οι περιοχές μελέτης χωρίστηκαν σε μικρότερες περιοχές. Έτσι η περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε πέντε μικρότερες περιοχές (Σχ. 3) ενώ η περιοχή του ρήγματος Γοματίου –

**Πίνακας 3.** Ο δείκτης  $V_f$  στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ	$V_f$
1	124	110	52	80	1.41
2	110	130	77	100	3.85
3	150	170	65	112	1.35
4	240	240	80	180	1.33
5	300	287	85	277	5.15
6	350	310	50	300	1.67
7	440	470	80	380	1.07
8	460	475	65	390	0.84
9	510	500	60	495	6.00
10	540	540	77	530	7.70
11	660	620	90	600	2.25
12	680	670	43	640	1.23
13	700	740	40	650	0.57
14	713	710	50	700	4.35
15	640	650	40	636	4.44
16	700	670	30	600	0.35
17	720	700	25	620	0.28

**Πίνακας 4.** Ο δείκτης  $V_f$  στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΔΕΞΙΟΥ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ	ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΙΣΓΑΓΓΕΙΑΣ	$V_f$
1	190	190	50	180	5.00
2	260	270	60	240	2.40
3	240	270	60	240	4.00
4	250	260	80	230	3.20
5	210	200	82	140	1.26
6	260	270	53	220	1.18
7	230	240	70	200	2.00
8	220	230	115	160	1.77
9	220	230	56	210	3.73
10	260	280	110	230	2.75
11	340	330	73	310	2.92
12	440	480	76	390	1.09
13	510	500	55	470	1.57
14	600	600	37	480	0.31
15	550	560	80	520	2.29
16	565	570	38	560	5.07
17	630	640	45	610	1.80
18	700	700	47	690	4.70

Μεγάλης Παναγίας χωρίστηκε σε τρεις μικρότερες περιοχές (Σχ. 3), με τα αποτελέσματα του δείκτη  $S$  να δίνονται στον Πίνακα 2. Από τις τιμές του δείκτη  $S$  τόσο το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα.

Ο δείκτης κλίσης ( $SL$ ) για την περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει τιμή  $SL = 128,35$  ( $\Delta H = 600\text{ m} - 580\text{ m} = 20\text{ m}$ ,  $\Delta L = 243,97\text{ m}$ ,  $L = 1565,81\text{ m}$ ) και η τιμή του δείκτη κλίσης για την περιοχή του ρήγματος Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι  $SL = 253,82$  ( $\Delta H = 140\text{ m} - 120\text{ m} = 20\text{ m}$ ,  $\Delta L = 472,18\text{ m}$ ,  $L = 5992,61\text{ m}$ ).

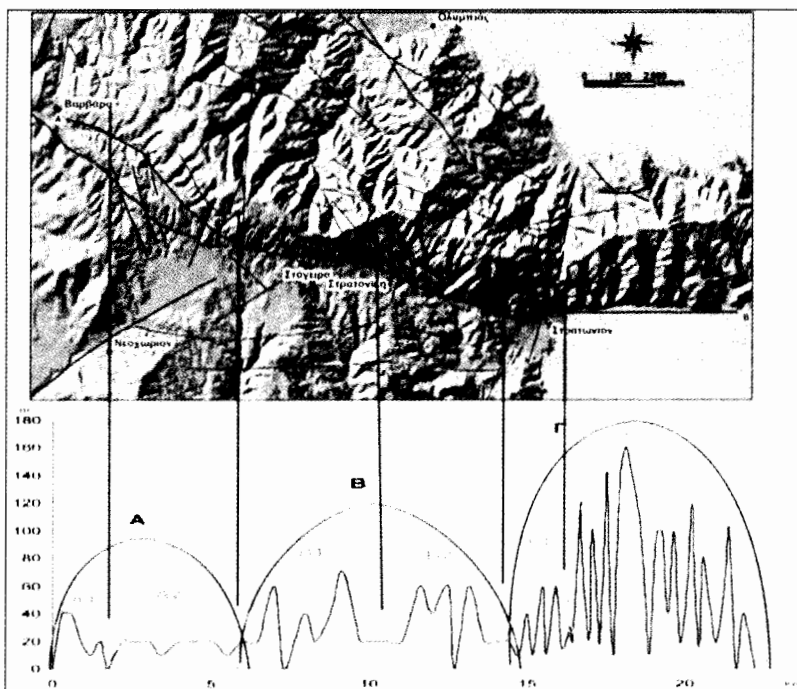
Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Στρατωνίου – Βαρβάρας (κύρια Λεκάνη 1, Σχ. 2) έχει τιμές περίπου 0,6 και έτσι χαρακτηρίζεται ως ασύμμετρη. Αντίθετα, ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας για τη λεκάνη Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας (κύρια Λεκάνη 2, Σχ. 2) έχει τιμές περίπου 0,2 και χαρακτηρίζει έτσι τη λεκάνη ως συμμετρική.

