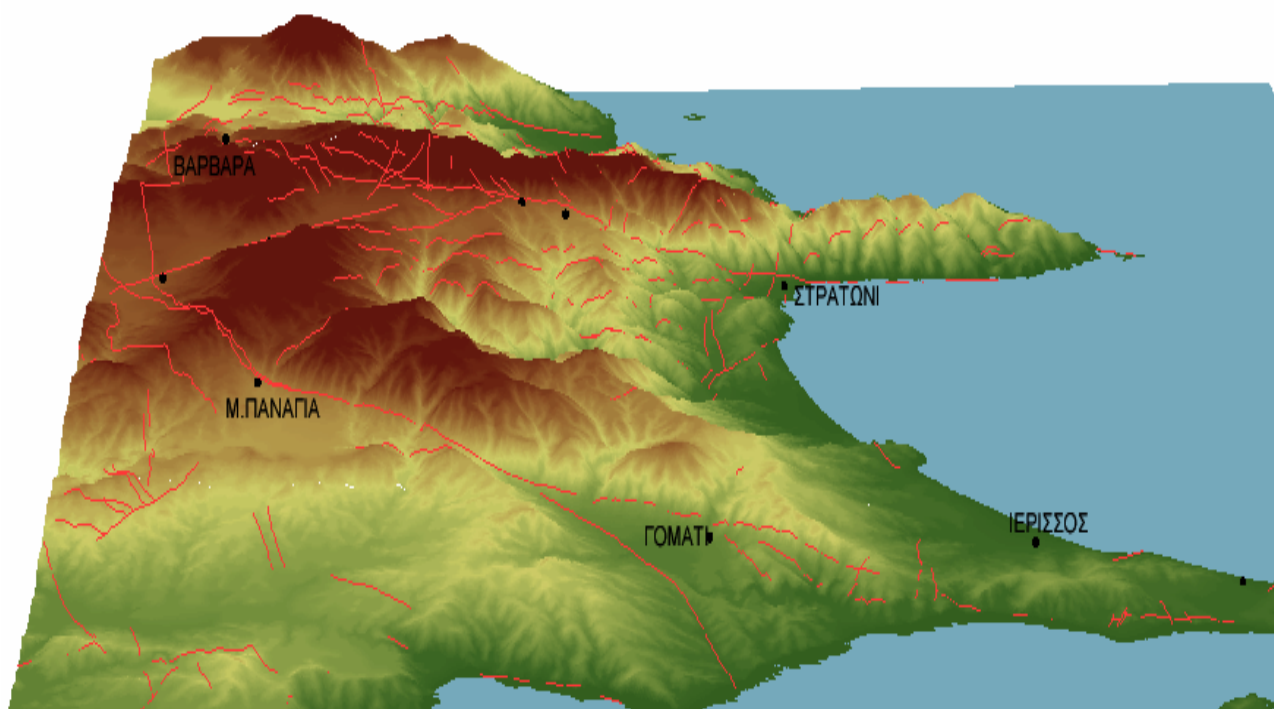


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΚΛΑΔΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ: ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (G.I.S.)
ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ-
ΒΑΡΒΑΡΑΣ ΚΑΙ ΓΟΜΑΤΙΟΥ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ)**



ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1 Γενικά	10
2 Γεωγραφική Θέση	11
3 Τα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)	14
3.1 Τα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.) γενικά	14
3.2 Τα συστατικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος πληροφοριών (G.I.S.)	15
3.3 Η δομή των δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)	16
3.4 Το ArcGIS Desktop	17
3.5 Μεθοδολογία	18
3.6 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM).....	19
3.7 Υπολογισμός λεκανών απορροής	19
4 Γεωλογική δομή και σχηματισμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης	21
5 Τεκτονική - Νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης	27
5.1 Γεωλογία – Τεκτονική	27
5.2 Νεοτεκτονική.....	28
5.3 Ρήγμα Στρατωνίου.....	32
5.4 Ρήγμα Βαρβάρας.....	35
5.5 Ρήγμα Γοματίου.....	35
6 Μικροτεκτονική	37
6.1 Μικροδομές της ρηξιγενούς τεκτονικής.....	37
6.2 Πτεροειδείς ρωγμώσεις ή πτεροειδείς διακλάσεις	37
6.3 Παρατηρήσεις – Μετρήσεις Υπαίθρου.....	44
6.4 Συμπεράσματα	52
6.5 Γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης.....	52
6.6 Δείγματα	54
6.7 Πετρώματα ρηξιγενών ζωνών	59
6.7.1 Εύθραυστη παραμόρφωση	60
6.7.2 Ημι-εύθραυστη παραμόρφωση	61
6.8 Παρατηρήσεις μικροσκοπίου	62
7 Σεισμοτεκτονική – Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα	66
7.1 Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου	66
7.2 Σεισμοτεκτονική της περιοχής μελέτης	69
7.3 Σεισμικότητα περιοχής μελέτης	72
7.3.1 Ο σεισμός του 1932.....	75
7.4 Σεισμική επικινδυνότητα	78
7.4.1 Γενικά.....	78
7.4.2 Σχέσεις εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας.....	79
7.4.3 Υπολογισμός Σεισμικού Δυναμικού	79
8 Υδρογραφικό δίκτυο	81
9 Μορφολογικά χαρακτηριστικά	84
9.1 Γενικά	84
9.2 Μορφολογικοί δείκτες	87
9.2.1 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα	87
9.2.2 Ασυμμετρία λεκάνης απορροής.....	105
9.2.3 Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών	112
9.2.4 Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου – δείκτης κλίσης) ...	124
9.2.5 Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας.....	128
9.2.6 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος	132
9.2.7 Μορφοτεκτονική του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας.....	134
9.2.8 Μορφοτεκτονική του ρήγματος Γοματίου.....	137
10 Παράρτημα - Παρατηρήσεις – μετρήσεις υπαίθρου	140
11 Συμπεράσματα.....	146
12 Βιβλιογραφία	148

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης. Διοικητική υπαγωγή της περιοχής μελέτης.	13
Σχήμα 2. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: μεταλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: σειρά του Βερτίσκου, 3: σειρά των Κερδυλλίων, 4: μάζας της Ροδόπης, 5: Περιροδοπική ζώνη, 6: ανατονικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμώνα) και 7: δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης 1985).	21
Σχήμα 3. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής (Kockel and Mollat 1977, τροποποιημένος από τους Καλογερόπουλο κ.α. 1987).	24
Σχήμα 4. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τόσο τα πετρώματα όσο και τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση του 1:50.000 Γεωλογικού χάρτη (φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.	25
Σχήμα 5. Χάρτης του Ελληνικού χώρου με του μέγιστους άξονες εφελκυσμού από το Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο (από Kilias et al. 1999).	27
Σχήμα 6. Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου, και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίστηκαν από σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη) και από τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη) (από Mountrakis et al., 2004).	29
Σχήμα 7. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο (DEM) με τις επιφανειακές εμφανίσεις ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των Γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός και Στρατονίκη, (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, κλίμακα: 1:50.000) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.	30
Σχήμα 8. Νεοτεκτονικός χάρτης, με τα κυριότερα ρήγματα της περιοχής κεντρικής Χαλκιδικής - Ανατολικής Θεσσαλονίκης και αντιπροσωπευτικά στερεοδιαγράμματα με το είδος της κίνησης (Pavlidis & Kilias 1987).	31
Σχήμα 9. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο (DEM) με τις εμφανίσεις ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των χαρτών α) "General Geological Map of Kassandra". (Cepeda, A. 1999 Scale, 1:20.000), β) Νεοτεκτονικός χάρτης φύλλο Ροδολίβος (Μουντράκης et al., 1994, κλίμακα: 1:100.000) και γ) Γεωλογική χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός και Στρατονίκη, (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, κλίμακα: 1:50.000) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.	32
Σχήμα 10. Διακρίνονται τα 'triangular facets' κατά μήκος της ακτής.	34
Σχήμα 11. Τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχια από τα πετρώματα του υποβάθρου.	34
Σχήμα 12. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) με δορυφορική εικόνα για την περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας.	34
Σχήμα 13. Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου (TIN) της περιοχής Μεγάλη Παναγία – Γοματίου.	36
Σχήμα 14. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (DEM) με δορυφορική εικόνα για την περιοχή του ρήγματος Γοματίου – Μ. Παναγίας.	36
Σχήμα 15. Διάφορες μορφές πτεροειδών διακλάσεων (Κίλιας 1998).	38
Σχήμα 16. Διάφορες μορφές εμφάνισης πτεροειδών ρωγμών σε διάταξη en echelon. Α: μη παραμορφωμένες, Β: σιγμοειδείς, Γ: μεταγενέστερα διαρρηγμένες, Δ: συνδεδεμένες- συζυγείς, Ε: Συζυγείς μεταγενέστερα μετατοπισμένες (Κατά Mattauer 1973).	38
Σχήμα 17. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	39
Σχήμα 18. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	39
Σχήμα 19. Ημιπτεροειδής ρωγμώσεις. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	40
Σχήμα 20. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας πτεροειδούς διάκλασης. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	40
Σχήμα 21. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε μία σειρά en echelon των πτεροειδών διακλάσεων. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	40
Σχήμα 22. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).	40
Σχήμα 23. Ο τύπος-1, ο τύπος-2, ο τύπος-3 καθώς και οι συγκλίνων και αποκλίνων μορφές των διακλάσεων (κατά Smith 1996).	41
Σχήμα 24. Τριγωνικά διαγράμματα (κατά Srivastava 2000).	42
Σχήμα 25. Κατά Smith 1996.	43
Σχήμα 26. Κατά Smith 1996.	43
Σχήμα 27. Από Κουκούβελα (1998).	44
Σχήμα 28. Θέση Εικόνας 1.	45
Σχήμα 29. Σιγμοειδείς πτεροειδείς ρωγμώσεις του συστήματος 1.	46
Σχήμα 30. Πόλοι (+) πτεροειδών ρωγμώσεων. Κανονικό ρήγμα (.)	49
Σχήμα 31. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Κανονικό ρήγμα (.), παράταξη διακλάσεων (array) (+). $\sigma_1=136/62$ ΝΑ, $\sigma_2=350/24$ ΒΔ, $\sigma_3=252/14$ ΝΔ.	49