Τα αποτελέσματα του δείκτη  $V_f$  (λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος) παρουσιάζονται στους πίνα-

κες 3 και 4 για τις περιοχές των υπολεκάνων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου – Μ. Παναγίας αντίστοιχα. Οι πολύ μικρές τιμές που παρατηρούνται στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας 8, 13, 16 και 17 (Πίν. 3) και στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας 12 και 14 (Πίν. 4) δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

### 3.2 Μορφολογία των τεκτονικών πρηνών

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 25 km. Ωστόσο, το ύψος του πρηνούς δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του, πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation). Το καθαρό ύψος του πρηνούς φαίνεται στο Σχήμα 4 και οι θεωρητικές μορφολογίες των πρηνών σημειώνονται ως τόξα έλλειψης με βάση τα θεωρητικά μοντέλα ανάπτυξης των ρηξιγενών πρηνών. Με βάση τα παραπάνω, το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας χωρίστηκε σε τρία τμήματα (segments), ενώ το καθένα από αυτά μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο άλλα μικρότερα τμήματα (Σχήμα 4). Έτσι το τμήμα Α μπορεί να υποδιαιρεθεί σε άλλα δύο,



**Σχήμα 4.** Ύψος του πρानούς του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας και οι αντίστοιχες θεωρητικές μορφές του πρानούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων (κάτω).

το Α1 και το Α2 τα οποία ανήκουν ανήκουν στο ρήγμα της Βαρβάρας. Αντίστοιχα, τα τμήματα Β και Γ υποδιαιρούνται σε άλλα δύο υποτμήματα το καθένα (Β1-Β2 και Γ1-Γ2 αντίστοιχα). Το τμήμα Β είναι η συνέχεια του ρήγματος της Βαρβάρας έως το Στρατώνι και το τμήμα Γ είναι το τμήμα του ρήγματος του Στρατωνίου που ξεκινά από το οικισμό Στρατώνι και συνεχίζει υποθαλάσσια.

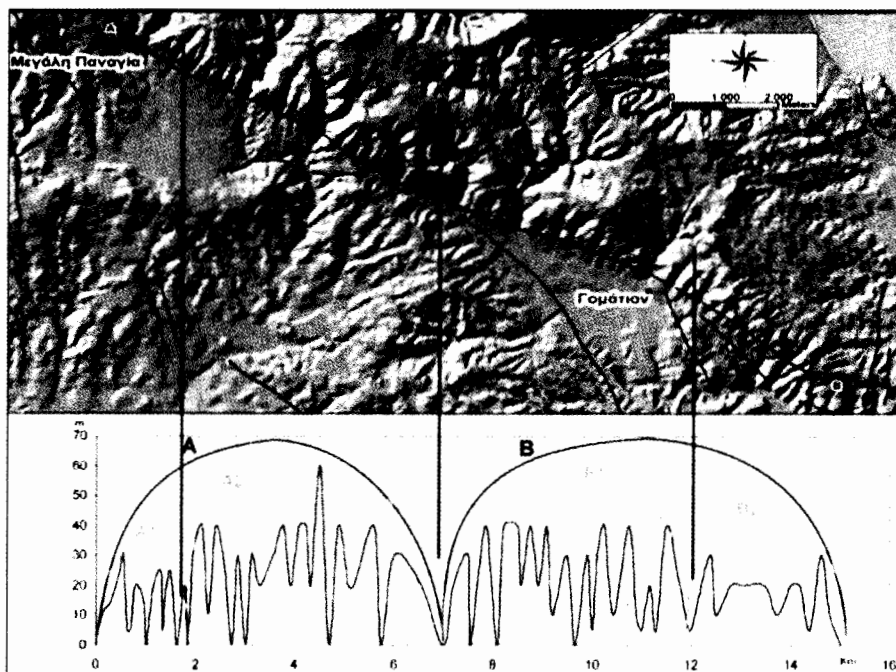
Αντίστοιχα, το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας μπορεί να διααιρεθεί σε δύο τμήματα (segments) σύμφωνα με το Σχήμα 5. Το τμήμα Α ξεκινάει από τη Μεγάλη Παναγία και έχει μήκος περίπου 7 km ενώ το τμήμα Β είναι το τμήμα του ρήγματος του Γοματίου με μήκος περίπου 8,5 km. Τα τμήματα Α και Β μπορούν να υποδιαιρεθούν σε άλλα δυο μικρότερα τα Α1-Α2 και Β1-Β2 αντίστοιχα.

#### 4. ΡΗΓΜΑ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ - ΒΑΡΒΑΡΑΣ

Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας είναι γενικά δυνατό να διαχωρισθεί σε δύο μεγάλα τμήματα

με βάση την γεωμετρία του: το ρήγμα του Στρατωνίου και το ρήγμα της Βαρβάρας.

Το ρήγμα Στρατωνίου είναι μία Α–Δ (Σχ. 6) γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής δομή μήκους μεγαλύτερου των 25 km (εκ των οποίων 15 km στην ξηρά). Το ρήγμα αυτό αποτελεί σε σημαντικό μήκος και το χαρτογραφικό όριο της κατώτερης ενότητας Κερδυλλίων με την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας και με το οφιολιθικό σύμπλεγμα Βόλβης – Γοματίου (Dixon & Dimitriadis 1984). Το ρήγμα διέρχεται από τα χωριά Στάγειρα, Στρατονίκη και Στρατώνι και στα Δυτικά φαίνεται να ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας, το οποίο λόγω αυτής της αλλαγής στην παράταξη διαφοροποιείται ως ένα ανεξάρτητο τμήμα ρήγματος (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει μετάπτωση του νότιου τεμάχου του και αποτελεί το προς Βορρά φυσικό όριο του Ακάνθιου κόλπου (κόλπος Ιερισσού), αφού διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμή-



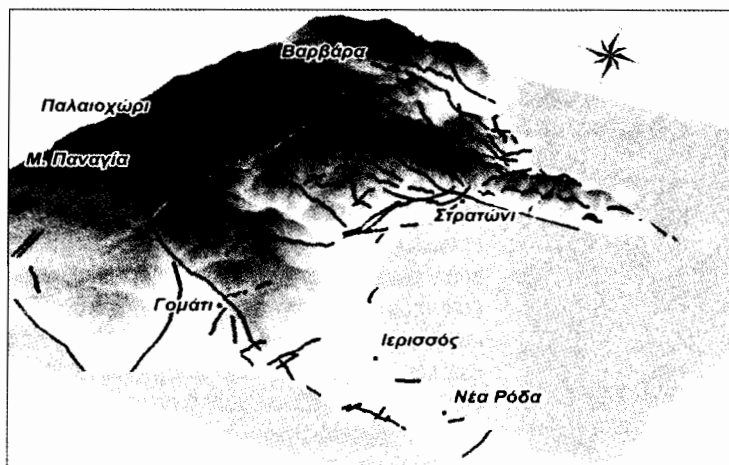
**Σχήμα 5.** Ύψος του πρανούς του ρήγματος Γομάτιου - Μεγάλης Παναγίας και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων (κάτω).

ματα: το βόρειο (footwall block) χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατωνικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου, το νότιο (hangingwall block), όπου αναπτύσσεται ένα χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο με εκτενές υδρογραφικό δίκτυο (Pavlidis & Tranos 1991). Στο ανατολικό τμήμα του ρήγματος (Σχ. 1), από το Στρατώνι έως τη θέση Λιβάδι, κατά μήκος της ακτής του Στρατωνίου και σε μία γενική διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ρήγματος (Α-Δ), χαρακτηριστικό του πρανούς είναι η παρουσία τριγωνικών κλιτύων (triangular facets) (Chatzipetros et al. 2004). Κατά μήκος του ρήγματος, και μόνο στο χώρο της άμεσης ζώνης αυτού, παρατηρούνται αρκετές, σημαντικές σε πάχος, τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχια από τα πετρώματα του υποβάθρου. Τέτοιες αποθέσεις όπως αυτές στο χώρο των οικισμών Σταγειρών και Στρατωνίου είναι πιθανό να δημιουργήθηκαν λόγω της νεοτε-

κτονικής δράσης του ρήγματος.

Το ρήγμα της Βαρβάρας αποτελεί την προς τα ΒΔ συνέχεια του ρήγματος Στρατωνίου, δυτικά του οικισμού Στάγειρα μέχρι και τον οικισμό Βαρβάρα. Παρουσιάζει όμως ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση γεγονός που μας επιτρέπει να το θεωρήσουμε ως ένα ιδιαίτερο ρήγμα ή τουλάχιστον τμήμα ρήγματος (fault segment) στη συνολική ρηξιγενή δομή, η οποία έχει ένα μήκος περί τα 25 km από το χωριό Βαρβάρα στα δυτικά έως τη νησίδα Ελευθέρωσης στα ανατολικά (Pavlidis & Tranos 1991). Το ρήγμα της Βαρβάρας με μήκος περίπου 6 km (Σχ. 1) και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διαμορφώνει μια μεγάλη κοιλάδα ή χαράδρα (ρέμα Ξηρόλακος), μετατοπίζοντας μάρμαρα και γνεύσιους της ενότητας των Κερδυλλίων, αλλά οριοθετώντας στα βόρεια το οφειολιθικό σύμπλεγμα της Βόλβης. Σε επιφάνειες του ρήγματος εντός του μαρμάρου εντοπίστηκαν ασβεστιτικές τεκτονικές αναβαθμίδες με ινώδεις ασβεστιτικές γραμμώσεις ολίσθησης,





**Σχήμα 6.** Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου και τα ρήγματα της Αν. Χαλκιδικής.

οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο φάσεις τεκτονικής παραμόρφωσης: μία αριστερόστροφης οριζόντιας μετατόπισης και μία νεότερη μεταπτωτική (Τρανός 1998). Παρατηρήθηκαν επίσης και γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιόριζαν μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης (νεότερη της αριστερόστροφης και παλαιότερη της κανονικής), όμως οι γραμμώσεις αυτές είναι ισχνές σε παρουσία και με μικρό μήκος ανάπτυξης, μην επιτρέποντας έτσι ασφαλή συμπεράσματα. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιορίζουν την αριστερόστροφη κίνηση είναι κυρίαρχες και χαρακτηρίζονται από μεγάλο μήκος ανάπτυξης. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης αυτές επικαλύπτονται από τις κανονικές γραμμώσεις, γεγονός που με ασφάλεια τις προχρονολογεί σε σχέση με τις τελευταίες (Τρανός 1998).

### 5. ΡΗΓΜΑ ΓΟΜΑΤΙΟΥ - ΜΕΓΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ

Το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας είναι μία ΒΔ–ΝΑ γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής δομή μήκους περίπου 15,5 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ. Συγκεκριμένα, η παράταξη του ρήγματος είναι Β130° με κλίση 65°ΝΔ, ενώ παρουσιάζει πλαγιοκανονικές αριστερόστροφες γραμμώσεις ολίσθησης με γωνία pitch 50°ΝΑ. Η συνολική ρηξιγενής γραμμή ξεκινάει από τον οικισμό Μεγάλη Παναγία (Σχ. 1 και 6) με διεύθυνση ΒΔ–ΝΑ, διέρχεται από τον οικισμό Γομάτι και ένα τμή-

μα του ρήγματος (fault segment) καταλήγει στην περιοχή Ξηροποτάμι με μήκος περίπου 15,5 km.