Σχήμα 32. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Κανονικό ρήγμα (.), παράταξη διακλάσεων (array) (+). $\sigma_1=138/70$ ΝΑ, $\sigma_2=337/17$ ΒΔ, $\sigma_3=245/5$ ΝΔ.	50
Σχήμα 33. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Παρατάξεις διακλάσεων (arrays) (+). $\sigma_1=347/70$ ΒΔ, $\sigma_2=176/20$ ΝΑ, $\sigma_3=84/4$ ΒΑ.	50
Σχήμα 34. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Παρατάξεις διακλάσεων (arrays) (+). $\sigma_1=129/79$ ΝΑ, $\sigma_2=356/8$ ΒΔ, $\sigma_3=266/7$ ΝΔ.	51
Σχήμα 35. Ανάλυση πτεροειδών ρωγμών, των συστημάτων 1, 2, 3 και 4, σε στερεογραφική προβολή. Πόλοι (*) πτεροειδών ρωγμών.	51
Σχήμα 36. α) Ρηξιγενείς επιφάνειες και δημιουργία γραμμώσεων ολίσθησης με αναβαθμίδες, β) Ρηξιγενείς επιφάνειες με γραμμώσεις ολίσθησης.	53
Σχήμα 37. Γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (από Παυλίδη & Μουντράκη (1986)).	53
Σχήμα 38. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	55
Σχήμα 39. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	55
Σχήμα 40. Σκίτσο του δείγματος 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	56
Σχήμα 41. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	56
Σχήμα 42. Σκίτσο του δείγματος 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	57
Σχήμα 43. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	57
Σχήμα 44. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	58
Σχήμα 45. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	58
Σχήμα 46. Σκίτσο του δείγματος 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.	59
Σχήμα 47. Πίνακας ταξινόμησης πετρωμάτων ρηξιγενών ζωνών (από Κουκούβελα).	60
Σχήμα 48. Η πορεία ενός ρήγματος σε βάθος και τα δύο τμήματα όπου οι μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων και τα προϊόντα δυναμικής μεταμόρφωσης είναι διαφορετικά (τροποποιημένο από Δημητριάδη (Gilen, 1982))	61
Σχήμα 49. Εικόνα SEM του δείγματος 1 (Δ1).	62
Σχήμα 50. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).	62
Σχήμα 51. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).	63
Σχήμα 52. Εικόνα SEM του δείγματος 1 (Δ1).	63
Σχήμα 53. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).	64
Σχήμα 54. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).	64
Σχήμα 55. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).	65
Σχήμα 56. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο της Ελλάδας και των γειτονικών περιοχών με τα κύρια τεκτονικά στοιχεία και τα επίκεντρα επιφανειακών σεισμών (από Λούβαρη, 2000).	67
Σχήμα 57. Κύρια σεισμοτεκτονική εικόνα του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Οι διευθύνσεις των Ρ-αξόνων (συμπίεσης) παριστάνονται με τα μαύρα συγκλίνοντα βέλη, ενώ οι διευθύνσεις των Τ-αξόνων (εφελκυσμού) με άσπρα αποκλίνοντα βέλη. Τα ρήγματα παράταξης παριστάνονται με δύο αντίθετα βέλη (Papazachos et al. 1998).	68
Σχήμα 58. Απλοποιημένος χάρτης του Αιγαίου και των γειτονικών περιοχών όπου φαίνονται οι πλάκες που επηρεάζουν την ενεργό παραμόρφωση του χώρου. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση των κινήσεων τους σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη, ενώ οι ταχύτητες είναι από DeMets et al. (1990), Kastens et al. (1996) και Oral (1995). Τα λευκά βέλη δείχνουν τη διεύθυνση των μέγιστων αξόνων έκτασης (Τ) (από: Papazachos et al. 1998).	68
Σχήμα 59. Ψευδοέγχρωμη εικόνα SHI, προβαλλόμενη στο RGB, της περιοχής μελέτης. Ημερομηνία λήψης RAW TM εικόνας: 29/06/1991 LANDSAT (Από Οικονομίδης 2000).	70
Σχήμα 60. Χάρτης των ρηγμάτων και των σεισμικών ρωγμών του 1932, στην ευρύτερη περιοχή του Στρατωνίου (Pavlides & Tranos 1990).	70
Σχήμα 61. Τα κυριότερα νεοτεκτονικά ρήγματα της Χαλκιδικής (Pavlides & Kiliass 1987) και τα αντίστοιχα επίκεντρα μεγάλων σεισμών.	Error! Bookmark not defined.
Σχήμα 62. Χάρτης σεισμικότητας της περιοχής μελέτης.	74
Σχήμα 63. Στρέβλωση σιδηροτροχιών Decauville (Μαδεμ-Λάκκος). Η ακριβής θέση της διάρρηξης ορίζεται με το μπλε βελάκι (σημερινή θέση είσοδος στοάς 216).	76
Σχήμα 64. Το ρήγμα μεταξύ Στρατωνίου και Στρατονίκης (Από Georgala & Galanopoulos 1953).	76

Σχήμα 65. Χάρτης ισοσειστών από Georgalas & Galanopoulos 1953 (Ιο= ΙΧ-Χ περιοχή μαύρου χρώματος). Ο σεισμός έγινε αισθητός πέρα από το Δούναβη και μέχρι τη νότια Ελλάδα.....	77
Σχήμα 66. Ισόσειστες του σεισμού 1932 στη Χαλκιδική (από Μαραβελάκη 1932). Με την εξής αντιστοιχία σεισμικών εντάσεων : Ζώνη 1= 10-11 Ζώνη 2= 9-8 Ζώνη 3= 7-6 Ζώνη 4= 5 (Οι βαθμοί είναι σε κλίμακα Mercalli-Sieberg).....	78
Σχήμα 67. Χάρτης των ρηγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα 4.....	80
Σχήμα 68. Ψηφιακό μοντέλο αναλύφου (DEM) με την κατανομή του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης.....	82
Σχήμα 69. Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο αναλύφου (DEM) και το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης.....	83
Σχήμα 70. Περιοχές με υψόμετρο 0-150 μ.....	85
Σχήμα 71. Περιοχές με υψόμετρο 150-600 μ.....	85
Σχήμα 72. Περιοχές με υψόμετρο 600-900 μ.....	86
Σχήμα 73. Χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης, με το κόκκινα χρώματα είναι οι περιοχές με μεγάλες κλίσεις (από 38°-88°) ενώ με τα κιτρινοπράσινα χρώματα χαρακτηρίζονται οι ομαλές περιοχές (μικρές κλίσεις από 0°-20°).....	86
Σχήμα 74. Υψομετρική καμπύλη (από Keller & Pinter 2000).....	87
Σχήμα 75. Χαρακτηριστικές καμπύλες του κύκλου διαβρώσεως (από Strahler 1964).....	88
Σχήμα 76. Τρία παραδείγματα υψομετρικής καμπύλης, α. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο νεότητας, b. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο ωριμότητας, και c. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο γήρατος.....	89
Σχήμα 77. Tingrid (μορφή raster υψομετρικού αναλύφου) της λεκάνης 1.....	90
Σχήμα 78. Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης 1 και βρίσκεται στο «στάδιο της ωριμότητας».....	91
Σχήμα 79. Tingrid (μορφή raster υψομετρικού αναλύφου) της λεκάνης 1.....	92
Σχήμα 80. Υψομετρική καμπύλη Λεκάνης 2 και βρίσκεται στο «στάδιο της ωριμότητας».....	93
Σχήμα 81. Υπολεκάνες ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	94
Σχήμα 82. Υπολεκάνες μελέτης.....	94
Σχήμα 83. Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματός Βαρβάρας - Στρατωνίου.....	95
Σχήμα 84. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 1 – 10. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκεται η λεκάνη απορροής 7, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9 και 10, και οι λεκάνες απορροής 2 και 5 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».....	96
Σχήμα 85. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 11 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκεται η λεκάνη απορροής 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 11, 12, 13, 15, και 17, και η λεκάνη απορροής 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».....	97
Σχήμα 86. Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματός Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου.....	100
Σχήμα 87. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 1 – 8. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 2, 3, 4, 5, 6, 7, και 8, και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».....	101
Σχήμα 88. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 9 – 18. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 9 έως 18.....	102
Σχήμα 89. Ασυμμετρία λεκάνης και κλίση τεκτονικού τεμάχου (από Keller & Pinter 1996).....	105
Σχήμα 90. Ασυμμετρία της λεκάνης απορροής 1.....	106
Σχήμα 91. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής 2.....	107
Σχήμα 92. Ασυμμετρία λεκανών απορροής.....	108
Σχήμα 93. Ασυμμετρία λεκανών απορροής.....	110
Σχήμα 94. Δαντέλωση σε πρόποδες βουνών (από Keller & Pinter 1996 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).....	113
Σχήμα 95. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας και οι αντίστοιχες περιοχές μελέτης.....	114
Σχήμα 96. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 1. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,11.....	115
Σχήμα 97. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 2. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,43.....	115
Σχήμα 98. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 3. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,25 και 1,17.....	116
Σχήμα 99. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 4. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,45 και 1,22.....	116
Σχήμα 100. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 5α. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,11 1,14 και 2,13.....	117
Σχήμα 101. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 5β. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,13, 1,38, 1,54, 1,37, 1,26 και 1,36.....	117

Σχήμα 102. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών μη τεκτονικών περιοχών.....	120
Σχήμα 103. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για το ρήγμα Γοματίου – Μ. Παναγίας και οι αντίστοιχες περιοχές μελέτης.....	121
Σχήμα 104. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 1. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,53, 1,31, 1,17 και 1,42.....	121
Σχήμα 105. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 2. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,31, 1,59 και 1,32.....	122
Σχήμα 106. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 3. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,35 και 1,85.....	122
Σχήμα 107. Δείκτης S (δαντέλωση στους πρόποδες βουνών) για την περιοχή μελέτης.....	124
Σχήμα 108. Παράδειγμα κλίσης (SL) υδρογραφικού κλάδου (από Keller & Pinter 2002 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).....	125
Σχήμα 109. Δείκτης κλίσης (SL).....	126
Σχήμα 110. Δείκτης κλίσης (SL).....	127
Σχήμα 111. Τοπογραφική συμμετρία (από Keller & Pinter 1996).....	129
Σχήμα 112. Τοπογραφική συμμετρία της λεκάνης 1.....	130
Σχήμα 113. Τοπογραφική συμμετρία της λεκάνης 2.....	131
Σχήμα 114. Αριστερά: παράδειγμα τοπογραφικού χάρτη με βαθιά κοιλάδα. Δεξιά: τοπογραφική τομή AB (από Keller & Pinter 1996).....	132
Σχήμα 115.....	134
Σχήμα 116. Μορφολογία του ρήγματος Βαρβάρας - Στρατωνίου. Στο διογκωμένο διάγραμμα έχουν σχεδιαστεί η βάση και η κορυφή του ρηξιγενούς πρσανούς του ρήγματος. Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος αντιστοιχεί το βορειοδυτικό άκρο του πρσανούς. Στον άξονα ψ έχουμε το απόλυτο υψόμετρο σε m και στον άξονα χ είναι η απόσταση από την αρχή του ρήγματος σε Km.....	135
Σχήμα 117. Ύψος του ρηξιγενούς πρσανούς Βαρβάρας - Στρατωνίου και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρσανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων.....	136
Σχήμα 118.....	137
Σχήμα 119. Μορφολογία του ρήγματος Μεγάλη Παναγία - Γοματίου. Στο διογκωμένο διάγραμμα έχουν σχεδιαστεί η βάση και η κορυφή του ρηξιγενούς πρσανούς του ρήγματος. Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος αντιστοιχεί το βορειοδυτικό άκρο του πρσανούς. Στον άξονα ψ έχουμε το απόλυτο υψόμετρο σε μ. και στον άξονα χ είναι η απόσταση από την αρχή του ρήγματος σε Km.....	138
Σχήμα 120. Ύψος του ρηξιγενούς πρσανούς Μεγάλη Παναγία - Γοματίου και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρσανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων.....	139
Σχήμα 121. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (TIN) και τοπογραφικές τομές.....	140
Σχήμα 122. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (TINGRID) και τοπογραφικές τομές.....	141
Σχήμα 123. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (TIN) και τοπογραφικές τομές.....	142
Σχήμα 124. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (TIN) και τοπογραφικές τομές.....	143
Σχήμα 125. Θέσεις μετρήσεων υπαίθρου και τα αντίστοιχα στερεοδιαγράμματα.....	145

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης (υπόμνημα του σχήματος 4).....	26
Πίνακας 2. Πίνακας με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτεροειδών ρωγμών του συστήματος μελέτης 1.....	47
Πίνακας 3. Οι κυριότεροι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	73
Πίνακας 4. Πίνακας με τα αποτελέσματα μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού των σχέσεων των Wells & Coppersmith (1994), Ambraseys & Jackson (1998) και Pavlides & Caputo (2004).....	80
Πίνακας 5. Ταξινόμηση του αναγλύφου σύμφωνα με το ύψος του από την επιφάνεια της θάλασσας (Dikau 1989).....	84
Πίνακας 6. Ποσοστό κάλυψης επί τοις εκατό των παραπάνω τύπων αναγλύφου.....	84
Πίνακας 7. Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη 1.....	91
Πίνακας 8. Υψομετρικό ολοκλήρωμα της Λεκάνης 1, δείχνει το στάδιο της ωριμότητας.....	91
Πίνακας 9. Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη 2.....	93
Πίνακας 10. Υψομετρικό ολοκλήρωμα Λεκάνης 2 δείχνει το στάδιο της ωριμότητας.....	93
Πίνακας 11. Τα σχετικά εμβαδά και τα σχετικά υψόμετρα των υπολεκανών 1 – 17 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των υψομετρικών καμπύλων.....	98
Πίνακας 12. Υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες	

απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17,, και οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».	99
Πίνακας 13. Τα σχετικά εμβαδά και τα σχετικά υψόμετρα των υπολεκανών 1 – 18 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των υψομετρικών καμπύλων.	103
Πίνακας 14. Υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 18. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 2 έως και 18, και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».	104
Πίνακας 15. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Δείχνει ότι λεκάνη είναι ασύμμετρη.	106
Πίνακας 16. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Δείχνει ότι λεκάνη είναι συμμετρική.	107
Πίνακας 17. Παράγοντας ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-17. Οι υπολεκάνες 5, 12, 13 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 1 - 3, 6 – 16 παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στην υπολεκάνη 4.	109
Πίνακας 18. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Οι υπολεκάνες 12 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 2 – 4, 6, 8 – 11. και 13 - 16 παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στις υπολεκάνες 1, 5, 7 και 18.	111
Πίνακας 19. Δείκτης S στην περιοχή 1.	118
Πίνακας 20. Δείκτης S στην περιοχή 2.	118
Πίνακας 21. Δείκτης S στην περιοχή 3.	118
Πίνακας 22. Δείκτης S στην περιοχή 4.	118
Πίνακας 23. Δείκτης S στην περιοχή 5α.	119
Πίνακας 24. Δείκτης S στην περιοχή 5β.	119
Πίνακας 25. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών μη τεκτονικών περιοχών.	120
Πίνακας 26. Δείκτης S στην περιοχή 1.	123
Πίνακας 27. Δείκτης S στην περιοχή 2.	123
Πίνακας 28. Δείκτης S στην περιοχή 3.	123
Πίνακας 29. Τοπογραφική ασυμμετρία της λεκάνης 1.	129
Πίνακας 30. Τοπογραφική συμμετρία.	131
Πίνακας 31. Ο δείκτης Vf στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας.	133
Πίνακας 32. Ο δείκτης Vf στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.	133
Πίνακας 33. Μετρήσεις υπαίθρου	144

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του πρώτου κύκλου του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του τομέα Γεωλογίας, κατεύθυνση Τεκτονική και Στρωματογραφία. Ανατέθηκε από τη Γ.Σ.Ε.Σ. του τμήματος Γεωλογίας στη συνεδρίασή της αριθμ. 12/22-10-2004. Η εκπόνηση της διατριβής ειδίκευσης έγινε υπό την επίβλεψη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, αποτελούμενη από τους κ. Σπ. Παυλίδη, καθηγητή, Α. Κίλια, καθηγητή, Σπ. Σκλαβούνο, καθηγητή, με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Σπ. Παυλίδη.

Η διατριβή ειδίκευσης αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, σε δύο μεγάλα ρήγματα της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα του Στρατωνίου – Βαρβάρας και το ρήγμα του Γοματίου, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Ο σκοπός της ανάλυσης είναι να συγκριθούν οι δείκτες κατά μήκος των ρηγμάτων ώστε να γίνει διαφοροποίηση αυτών α) με βάση τον βαθμό ενεργότητας (ενεργό ρήγμα, πιθανό ενεργό, ανενεργό ρήγμα) β) με διαχωρισμό των επιμέρους τμημάτων (segments).

Στο δεύτερο μέρος γίνεται μικροτεκτονική ανάλυση σε δείγματα, από το τμήμα μεγάλης ρηξιγενούς επιφάνειας (κατοπτρική) του ρήγματος του Στρατωνίου, που μας δόθηκαν από την TVX Hellas A .E. Τα δείγματα αυτά βρέθηκαν σε στοά των μεταλλείων Μάντεμ Λάκκου – TVX Hellas A.E. κάτω από τον οικισμό Στρατονίκη. Η μικροτεκτονική ανάλυση είχε ως σκοπό να βρεθεί εάν η δυναμική μεταμόρφωση που έλαβε μέρος έγινε σε μικρά ή σε μεγαλύτερα βάθη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. καθηγητή Νεοτεκτονικής Σπύρο Παυλίδη, του τομέα Γεωλογίας, τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για την ανάθεση και επίβλεψη του θέματος της παρούσης διατριβής ειδίκευσης, για τη μεγάλη του βοήθεια και τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσε και τις εμπειρίες που προσκόμισα από τη συνεργασία μας στην ύπαιθρο και στο εργαστήριο.

Τον καθηγητή Σπύρο Σκλαβούνο ευχαριστώ πολύ, μέλος τις τριμελούς επιτροπής, για τις συμβουλές και για τις επιστημονικές γνώσεις που μου πρόσφερε, για να ολοκληρώσω το δεύτερο μέρος της διατριβής ειδίκευσης μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Αδαμάντιο Κίλια, μέλος τις τριμελούς επιτροπής, για τις συμβουλές και τις παραινέσεις του, καθώς και για τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε κατά την διάρκεια φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Το Δρ. γεωλόγο Χατζηπέτρο Αλέξη ευχαριστώ θερμά για τη βοήθειά του σε θέματα της μορφολογικής ανάλυσης και των μορφοτεκτονικών δεικτών.

Τη Δρ. γεωλόγο Λούβαρη Ελένη ευχαριστώ θερμά για την εισαγωγή μου στον κόσμο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Θερμά ευχαριστώ το συνάδελφο Γεωλόγο Σταύρο Οικονομίδη για τη βοήθεια του στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλα τα μέλη του Τομέα και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές: Στέλιο Αυγερινά, Άννα Ζερβοπούλου, Σωτήρη Σμπόρας, Δημήτρη Κεραμυδά, Σωτήρη Βαλκανιώτης, για την άψογη συνεργασία και την κάθε μορφής βοήθειά τους.

Τελειώνοντας, είναι ίσως περιττό να αναφέρω ότι το μεγαλύτερο βάρος της προσπάθειάς μου αυτής το επωμίστηκαν οι «δικοί μου» άνθρωποι. Στην οικογένεια μου και τους φίλους μου που συμμερίστηκαν την κούραση, τα νεύρα και τις αγωνίες μου εκφράζω το μεγαλύτερο ευχαριστώ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ανατολική Χαλκιδική έχουν γίνει κατά καιρούς πολλές εργασίες, μελέτες και έρευνες καθώς η περιοχή αυτή παρουσιάζει από άποψη γεωλογικής, μεταλλευτικής, τεκτονικής, σεισμολογικής και νεοτεκτονικής μελέτης μεγάλο ενδιαφέρον.

Οι Φλωράς (1933), Μαραβελάκης (1933 και 1936), Γεωργαλάς και Γαλανόπουλος (1953), Παυλίδης και Τρανός (1991) μελέτησαν το σεισμό της Ιερισσού του 1932, τα χαρακτηριστικά του, τα μακροσεισμικά αποτελέσματα του και τις επιφανειακές του εκδηλώσεις.