### 6. Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΟΥ 1932

Η κυριότερη τεκτονική δομή που δεσπόζει στην περιοχή μελέτης είναι το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας. Το ρήγμα συνδέεται με το σεισμό του 1932 μεγέθους  $M_s = 7.0$  (Papazachos & Papazachou 1997) ή  $M_s = 6.9$  (Ambraseys & Jackson 1998) (Βλέπε Χάρτες 1&2). Ο σεισμός είχε προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στην Ιερισσό και στο Στρατώνι, όπως ζημιές και καταρρεύσεις κτιρίων, εμφάνιση συν-σεισμικών διαρρήξεων, εδαφικές ρωγμές, καταπτώσεις βράχων, κατολισθήσεις, εδαφικές καθιζήσεις, διαταράξεις του φρεατίου ορίζοντα και της παροχής των πηγών, διαταράξεις των θερμών πηγών (Ν. Απολλωνία, Βόλβη), κυματοειδείς κινήσεις της θάλασσας (πιθανώς tsunami), σεισμικές βοές και φωτεινά φαινόμενα (Μαραβελάκης 1933, 1936, Φλωράς 1933, Georgalas & Galanopoulos 1953, Pavlides & Tranos 1991). Συγκεκριμένα στο Στρατώνι, με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές (Μαραβελάκης 1933), καταστράφηκαν και οι 105 κατοικίες. Κατά τον Φλωρά (1933) η εκκλησία που κατέρρευσε ολοσχερώς ήταν κτισμένη με άριστα υλικά και ελάχιστο πάχος τοιχοποιίας 0,80 m. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στην πτώση της κεντρικής καπνοδόχου των μεταλλείων και στην διακοπή της ηλεκτροδότησης. Άλλο σημα-



**Σχήμα 7.** Σεισμική διάρρηξη μεταξύ Στρατωνίου και Στρατονίκης (Από Georgalas & Galanopoulos 1953) με τη μέγιστη παρατηρηθείσα κατακόρυφη μετατόπιση (1.8-2.0m) σε σχετικά χαλαρά κορήματα.

ντικό αποτέλεσμα του σεισμού ήταν η στρέβλωση των σιδηροτροχιών στη θέση Decauville, η εμφάνιση μεγάλου μήκους διαρρήξεων (12 km μήκος) και οι ανατροπές πολύ βαριών αντικειμένων. Τα παραπάνω αποτελέσματα της σεισμικής δόνησης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μακροσεισμικό επίκεντρο του σεισμού ήταν το Στρατώνι και όχι η

Ιερισός. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα της σεισμικής δόνησης ήταν το άνοιγμα ενός "χάσματος" (επιφανειακή εμφάνιση σεισμογόνου ρήγματος) σε μήκος 7 km από το Στρατώνι μέχρι τα Στάγειρα και στη συνέχεια μέχρι την τοποθεσία Πιάβιτσα συνολικά 12 km. Κατά τους Pavlides & Tripos (1991) οι επιφανειακές εκδηλώσεις ξεπερνούν τα 15 km συμπεριλαμβανομένης και της διάρρηξης στις ακτές της χερσονήσου μέχρι το ακρωτήριο Ελευθέρας. Σε πολλά σημεία το "χάσμα" είχε πλάτος έως και 2 m και βάθος έως 10 m (Σχ. 7) με γενική διεύθυνση Α-Δ έφθανε, παράλληλα προς αυτό είχαν αναπτυχθεί δευτερεύουσες εδαφικές ρωγμές μικρότερου μεγέθους. Τα στοιχεία των Georgalas & Galanopoulos (1953) αναφέρονται σε 3 - 4 m κατακόρυφων μετατοπίσεων και 0.6 - 4 m ανοίγματα (heaves), δεν θεωρούνται όμως συν-σεισμικές διαρρήξεις, αλλά τοπικές σε χαλαρές αποθέσεις (φυσικές ή τεχνητές) που οφείλονται στη δόνηση και τη βαρύτητα. Ακόμα παρουσιάστηκαν σε πολλές περιοχές καθιζήσεις.

Υποθαλάσσια τεκτονική βύθιση μετρήθηκε από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Β. Ναυτικού (1932, Πλωτάρχης Γολέμης, Α' Πλοίαρχος Χρυσάνθης Α.), κοντά στην αποβάθρα του Στρατωνίου 1.10 - 1.40 m και κατά τον Φλωρά (1933) 1.60 m. Οι τιμές αυτές, για επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμογόνου ρήγματος (co-seismic), θεωρούνται ρεαλιστικές και ακριβείς και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των



**Σχήμα 8.** Χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου με κόκκινο χρώμα ορίζεται το γεωλογικό ρήγμα του Στρατωνίου και με μπλε οι κύριες εδαφικές ρωγμές κατά το σεισμό του 1932.,

προηγούμενων ερευνητών υιοθετούνται στην παρούσα μελέτη τιμές: για τη μέγιστη συν-σεισμική κατακόρυφη μετατόπιση του σεισμού του 1932 : MD = 1,80 m και μέση AD = 0,30 m (Wells & Corpersmith (1994), Ambraseys & Jackson 1998; Pavlides et al. 2000, Pavlides & Caputo 2004).

Η θάλασσα εισχώρησε μονίμως στην ξηρά 5-10 m (μετρήσεις στην σκάλα αποβίβασης και την παραλία Στρατωνίου) και παρατηρήθηκε μικρό θαλάσσιο σεισμικό κύμα (tsunami). Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι το επίκεντρο του σεισμού ήταν υποθαλάσσιο και κατά συνέπεια το ρήγμα επεκτείνεται στο θαλάσσιο χώρο ανατολικότερα. Επίσης ενδιάφερον στοιχείο αποτελεί ότι σε μία θέση (?) μεταξύ Στρατωνίου - Μαδέμ Λάκκου το ρήγμα διακλαδιζόταν σε 4 μικρούς κλάδους, δηλαδή αναπτύχθηκε σε μία ευρύτερη ζώνη, ένας κλάδος εκ των οποίων διέσχιζε αγροτική οικία χωρίς να έχει καταρρεύσει, ενώ ένας άλλος κλάδος κατέστρεψε ολοσχερώς μικρή γέφυρα. Ως συνέπεια του ρήγματος και της καθίζησης κατέπεσε ένας πλάτανος (Φλωράς 1933). Στο Μαδέμ-Λάκκο και συγκεκριμένα στην τότε πλατεία συγκεντρώσεως του μεταλλεύματος, η «κύρια» ρωγμή διέσχισε την θεμελίωση του κτιρίου στο οποίο γινόταν η φόρτωση των βαγονιών της εναέριου γραμμής. Το προϋπάρχον κτίσμα, παρόλο που ήταν κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από χυτοσίδηρο, κόπηκε στα δύο και παρουσίασε στο μέσον της θεμελίωσής του μικρή ολίσθηση. Σύμφωνα με το συγγραφέα αυτή προκλήθηκε εξαιτίας της ύπαρξης ενός στρώματος σχιστόλιθου (?). Άλλα αποτελέσματα του σεισμού ήταν η στρέβλωση των σιδηροδρομικών γραμμών Decauville, και η δημιουργία "χάσματος" στη θέση Λίτα Ρέκα (επί προσχώσεων) (Σημερινή θέση Πλατεία φόρτωσης – εκφόρτωσης μπροστά στη Στοά 216).

## 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής (Κατάλογος σεισμών M > 5,5 σε απόσταση 100 km με κέντρο το Μαντέμ Λάκκο και για χρονικό διάστημα 52 μ.Χ. - 2000, Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ.) για την εκτίμηση των μεγεθών των ιστορικών σεισμών (Parazachos

& Parazachos 1997) προκύπτουν τιμές για τους συντελεστές της σχέσης των Gutenberg & Richter  $\log N_k = a_k - bM_s$ :

$a = 3,31$  (αηγγμένο για ένα χρόνο) και

$b = -0,73$ , όπου  $N_k$  = αριθμός σεισμών και  $M_s$  = επιφανειακό μέγεθος σεισμού (surface Magnitude), και  $\eta$  (T) μέση περίοδο επανάληψης (mean return period) σεισμού  $M > 7,0$  είναι 63 χρόνια. Η τιμή αυτή αφορά πιθανότητα γένεσης σεισμού στην ευρύτερη περιοχή σε απόσταση 100 km από Στρατωνί-Μαδέμ-Λάκκο, όπου περιλαμβάνονται και σημαντικές σεισμικές πηγές όπως Τάφος Βορείου Αιγαίου, Άθως, Μυθονία, Στρυμωνικός κόλπος, ρήγμα Γοματίου. Για τη στενότερη γειτονία του ρήγματος Στρατωνίου και για αριθμό σεισμών ( $N_k$ ) μέχρι 30 km από τη θέση Chevalier οι αντίστοιχες τιμές είναι:

$a = 4,14$ ,  $b = -0,94$ ,  $T = 275$  χρόνια (μέση περίοδος επανάληψης για σεισμό  $M = 7,0$ )

και το μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού εκτιμάται σε :  $M_{max} = 7.11 + 0.36$ .

Κατά την αιτιοκρατική (deterministic) προσέγγιση της εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας (SHA) γίνεται η αξιωματική παραδοχή της γένεσης ενός σεισμού συγκεκριμένου μεγέθους ( $M_{s_{max}} = 7.0$ ), στο πλαίσιο του μοντέλου του χαρακτηριστικού σεισμού (Characteristic earthquake), που συνδέεται με το ρήγμα Στρατωνίου (Σεισμός Σχεδιασμού-Controlling or design earthquake), αντίστοιχος του 1932. Από τα γεωλογικά δεδομένα (Pavlides & Tranos 1991, χαρτογράφηση ρήγματος Σταγειρών-Στρατωνίου 1:5.000, αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:12.000, Γεωλογικός Χάρτης T.V.X. 1:20.000 Cepeda A. 1999), τα στοιχεία του σεισμού του 1932 (Maravelakis 1933, 1936, Φλωράς 1932, Georgalas & Galanopoulos 1953, προσωπικές πληροφορίες, Υδρογραφική Υπηρεσία Ναυτικού 1932 και στοιχεία της εταιρίας Λιπασμάτων), την εκτίμηση των δεδομένων που παραχωρήθηκαν από την T.V.X. (γεωτρήσεις, αεροφωτογραφίες, χάρτες κλπ) και τη μορφοτεκτονική ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτει ότι:

- Το ίχνος του ρήγματος σε πολλές θέσεις δεν είναι σαφώς ορατό, λόγω της έντονης αν-

θρωπογενούς δραστηριότητας.