Οι Παυλίδης και Κίλιας (1987) και οι Βοϊδομάτης, Παυλίδης και Παπαδόπουλος (1990) μελέτησαν τη νεοτεκτονική και την ενεργή παραμόρφωση της Σερβομακεδονικής ζώνης (Ανατολική Χαλκιδική).

Ο Τρανός (1998) μελέτησε τη νεοτεκτονική παραμόρφωση στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και του βόρειου Αιγαίου.

Η πρώτη παλαιοσεισμολογική - μορφοτεκτονική μελέτη και μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων στην Ανατολική Χαλκιδική έγινε από τον Χατζηπέτρος (1998).

Ο Οικονομίδης (2000) μελέτησε τη γεωλογική, κοιτασματολογική και περιβαλλοντική έρευνα της Β.Α. Χαλκιδικής με τη συμβολή της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (G.I.S.).

Πληθώρα εκτεταμένων γεωλογικών, κοιτασματολογικών, περιβαλλοντικών, σεισμολογικών και γεωφυσικών μελετών έχουν γίνει στην περιοχή μελέτης.

Στη διατριβή ειδίκευσης αυτή βασικός σκοπός είναι η ανάλυση των νεοτεκτονικών δομών και οι επιδράσεις αυτών στη μορφολογία. Η μορφοτεκτονική ανάλυση αποτελεί ένα βασικό εργαλείο που βοηθάει στην κατανόηση της νεοτεκτονικής εξέλιξης μιας περιοχής. Γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, σε δύο μεγάλα ρήγματα της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα του Στρατωνίου – Βαρβάρας και το ρήγμα του Γοματίου, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

1 Γενικά

Στη διατριβή ειδίκευσης γίνεται ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, σε δύο μεγάλα ρήγματα της Ανατολικής Χαλκιδικής, το ρήγμα του Στρατωνίου – Βαρβάρας και το ρήγμα του Γοματίου. Ο υπολογισμός των δεικτών βασίζεται σε μετρήσεις μορφολογικών στοιχείων. Ορισμένα από αυτά εύκολα μπορούν να μετρηθούν απευθείας από έναν απλό τοπογραφικό χάρτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως χρειάζονται στοιχεία τα οποία μπορούν να υπολογιστούν πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).

Τα παραπάνω ρήγματα εκτείνονται σε περισσότερα του ενός φύλλα κλίμακας: 1:50.000 της ΓΥΣ. Για τη μελέτη της μορφοτεκτονικής έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών - υδρογραφικού δικτύου (ρέματα, λεκάνες απορροής) - οδικού δικτύου - οικισμών - ακτογραμμής στα φύλλα «Αρναία», «Ιερισσός», «Σταυρός» και «Στρατονίκη». Η ψηφιοποίηση έγινε σε περιβάλλον ARC 8.3 για Windows. Το προβολικό σύστημα είναι το ΕΓΣΑ 1987.

Μορφολογικοί δείκτες που αναλύθηκαν είναι οι:

- Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα,
- Ασυμμετρία λεκάνης απορροής,
- Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών,
- Μήκος ρέματος – δείκτης κλίσης,
- Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας,
- Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος.

Για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και συγκεκριμένα τα φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη (κλίμακα φύλλο χάρτη 1:50000, Γ.Υ.Σ. , 1983, 1982, 1970, 1982).

Αεροφωτογραφίες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακα φύλλο χάρτη 1:40000 και ημερομηνία λήψης 1968.

Γεωλογικοί χάρτες του Ιδρύματος Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), τα φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, (κλίμακα φύλλο χάρτη 1:50000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978).

Δασικός χάρτης της περιοχής (ΑΡΝΑΙΑ 2000) του δασαρχείου Αρναίας.

Δορυφορική εικόνα (παγχρωματική μπάντα) με ημερομηνία λήψης στις 24/08/2000 (WRS-2, Path 183, Row 032), από δέκτη ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), του δορυφόρου LANDSAT-7. Η ανάλυση της εικόνας είναι 15 μέτρα.

2 Γεωγραφική Θέση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής, με μέση απόσταση από την Θεσσαλονίκη, τα 100 km.

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο (Σχήμα 1), εντός των ακόλουθων συντεταγμένων:

Γεωγραφικό Πλάτος: 40°20' – 40°39'

Γεωγραφικό Μήκος: 23°34' – 23°56'

Γενικά, η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιορεινή – ορεινή, με μεγαλύτερο σε έκταση ορεινό όγκο αυτόν του Στρατονικού όρους (στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης) και κυριότερες κορυφές τις εξής: Καστέλλι (913 μ.), Ανατολικά του Παλαιοχωρίου, Στρεμπενίκος (868 μ.), Βόρεια των Σταγείρων, Τούρλα (832 μ.) και Προφ. Ηλίας (800 μ.), Βόρεια του Νεοχωρίου και Σαμαρά Αλώνι (701 μ.) Ανατολικά της Μεγάλης Παναγίας.

Πιο ήπιο το ανάγλυφο απαντά στις παράκτιες περιοχές της Ολυμπιάδας και του Στρατωνίου και μεταξύ Στρατωνίου και Ιερισσού, Ιερισσού και Νέα Ρόδα και στην περιοχή του Παλαιοχωρίου.

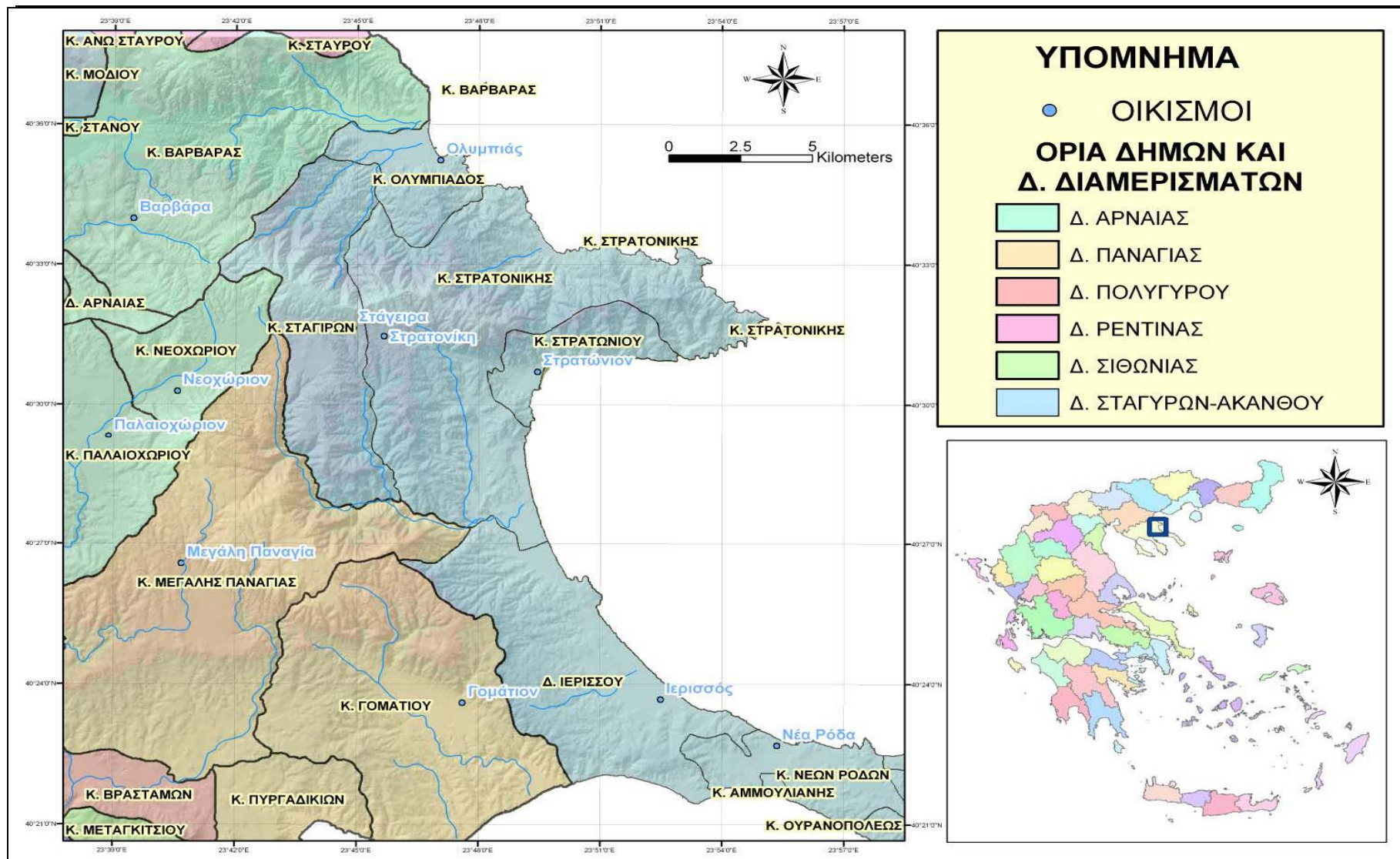
Στην περιοχή αναπτύσσεται εκτεταμένο υδρογραφικό δίκτυο, περιοδικής (κυρίως) αλλά και μόνιμης ροής, με κυριότερα ρέματα τα εξής: Κοκκινόλακκος και Καρρόλακκας ρέμα, μεταξύ Σιδηρόλακκου (Μαδέμ – Λάκκου) και Ιερισσού, Μεγάλο ρέμα, και Μπασδέκη ρέμα, τα οποία δημιουργούν την αλλουβιακή πεδιάδα, Βόρεια της Ολυμπιάδας, Πετρένια ρέμα νοτιοανατολικά του Γοματίου.

Επίσης, μια χαρακτηριστική, επιμήκης λεκάνη απορροής (ρέμα Κοκκινόλακκου), απαντά νότια του Στρατωνίου, η οποία διακόπτει τον ορεινό όγκο του Στρατονικού όρους, παράλληλα προς την ακτογραμμή, από το Στρατώνι μέχρι το ακρωτήριο Κλεισούρι (Β-ΒΔ της Ιερισσού).