- Είναι κανονικό (normal) ρήγμα. Το βόρειο ορεινό τμήμα της περιοχής αποτελεί τη βάση (footwall) και το νότιο την οροφή (hanging wall).
- Παρουσιάζεται με κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 50° και ή 70°, με μέση κλίση 60°.
- Άλλα πιθανά δευτερεύοντα ρήγματα (ζώνη ρήγματος Στρατωνίου), που ανιχνεύθηκαν με τις γεωτρήσεις, εκτείνονται παράλληλα με το κυρίως ρήγμα, χωρίς επιφανειακή έκφραση, και σε απόσταση από αυτό 100-300 m, στην οροφή του ρήγματος (hanging wall).
- Γενικά το ρήγμα Στρατωνίου (χωρίς τον κλάδο της Βαρβάρας) εκτείνεται 12-15 km στην ξηρά και επεκτείνεται ανατολικότερα-υποθαλάσσια σε άλλα ~15 km γεωλογική επιφανειακή σεισμογενετική δομή συνολικά 30 km. Ως σεισμογενετική δομή (σεισμικό ρήγμα - seismogenic structure) βάρους έχει μεγαλύτερο μήκος της τάξης των 50 km.

Η μέγιστη αναμενόμενη κατακόρυφη μετατόπιση είναι MD=1.80 m και η μέση AD=0.30m (Ambraseys & Jackson 1998; Pavlides et al., 2000; Pavlides & Caputo 2004).

Θεωρώντας ως πιθανή σεισμική πηγή το ρήγμα

μα Στρατωνίου, με διαστάσεις 30 km x 10 km και κλίση (dip) 60° (50°-70°), και τις εμπειρικές σχέσεις μήκους ρήγματος (SRL), κατακόρυφης μετατόπισης (MD και AD) σε συνάρτηση με το μέγεθος (Ms or Mw), των:

Για τη εκτίμηση του σεισμικού δυναμικού των γεωλογικά χαρτογραφημένων ρηγμάτων της περιοχής μελέτης (Σχ. 8), χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παρακάτω σχέσεων:

a) Wells & Coppersmith (1994), (Κανονικά ρήγματα, παγκόσμια δεδομένα):

$$M_w = 4.86 (+0.34) + 1.32 (+0.26) \log(L)$$

$$M_w = 6.61(+0.09) + 0.71(0.15) \cdot \log(MD)$$

$$M_w = 6.78(+0.12) + 0.65(0.25) \cdot \log(AD)$$

Mw : Moment Magnitude

b) Ambraseys & Jackson (1998), (Κανονικά ρήγματα, δεδομένα Ανατολικής Μεσογείου):

$$M_s = 1.14 \log(L) + 5.13$$

$$M_s = 0.78 \log(MD) + 5.21$$

c) Pavlides & Caputo (2004), (Κανονικά ρήγματα, ευρύτερη περιοχή Αιγαίου):

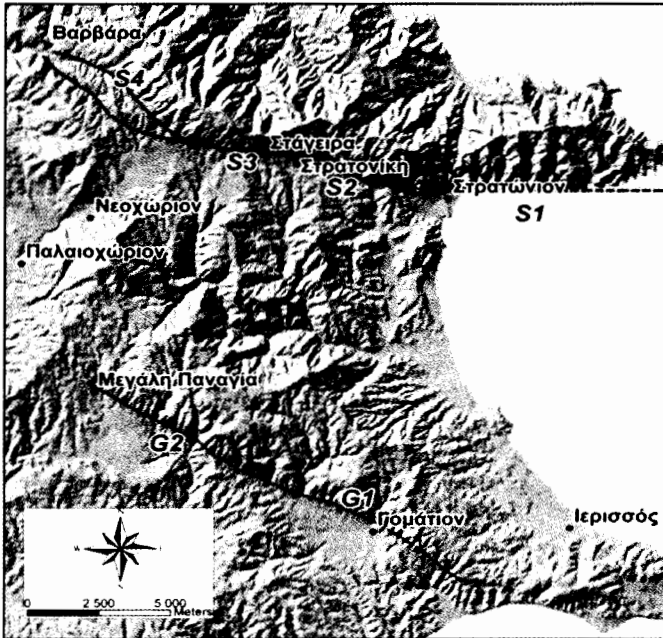
$$M_s = 5.48 + 0.9 \log(L)$$

$$(M_s = 1.42 \log(L) + 4.36 \text{ και } M_s = 1.21 \log(L) + 5.48)$$

από τις οποίες συμπερασματικά καταλήγουμε σε μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος για το ρήγμα

**Πίνακας 5.** Πίνακας με τα αποτελέσματα μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού των σχέσεων των Wells & Coppersmith (1994), Ambraseys & Jackson (1998) και Pavlides & Caputo (2004)

	Μήκος Ρήγματος σε km	Wells & Coppersmith (1994) Mw	Ambraseys & Jackson (1998) Ms	Pavlides & Caputo (2004) Ms
ρήγμα Βαρβάρας - Στρατωνίου	30	6.8 (6.1- 7.5)	6.8	6.8 (6.3- 7.5)
ρήγμα Βαρβάρας (S4)	6	5.9(5.3- 6.4)	6.0	6.2(5.5,-6.4)
ρήγμα Στρατωνίου (S1,2,3)	20	6.6(5.9- 7.3)	6.6	6.7 (6.2,-7.1)
S3	6	5.9(5.3-6.4)	6.0	6.2(5.5,-6.4)
S2	4	5.7(5.2,6.2)	5.8	6.0(5.2,-6.2)
S1	10	6.2(5.6- 6.8)	6.3	6.4(5.8,-6.7)
S(1, 2, 3, 4)	20	6.7(6.0-7.4)	6.7	6.8(6.4,-7.2)
MD=1.8m		6.8	6.9	6.9
ρήγμα Μ. Παναγίας - Γοματίου	15.5	6.4(5.8, 7.1)	6.5	6.6(6.1, 6.9)
G1	9	6.1(5.5, 6.7)	6.2	6.3(5.7, 6.6)
G2	6.5	5.9(5.4, 6.5)	6.1	6.2(5.5, 6.5)



Σχήμα 9. Χάρτης των ρηγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα 5.

Στρατωνίου :  $M_{max} = 7.0$ , μέγιστη μετατόπιση  $MD = 2m$ , μέση μετατόπιση  $AD = 1m$ .

Η πιθανότητα γένεσης ενός σεισμού είναι 1 σε όλα τα σημεία κατά μήκος του ρήγματος.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας της σεισμικής επικινδυνότητας αποτελεί η εδαφική επιτάχυνση που δημιουργείται σε απόσταση  $d$  από την πιθανή σεισμική πηγή (ρήγμα Στρατωνίου) και μεγέθους  $M_s = 7.0$ , εστιακού βάθους  $h = 10$  km και σε μικρές αποστάσεις το γεωλογικά χαρτογραφημένο ρήγμα (ζώνη  $R = 200m$ ), όπου  $r = (d^2 + h^2)^{1/2}$  σε km και η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση  $a$  (σε g), για τους επιφανειακούς σεισμούς του ευρωπαϊκού χώρου δίνεται από τη σχέση των Ambraseys & Bommer (1991) :  $\text{Log}(a) = -0.87 + 0.217(M_s) - \log(r) - 0.00117(r)$  και προκύπτει  $a = 0.45$  g, η οποία σε πρώτη προσέγγιση θεωρείται ικανοποιητική.

Μια περαιτέρω εκτίμηση της εδαφικής επιτάχυνσης στη συγκεκριμένη ζώνη και ίσως ακριβέστερη, θα έπρεπε να πάρει υπόψη ύψος, πλάτος, βάρος γνωστών αντικειμένων που ανετράπησαν στο σεισμό του 1932 («αντίστροφη» ανάλυση α-στοιχών - αριθμητική προσομοίωση, numerical

analyses-simulation), τη γεωμετρία του ρήγματος (stepping στο Βαθύλακκα – bright spots κ.α) καθώς επίσης το είδος των υλικών δόμησης.

Αν και η αιτιοκρατική Ανάλυση Σεισμικής Επικινδυνότητας είναι μια απλή διαδικασία όταν εφαρμόζεται σε κατασκευές των οποίων η κατάρρευση θα είχε ευρύτερα καταστροφικά αποτελέσματα, παρέχει όμως ένα ακριβές πλαίσιο εργασίας για τον υπολογισμό του χειρότερου δυνατού σεναρίου (worst case scenario).

Τα μεγέθη των μεγάλων σεισμών που έγιναν στη περιοχή, σύμφωνα με τα μήκη των ρηγμάτων, έχουν φτάσει τη μέγιστη δυναμικότητά τους (σεισμός Ιερισσού 1932, Αρναίος 1995 κ.α.). Από την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, με γεωλογικά δεδομένα, προκύπτει ότι η δυναμικότητα των ρηγμάτων σε μεγέθη αναμενόμενων ισχυρών σεισμών, ανεξαρτήτως περιόδου επανάληψης, κυμαίνεται από  $M = 6.0$  έως  $M = 6.9$ .

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται πλήθος νεοτεκτονικών ρηγμάτων τα οποία έχουν ιδιαίτε-

ρα σημαντική μορφολογική έκφραση. Τα ρήγματα αυτά διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ανάγλυφου, ιδιαίτερα τα ρήγματα του Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

Οι τιμές των μορφοτεκτονικών δεικτών δείχνουν ότι τόσο το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας όσο και το ρήγμα Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας, διαμορφώνουν ένα νέο γεωανάγλυφο και χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα, δυνητικά για να δώσουν σεισμούς στο μέλλον, ανεξαρτήτως χρόνου.

Από την ποσοτική ανάλυση των μορφοτεκτονικών δεικτών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης διαπιστώθηκε ότι το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, ενώ το ρήγμα Γοματίου-Μεγάλης Παναγίας αποτελείται από δύο κύρια τμήματα.

Η υπαίθρια παρατήρηση των ρηγμάτων και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών, συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων και παρουσιάζουν σεισμική δραστηριότητα. Τα μεγέθη των μεγάλων σεισμών που έγιναν στη περιοχή, σύμφωνα με τα μήκη των ρηγμάτων, έχουν φτάσει τη μέγιστη δυναμικότητά τους. Από την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, με σεισμολογικά και γεωλογικά δεδομένα, προκύπτει ότι η σεισμική δυναμικότητα των ρηγμάτων είναι της τάξης μέγεθους που κυμαίνεται από  $M_s = 6,0$  έως  $M_s = 7,1$ .