Τα πολυάριθμα κανονικά και ανάστροφα ρήγματα που απαντούν στην περιοχή, δημιούργησαν βυθίσεις και ανυψώσεις του αναγλύφου σε διάφορα

σημεία της περιοχής μελέτης. Τα κύρια ρήγματα ακολουθούν Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ διευθύνσεις (π.χ. ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας και ρήγμα Γοματιού).

Διοικητικά, η περιοχή μελέτης ανήκει στο Νομό Χαλκιδικής, ενώ διέρχεται από τους Δήμους Αρναίας, Σταγείρων-Ακάνθου και Παναγίας (Σχήμα 1), οι οποίοι περιλαμβάνουν τα ακόλουθα Δημοτικά Διαμερίσματα: Δ. Αρναίας, Δ. Μεγάλης Παναγίας, Δ. Ιερισσού, Δ.Δ. Βαρβάρας, Δ.Δ. Νεοχωρίου, Δ.Δ. Παλαιοχωρίου, Δ.Δ. Γοματιού, Δ.Δ. Σταγείρων, Δ.Δ. Στρατονίκης, Δ.Δ. Στρατωνίου, Δ.Δ. Νέων Ρόδων και Δ.Δ. Ολυμπιάδας.



Σχήμα 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης. Διοικητική υπαγωγή της περιοχής μελέτης.

3 Τα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)

3.1 Τα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)γενικά

Η ανάγκη για την καταγραφή και διαχείριση πληροφοριών που αφορούν οτιδήποτε έχει να κάνει με την κατανομή τους στο χώρο, ήταν η αιτία για την δημιουργία των G.I.S. Όπως αναφέρει και ο τίτλος τους, πρόκειται για προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που αποθηκεύουν και κατανέμουν πληροφορίες στο χώρο. Βασίζονται, δηλαδή, σε βάσεις δεδομένων που μπορούν να καλύψουν πληροφοριακές ανάγκες. Η πρόοδος της τεχνολογίας αλλά και η αυξανόμενη παροχή πληροφοριών προκάλεσε την ευρεία διάδοση των G.I.S, τα οποία πλέον θεωρούνται απαραίτητα σε πολλές επιστήμες αλλά και επιχειρήσεις.

Σημαντικά στοιχεία των G.I.S είναι ότι οι πληροφορίες και τα δεδομένα μπορούν να ομαδοποιηθούν και να συσχετισθούν. Δημιουργούνται, δηλαδή επίπεδα (ή βάσεις δεδομένων) το καθένα από τα οποία περιέχει μια ομογενή ομάδα δεδομένων (Ανδρουλακάκης & Κουτσόπουλος 2003). Παραδείγματος χάρη, ένας αστικός χάρτης θα μπορούσε να περιέχει τα κτήρια, τους δρόμους, το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και ότι άλλο ενδιαφέρει τον χρήστη. Η κάθε ομάδα αποτελεί ξεχωριστό επίπεδο ή αλλιώς βάση δεδομένων (πχ οι δρόμοι) το οποίο όμως μπορεί να περιέχει όλες τις πληροφορίες που θέλουμε (πχ αν ο δρόμος είναι λεωφόρος, τι μήκος έχει, πως ονομάζεται κλπ). Αυτό που κάνει όμως τα G.I.S ακόμα πιο εύχρηστα είναι η δυνατότητα που έχουν στο να βοηθούν στη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να μας υποδείξουν την περιοχή που θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένας οικισμός έχοντας καταχωρήσει διάφορες βάσεις δεδομένων, όπως οι γεωλογικοί σχηματισμοί, η μορφολογία (ισοϋψείς), σεισμικά ρήγματα κλπ. Δίνοντας λοιπόν τις παραμέτρους που εμείς θέλουμε (πχ ο οικισμός να μη βρίσκεται σε περιοχή με κλίση αναγλύφου >30° με χαλαρά ιζήματα και εντός μιας ζώνης 5km από πιθανά ενεργά ρήγματα) το λογισμικό μπορεί να συνδυάσει τα χαρακτηριστικά όλων των επιπέδων και να δώσει απάντηση στο ερώτημά μας.

Σε γενικές γραμμές τα πλεονεκτήματα των G.I.S είναι (Ασάρας & Οικονομίδης 2003):

Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή ώστε να καταλαμβάνουν ελάχιστο χώρο και να είναι εύκολα προσβάσιμα.

Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμός αυτών. Τα δεδομένα μπορούν να ενσωματωθούν στη βάση δεδομένων με ή χωρίς αλλαγές και επεξεργασία, εφόσον είναι προσανατολισμένα στο χώρο.

Τα προγράμματα με διάφορους αλγορίθμους μπορούν να κάνουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, μετατροπές κλπ.

Τα αποτελέσματα εξάγονται γρήγορα και μπορεί να αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.

Εύκολη πρόσβαση στη βάση δεδομένων για ενημέρωση ή περεταίρω αλλαγές.

Η ανάλυση πραγματοποιείται με πολύ μικρότερο κόστος και σε λιγότερο χρόνο απ' ό,τι με τις κλασσικές μεθόδους (πχ στην περίπτωση συνδυασμού πολλών θεματικών χαρτών).

Τα μειονεκτήματα των G.I.S είναι πολύ λιγότερα σε σύγκριση με τα πλεονεκτήματα:

Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος είναι υψηλό.

Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού.

3.2 Τα συστατικά μέρη ενός Γεωγραφικού Συστήματος πληροφοριών (G.I.S.).

Τα G.I.S αποτελούνται κυρίως από τον υλικό εξοπλισμό (hardware) και τα λογισμικά (software).

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit) του ηλεκτρονικού υπολογιστή αποτελεί την καρδιά του εξοπλισμού. Με αυτή συνδέονται διάφορες περιφερειακές μονάδες, όπως αποθηκευτικές μονάδες για την φύλαξη των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, εκτυπωτές ή αυτόματοι σχεδιαστές (plotters), ψηφιοποιητές (digitizers) ή σαρωτές (scanners) για την εισαγωγή πληροφοριών σε μορφή vector ή raster αντίστοιχα. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ψηφιοποιητής, η ψηφιοποίηση μπορεί να γίνει από την οθόνη του H/Y (heads up digitizing).

Τα λογισμικά πακέτα χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή, επεξεργασία, ανάλυση, αποτύπωση των πληροφοριών.

3.3 Η δομή των δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)

Τα δεδομένα μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες όσον αφορά τον χαρακτήρα των πληροφοριών (Ασάρας & Οικονομίδης 2003): i) τα χωρικά δεδομένα (ή γεωγραφική πληροφορία), τα οποία περιγράφονται από τη θέση τους στο χώρο και μπορεί να είναι σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά ή τρισδιάστατα, και ii) τα μη χωρικά δεδομένα (ή περιγραφική πληροφορία), που περιγράφουν χαρακτηριστικά ή ιδιότητες της υπόψη χωρικής θέσης. Έτσι π.χ. η θέση μιας ισοϋψούς καμπύλης πάνω στο χάρτη είναι χωρική πληροφορία, ενώ ο χαρακτηρισμός της με βάση το υψόμετρο είναι μη χωρική.

Σχετικά με την ψηφιακή τους μορφή, τα δεδομένα χωρίζονται σε διανυσματικά (vector) και σε δεδομένα με τη μορφή κανάβου ή αλλιώς ψηφιδωτά (raster).

Τα διανυσματικά δεδομένα έχουν ακριβή θέση στο χώρο και διατηρούν το σχήμα τους ανεξαρτήτου μεγέθυνσης ή σμίκρυνσης. Έτσι μπορούμε να αναπαράγουμε τον ίδιο θεματικό χάρτη σε ότι κλίμακα θέλουμε χωρίς να «αλλοιώνεται» η εικόνα. Επίσης στο ίδιο επίπεδο μπορούμε να έχουμε αλληλοεπικάλυψη αντικειμένων (γραμμών, πολυγώνων κλπ) χωρίς το ένα να επηρεάζει το άλλο. Ο συσχετισμός των περιγραφικών δεδομένων (μη χωρικών) με ένα αντικείμενο είναι πιο εύκολος, και τέλος τα αρχεία που δημιουργούνται καταλαμβάνουν μικρό χώρο στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Τα ψηφιδωτά δεδομένα αποτελούνται από φατνία (pixels), δηλαδή σαν ένας πίνακας χωρισμένος σε γραμμές και στήλες. Τέτοια δεδομένα αποτελούν οι απλές εικόνες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες κλπ. Το μέγεθος κάθε φατνίου (pixels) δηλώνει τη διακριτική ικανότητα της εικόνας με αποτέλεσμα η απεικόνιση να μην είναι καλή σε μεγάλες κλίμακες.

3.4 To ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop, ver. 8.3 (2002), και συγκεκριμένα το «πακέτο» του λογισμικού ArcInfo. Το λογισμικό ArcInfo περιλαμβάνει τις παρακάτω εφαρμογές:

ArcMap: Αυτή η εφαρμογή καλύπτει όλες τις χαρτογραφικές εργασίες, όπως ψηφιοποίηση και διόρθωση δεδομένων, χαρτογραφία, χωρική ανάλυση, διαχείριση και εκτύπωση χαρτών κ.λ.π.

ArcCatalog: Αυτή η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας, διαχείρισης, γρήγορης προεπισκόπησης και οργάνωσης των χωρικών δεδομένων υπό μορφή πινάκων.

ArcToolbox: Πρόκειται για μία «βιβλιοθήκη» προγραμμάτων και εργαλείων, που αφορούν την γεωεπεξεργασία (geoprocessing), τη μετατροπή των δεδομένων σε διάφορες μορφές, τον καθορισμό του προβολικού συστήματος των χαρτών κ.α.

Τα παρακάτω υποπρογράμματα (extensions) περιέχονται επίσης στο λογισμικό ArcGIS:

3D Analyst. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα απεικόνισης και ανάλυσης τρισδιάστατων δεδομένων. Το 3D Analyst προσθέτει μια ειδικευμένη εφαρμογή τρισδιάστατης επισκόπησης (3D viewing application), το ArcScene, δίδοντας νέες δυνατότητες στον ArcCatalog και στον ArcMap και επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση των τρισδιάστατων δεδομένων (3D GIS data), την τρισδιάστατη ανάλυση (3D analysis) και τη διαχείριση τρισδιάστατων χαρακτηριστικών (3D features editing).

Spatial Analyst. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιεί μια ποικιλία χωρικών πράξεων και υπολογισμών, βασισμένο σε GIS δεδομένα μορφής κανάβου (raster data). Χρησιμοποιείται για την απόσπαση πληροφοριών από προϋπάρχοντα δεδομένα και την εύρεση χωρικών σχέσεων μεταξύ επιπέδων πληροφοριών με βάση την κατανομή βαρών (weighted overlay) και την συνδυασμένη μοντελοποίηση (combinations modeling).

Arc Hydro Tools. Με το πρόγραμμα αυτό είναι δυνατή η υδρολογική διόρθωση του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου, ο υπολογισμός της κατεύθυνσης και συσσώρευσης ροής, ο εντοπισμός λεκανών απορροής, υδρογραφικού δικτύου, υδροκρίτη και άλλων υδρογραφικών χαρακτηριστικών με μεγάλη ακρίβεια.

3.5 Μεθοδολογία

Για την κατασκευή του χάρτη δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS Desktop 8.3 και πιο συγκεκριμένα οι εφαρμογές ArcMap και ArcCatalog. Για την εισαγωγή των τοπογραφικών δεδομένων (ισοϋψών, ρεμάτων, οδικού δικτύου και τοποθεσία πόλεων – οικισμών) χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα φύλλα χάρτη, κλίμακας 1:50'000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού: φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη (1983, 1982, 1970, 1982 αντίστοιχα).

Η μορφή εισαγωγής τους ήταν ως πίνακας (raster) αφού πρώτα σαρώθηκαν. Το προβολικό σύστημα συντεταγμένων που επιλέχθηκε για την γεωαναφορά των χαρτών είναι το ΕΓΣΑ '87 (GCS GGRS 1987), και τα σημεία αναφοράς (rectify points) είναι 20-26 ανά φύλλο χάρτη. Για το τελευταίο στάδιο της γεωαναφοράς χρησιμοποιήθηκε το πολυώνυμο 2^{ης} τάξης (2st Order Polynomial – Affine). Με την ολοκλήρωση της γεωαναφοράς οι σαρωμένοι χάρτες απέκτησαν προσανατολισμό και πραγματικές συντεταγμένες στο χώρο.

Οι βάσεις δεδομένων εισήχθησαν με τη μορφή Geodatabase. Δημιουργήθηκε Geodatabase με το όνομα «**ANATOLIKH CHALKIDIKH**», στην οποία δημιουργήθηκαν οι ομάδες (Feature Dataset):

- **Γενικά** (GENIKA) με υποομάδες (Feature Class): οικισμοί (towns), οδικό δίκτυο (roads), τριγωνομετρικά σημεία (βάθρα Γ.Υ.Σ.),
- **Μορφολογία** (MORFOLOGIA) με υποομάδες (Feature Class): ισοϋψείς (contours), υδρογραφικό δίκτυο (drainage), υδρογραφικές λεκάνες, υδρογραφικές υπολεκάνες, πηγές, ακτογραμμή.
- **Γεωλογία** (GEOLOGIA) με υποομάδες (Feature Class): γεωλογικοί σχηματισμοί (formations), γεωλογικά όρια, ρήγματα (faults), ισόσειστες από σεισμού του 1932, μακροσεισμικές εντάσεις από σεισμού του 1932, θέσεις μετρήσεων υπαίθρου.

3.6 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM)

Ο συνηθέστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος απεικόνισης του αναγλύφου της γήινης επιφάνειας, είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου (Digital Elevation Model – DEM). Ένα DEM είναι μια αναπαράσταση μορφής κανάβου (raster) μιας συνεχούς επιφάνειας, η οποία στις Γεωεπιστήμες συνήθως αναφέρεται στην επιφάνεια της Γης. Στην περίπτωση μας, το DEM αναφέρεται στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης και έχει ως βάση δημιουργίας του τις ισοϋψείς καμπύλες (ESRI 2001 (a)). Η ακρίβεια ενός παραγόμενου DEM εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ανάλυση του DEM (η απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας), η μορφή των δεδομένων, καθώς και η ακρίβεια και αξιοπιστία με τις οποίες έγιναν οι πρωτογενείς μετρήσεις του μεγέθους μελέτης (στην περίπτωση μας του υψομέτρου).

3.7 Υπολογισμός λεκανών απορροής

Για τον υπολογισμό των λεκανών απορροής χρησιμοποιήθηκαν: το υδρογραφικό δίκτυο που ψηφιοποιήθηκε από τους χάρτες Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 και το τριγωνικό δίκτυο TIN που περιέχει τις πληροφορίες του υψομέτρου. Το πρώτο βήμα ήταν η μετατροπή του TIN σε μορφή Raster (καννάβου) με την ονομασία tingrid. Έπειτα ήταν απαραίτητη η χρήση της εφαρμογής Hydro Tools, η οποία είναι επέκταση στις βασικές λειτουργίες του ArcMap. Με τη χρήση λοιπόν της παραπάνω εφαρμογής έγιναν μια σειρά υπολογισμών που αναφέρονται ως Terrain Processing (επεξεργασία αναγλύφου). Αυτοί είναι:

- 1) DEM Reconditioning. Εδώ γίνεται μια περεταίρω επεξεργασία του DEM.
- 2) Fill Sinks. Στη φάση αυτή, διαχωρίζονται τα κελιά (ψηφία) που περικλείονται από γειτονικά μεγαλύτερου υψομέτρου κατακρατώντας έτσι το νερό, αφού δεν έχει άλλη διέξοδο.
- 3) Flow Direction. Η κατεύθυνση της ροής υπολογίζεται βάσει των πιο απότομης διαδρομής.
- 4) Flow Accumulation. Η λειτουργία αυτή υπολογίζει τη συγκέντρωση ροής.
- 5) Stream Definition. Σ' αυτό το στάδιο γίνεται ο καθορισμός των ρεμάτων.

6) Stream Segmentation. Εδώ διαχωρίζονται τα ρέματα.

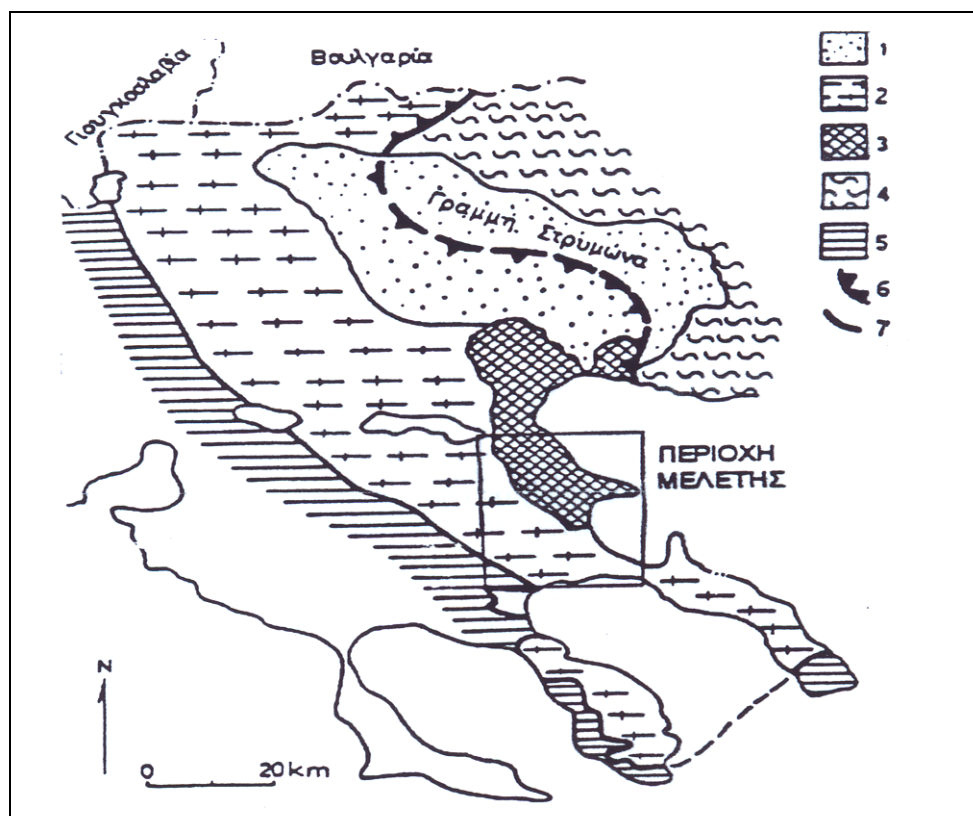
7) Catchment Grid Delineation, Catchment Polygon Processing και Adjoint Catchment Processing. Στα τρία αυτά διακριτά βήματα γίνεται αρχικά ο διαχωρισμός των λεκανών απορροής κάθε ρέματος, έπειτα η μετατροπή τους σε πολύγωνα σε μια ξεχωριστή βάση δεδομένων και τέλος ο υπολογισμός της μεγάλης συνολικής λεκάνης.

Για την ακριβέστερη απεικόνιση των λεκανών απορροής έγιναν χειροκίνητα οι απαραίτητες διορθώσεις.

4 Γεωλογική δομή και σχηματισμοί ευρύτερης περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα, η οποία οριοθετείται ανατολικά, από τα Ελληνογούγκοσλάβικα σύνορα έως τη Χαλκιδική, δυτικά από τον ποταμό Στρυμώνα, ύστερα από μελέτες των Kockel & Walther (1968) και Mercier (1966) (Σχήμα 2).

Σύμφωνα με τα μοντέλα των λιθοσφαιρικών πλακών που έχουν προαχθεί μέχρι τώρα, η Σερβομακεδονική θεωρείται ηπειρωτική μάζα, τμήμα της Λαυρασίας μαζί με τη μάζα της Ρίλα-Ροδόπης. Οι δυο παραπάνω μάζες, αποτελούν την Ελληνική ενδοχώρα, τοποθετούνται γεωτεκτονικά στο περιθώριο της Λαυρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας. Αυτή η κοινή γεωτεκτονική τοποθέτηση των δύο μαζών οδήγησε ορισμένους επιστήμονες στη διατύπωση της άποψης ότι η Σερβομακεδονική ζώνη εντάσσεται στην ευρύτερη γεωτεκτονική μονάδα της μάζας της Ρίλας-Ροδόπης.