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ambraseys, N. & Bommer, J. (1991). "The attenuation of ground accelerations in Europe". *J. Earthq. Eng. & Struct. Dyn.* 20, 1179 - 1202.
- Ambraseys, N. & Jackson, J. A. (1998). "Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region". *Geophysical Journal International*, vol. 133, p. 390 - 406.
- Cepeda, A., 1999. "General Geological Map of Kassandra". T. V. X. HELLAS EXPLORATION GEOLOGY AND MINING PROPERTY Dept. Scale, 1: 20000 Revision Date: 24/07/1999.
- Chatzipetros A., Keramydas D., Michailidou A., Tsapanos Th. and Pavlides S., 2004. «Morphotectonics and seismic potential of Stratonii active fault (Chalkidiki, Northern Greece)». 4th National Geophysical Conference, Sofia. pp.58-60.
- Georgalas, G. and Galanopoulos, A. (1953). «Das Grosse Erdbeben Der Chalkidike Vom 26 September 1932». *Bull. Geol. Soc. Greece*, 1, (1953-58).
- Dixon, J. E. & S. Dimitriadis. 1984. «Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbomacedonian Massif, near Lake Volvi, North-east Greece». *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 17, 603-618.
- Keller, a. E., Pinter, N. Active tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey -pp. 377. (Second Edition 2002).
- Pavlides S. & Caputo R. (2004). Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean region, *Tectonophysics*, 380, 159-188.
- Pavlides, S. & Kiliias, A. 1987. «Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)», *Annales Tectonic*, Vol. I- n. 2: 97-104.
- Pavlides, S. B. & M. D. Tranos. 1991. «Structural characteristics of two Strong earthquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios Efstratios (1968)». *J. Struct. Geol.* 13, 2:205-214.
- Pavlides S., Caputo R. & Chatzipetros A. (2000). Empirical relationships among earthquake magnitude, surface ruptures and maximum displacement in the broader Aegean region, In: Panayides I., Xenophontos C. & Malpas J. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean*, Nicosia, Cyprus, 23-26 September 1998, 159-168.
- Wells, D. L., & Coppersmith, J. K., (1994). "New empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement". *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 84, p. 974 - 1002.
- Γ. Υ. Σ., (1983, 1982, 1970, 1982). Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000, Αθήνα.

- Δημητριάδης, Σ. 1974. «Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας – Ασπροβάλας, Σταυρού – Ολυμπιάδος», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- I. Γ. Μ. Ε., 1978. Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000, Αθήνα.
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1933). «Οι Γεωλογικοί και Μακροσεισμικοί Χαρακτήρες Των Σεισμών Της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Ο. Θεοδωρίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1936). «Σπουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής». Τυπογραφείο Κ Θεωδωρίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ, 43pp.
- Μιχαηλίδου Α (2005). «Μορφοτεκτονική ανάλυση με την χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) και μικροτεκτονική των ρηγμάτων Στρατωνίου – Βαρβάρας και Γοματίου (Ανατολική Χαλκιδική)». Α.Π.Θ. Διατριβή Ειδικεύσης.
- Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α., Παυλίδης Σ. (2005). Ποσοτική ανάλυση - Μορφοτεκτονικοί δείκτες για τις περιοχές των ρηγμάτων Στρατωνίου-Βαρβάρας και Γοματίου-Μεγάλης Παναγίας (Ανατολική Χαλκιδική. 1ο Συνέδριο της Επιτροπής Γεωμορφολογίας, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2005. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρίας, XXXVII (37), 127-142 (παρών τόμος)
- Μουντράκης, Δ.1985. «Γεωλογία της Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΙΣ ΤΟΜΟΣ, XXIV. Σελ. 321. Δεκέμβριος 1932.
- Οικονομίδης, Δ.2000. «Συμβολή της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S.) στη γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της Β.Α. Χαλκιδικής», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 3-20.
- Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ., 2002. Οι σεισμοί της Ελλάδας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, σελ. 320
- Παυλίδης Σ., 2003. «Γεωλογία των Σεισμών», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Τρανός, Μ. 1998. «Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και του βόρειου Αιγαίου», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ.15-20, 212-226.
- Χατζηπέτρος, Α. 1998. «Παλαιοσεισμολογική-Μορφοτεκτονική μελέτη και Μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων, Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης-Γρεβενών», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 118-128.
- Φλωράς, Δ. (1933). 'Καταστροφαι εκ των σεισμών της Χαλκιδικής και τα εξ αυτών πορίσματα'. Τεχνικά Χρονικά 1η Ιανουαρίου 1933 Αριθμός 25 Β'//ΙΙ

## EXTENDED ABSTRACT

### **MORPHOTECTONICS AND SEISMOTECTONICS OF THE STRATONI-BARBARA AND GOMATI-MEGALI PANAGIA ACTIVE FAULT (EASTERN CHALKIDIKI, NORTHERN GREECE).**

**Chatzipetros A.<sup>1</sup>, Michailidou A.<sup>1</sup>, Tsapanos, Th.<sup>2</sup>, Pavlides S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Geology, <sup>2</sup> Dept. of Geophysics, Aristotle University, 54124, Thessaloniki, Greece, (ac@geo.auth.gr),

At this paper the neotectonic active faults of the broader area of eastern Chalkidiki have been studied. We have studied the main faults of Stratonii - Barbara and Gomati - M. Panagia, which dominate the area, with the contribution of cartography, digital elevation models, drainage patterns analysis and the morphotectonic indices like drainage basin asymmetry, mountain front sinuosity, knick points and stream length-gradient index.

The Stratonii active fault is a typical normal structure, which strikes N90-110°, dips 60-50° SSW and the striation pitch angle is 70-80° E (rake) located at the eastern part of Chalkidiki peninsula in northern

Greece. It extends for about 15km on land and possibly 10-15km eastern submarine. It is an old fault, associated with the intrusion of Stratoní granodiorite ( $27.9 \pm 1.2$  Ma) and several other magmatic bodies, which are hosting significant Pb-Zn-Ag-Au ores. as well it shows typical morphotectonic characteristics as they derived quantitatively (digital elevation models, drainage patterns, and the morphotectonic indices like drainage basin asymmetry, mountain front sinuosity, knick points and stream length-gradient index). It divides the area geomorphologically into two different regions: the northern (mountains-footwall) and the southern (hills-hanging wall). Stratoní fault can be divided into three main segments, on the basis of structural characteristics and geomorphological expression. It is also associated with the large 1932 Ierissos earthquake, of magnitude  $M_s=6.9-7.0$ , which caused widespread damages, as well as extensive surface rupturing. Following the original description from the