Σχήμα 2. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: μεταλλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: σειρά του Βερτίσκου, 3: σειρά των Κερδυλλίων, 4: μάζας της Ροδόπης, 5: Περιροδοτική ζώνη, 6: ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμώνα) και 7: δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης 1985).

ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η ΒΑ Χαλκιδική γεωλογικά ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα, δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και του Βερτίσκου και διατρέχεται από τα μεγάλα ρήγματα Στρατωνίου και Βαρβάρας Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης αντίστοιχα, το οποίο έχει παίξει κυρίαρχο ρόλο στη μεταφορά και απόθεση (από Theodoroulis A. & Galanopoulos V. 1994), τόσο της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στο δυτικό τμήμα, όσο και της θειούχου μεταλλοφορίας στην ανατολική προέκταση (Σχήμα 3)

Η κατώτερη σειρά των Κερδυλλίων και η ανώτερη (νεότερη) σειρά του Βερτίσκου αποτελούν το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής.

Η ΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΚΕΡΔΥΛΙΩΝ

Η σειρά των Κερδυλλίων καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμώνα και του Στρατωνίου, έχει συνολικό πάχος περίπου 3000 μέτρα και τα πετρώματα της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας και ίσως τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σ' όλη την Ελλάδα.

Σύμφωνα με τους Δημητριάδη (1974) και Kockel και Mollat (1977) λιθολογικές φάσεις της σειράς από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους είναι οι εξής:

Ανώτερο μάρμαρο, πάχος 30 έως 300 μέτρων, με παρεμβολές βιοτικών γνευσίων, βιοιτιτικών–κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοιτιτικών–ακτινολιθικών σχιστολίθων, και αμφιβολιτών.

Βιοτικός γνεύσιος, πάχους 10 έως 200 μέτρων, με παρεμβολές βιοιτιτικών –κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων.

Ενδιάμεσο μάρμαρο, πάχους 10 έως 200 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.

Βιοιτιτικός γνεύσιος, πάχους περίπου 1000 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπυριτικών πετρωμάτων.

Κατώτερο μάρμαρο, πάχους περίπου 150 μέτρων.

Βιοιτιτικός γνεύσιος, πάχους περίπου 700 μέτρων.

Κατά τον Δημητριάδη (1974), που μελέτησε τους ορίζοντες 4–6 της σειράς Κερδυλλίων, η γενική μεταμόρφωση των πετρωμάτων αυτών έγινε σε συνθήκες κορδιεριτικής–αμφιβολιτικής φάσης. Ειδικότερα οι βαθύτεροι

ορίζοντες μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες σιλλιμανιτικής–κορδιεριτικής–καλιοαστριούχου–αλμανδινικής υπόφασης, που είναι η υψηλότερη υπόφαση της αμφιβολιτικής φάσης με συνθήκες θερμοκρασίας 670°–680°C και πίεσης 3,5 Kbars. Στους ίδιους ορίζοντες διαπιστώθηκαν επίσης φαινόμενα ανάπτυξης με σχηματισμό μιγματικών πετρωμάτων.

Η ΣΕΙΡΑ ΤΟΥ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ

Βρίσκεται δυτικά της προηγούμενης σειράς, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορά μέχρι των συνόρων.

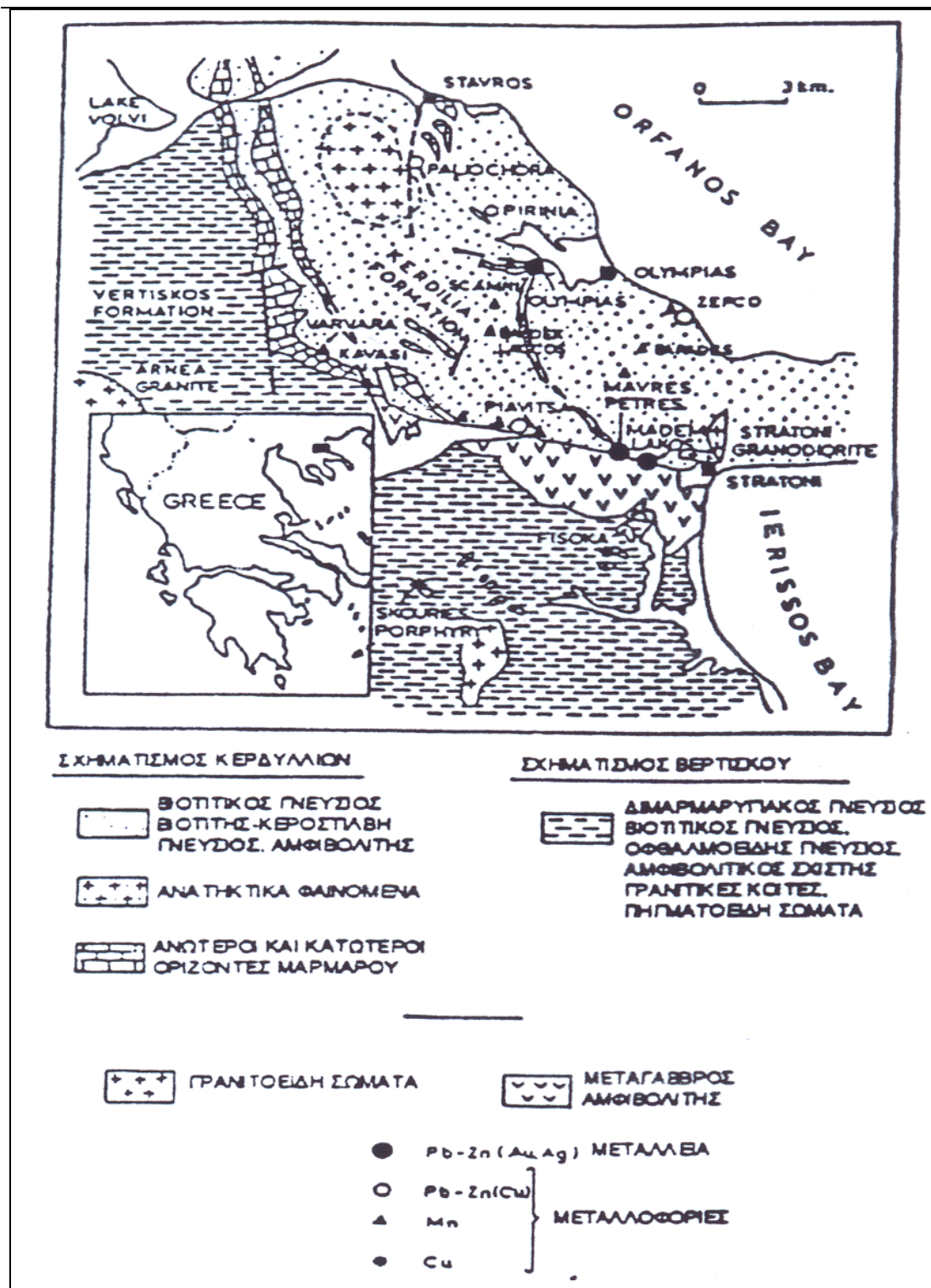
Συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ορίζοντές της επικρατούν οι μεταγάββροι – μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα.

Τα πετρώματα αυτής της σειράς μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες αλμανδινικής–αμφιβολιτικής φάσης.

ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

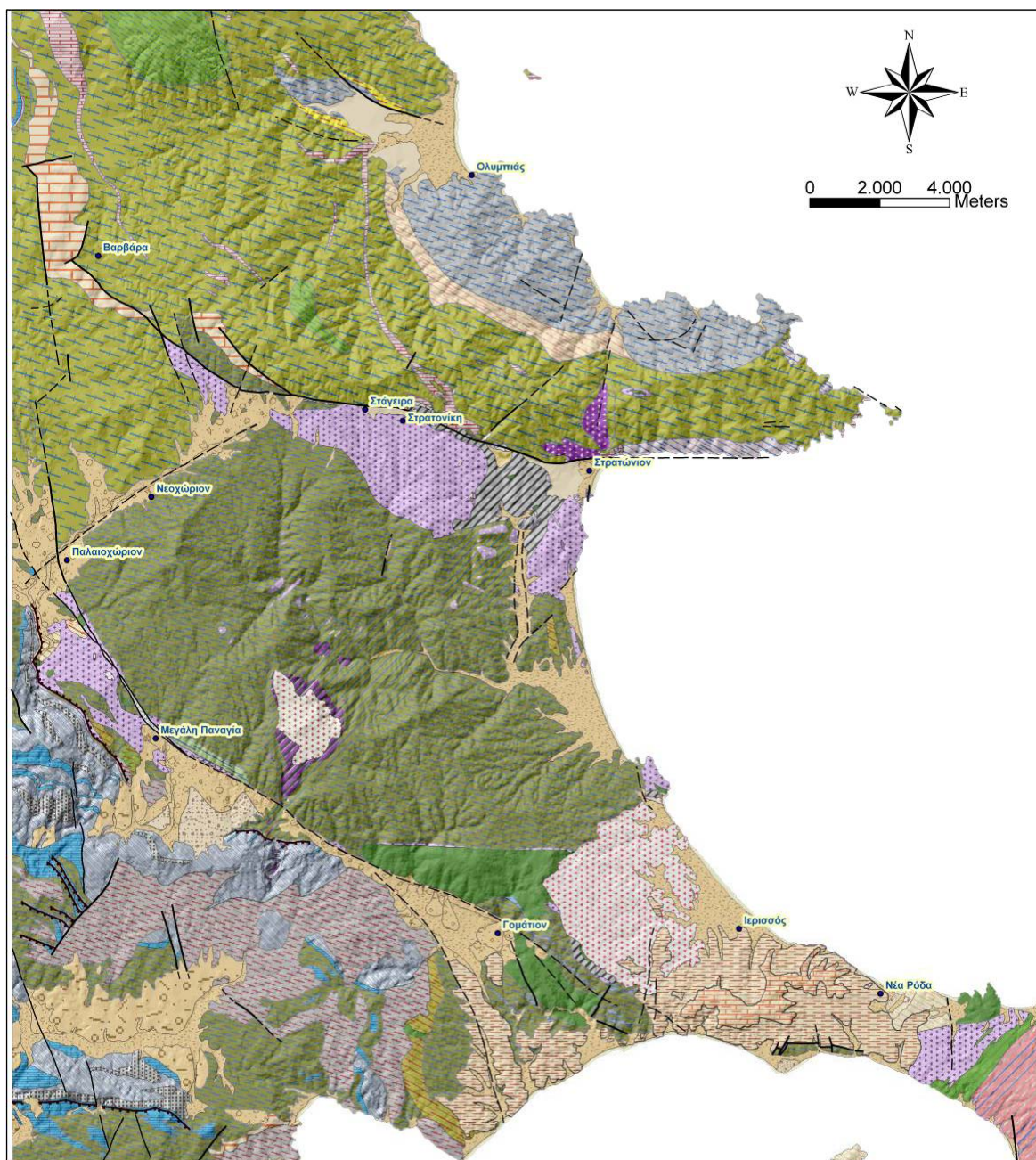
Τα ανατολικά όρια της Σερβομακεδονικής μάζας καλύπτονται σε πολλά σημεία από νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Επαφές μεταξύ των πετρωμάτων της μάζας Ρίλα–Ροδόπη έχουν εντοπιστεί στα ανατολικά των εκβολών του Στρυμώνα, στα ΒΔ του Παγγαίου, στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα στο όρος Άγγιστρο. Στα σημεία αυτά είναι εμφανής μια επώθηση των στρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας πάνω στα μάρμαρα και πρασινοσχιστόλιθους της μάζας Ρίλα–Ροδόπης. Η επιφάνεια επωθήσεως είναι κεκλιμένη προς Δυσμάς, ενώ στη βάση των επωθημένων στρωμάτων αναπτύσσεται μια παχιά μυλονιτική ζώνη.

Το δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής μάζας είναι ασαφές. Σύμφωνα με την πιο επικρατούσα σήμερα άποψη αυτό καθορίζεται από τη γραμμή των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων με τα Περμοτριάδικα μεταϊζήματα της Περιοδοτικής.



Σχήμα 3. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής (Kockel and Mollat 1977, τροποποιημένος από τους Καλογερόπουλο κ.α. 1987).

Η γεωλογία της περιοχής μελέτης, ο οποίος έγινε με βάση γεωλογικούς χάρτες, κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη.



Σχήμα 4. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. Τόσο τα πετρώματα όσο και τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση του 1:50.000 Γεωλογικού χάρτη (φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., 1978) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

 ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ

 ΚΑΝΟΝΙΚΟ, ΒΕΒΑΙΟ

 ΚΑΝΟΝΙΚΟ, ΠΙΘΑΝΟ

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

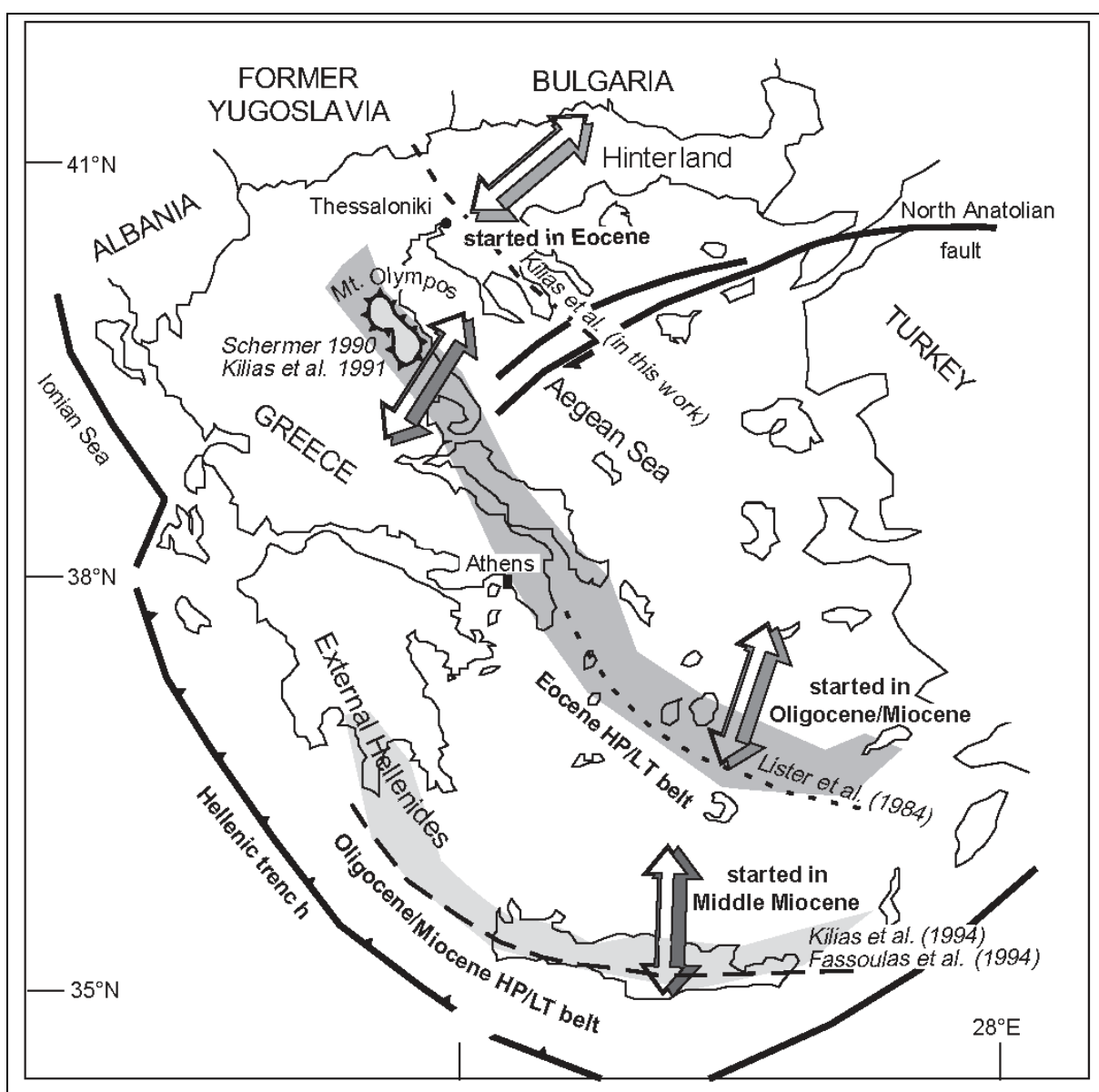
	al, ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	cd, dn, ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	ej, ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΑ ΡΙΠΙΔΙΑ
	H.lg, ΙΖΗΜΑΤΑ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΩΝ
	H.sc, ΜΠΑΖΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
	H.t.c, ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ (ΟΛΟΚΑΙΝΟ)
	M4-Pli.l, ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ
	M4-Pli.mk, ΛΙΜΝΑΙΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Pt, ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΕΣ
	Pt.t.c, ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΩΝ (ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ)
	Q.cs1, ΡΙΠΙΔΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΕΩΝ
	T-Jm.mr, ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΜΕΝΟΙ, ΜΑΡΜΑΡΑ
	mr, ΜΑΡΜΑΡΑ
	mr1, ΚΑΤΩΤΕΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ
	mr2, ΑΝΩΤΕΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ
	T-Jm.ph, ΦΥΛΛΙΤΕΣ
	T-Jm.st, ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ
	ab, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ
	(gn)Mz, ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΙΚΟΣ-ΜΙΚΡΟΚΛΙΝΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	(gn)Mz-gn2, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟ ΓΝΕΥΣΙΟΣ ΕΝΑΛΛΜΕΝΟΣ ΜΕ ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟ
	(gn)Pz, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟΚΛΙΝΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	(gn)Pz-gn.bi, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟ ΓΝΕΥΣΙΟΣ ΕΝΑΛΛΜΕΝΟΣ ΜΕ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ax(gn.bi), ΑΝΑΗΚΤΙΚΟΣ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	gn.bi, ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	gn1, ΑΝΑΗΚΤΙΚΟΙ ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ
	gn2, ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ
	Sch.mi, ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΙ-ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	ab-gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΙΚΟ ΓΝΕΥΣΙΟ
	ab-gn.bi.gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΒΙΟΤ. ΚΑΙ ΠΛΑΓ. ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn.bi, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn2, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn2, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ ΚΑΙ ΠΛ.
	ab-gn2-gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΛΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ ΚΑΙ ΠΛ.
	br, ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ
	ab, ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ
	n, ΠΙΖΟΝΙΤΙΚΟΣ-ΚΕΡΟΣΤΙΑ-ΒΙΟΤ. ΔΙΟΡΙΤΗΣ
	n.q, ΚΕΡΟΣΤ-ΒΙΟΤ. ΧΑΛΑΖΟΔΙΟΡΙΤΙΚΟΣ ΠΟΡΦΥΡΗΣ
	PYR, ΠΥΡΙΤΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
	ΣΙΔ, ΣΙΔΗΡΟΥΝ ΕΠΙΚΑΛΥΜΜΑ
	ΥΔ, ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ
	γ, ΒΙΟΤΙΤ-ΜΟΣΧΟΒ. ΓΡΑΝΙΤΗΣ (ΤΗΣ ΙΕΡΙΣΣΟΥ)
	γ.η, ΚΕΡΟΣΤ-ΒΙΟΤΙΤ. ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗΣ (ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ)
	γ1, n-sch, ΠΑΡΕΙΣΑΚΤΕΣ ΚΟΙΤΕΣ ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗ (ΤΥΠΟΥ ΣΙΘΩΝΙΑΣ)
	θ.πγ, ΠΗΓΜΑΤΙΤΙΚΟΣ ΓΑΒΒΡΟΣ
	πτ, ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΥΝΙΤΕΣ
	πφ.η, ΚΕΡΟΣΤ-ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΔΙΟΡΙΤΙΚΟΣ ΠΟΡΦΥΡΗΣ

Πίνακας 1. Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης (υπόμνημα του σχήματος 4).

5 Τεκτονική - Νεοτεκτονική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης

5.1 Γεωλογία – Τεκτονική

Η γεωτεκτονική ζώνη της Σερβομακεδονικής υπόκειται σε συνεχή τεκτονική δράση από τον Παλαιοζωικό μέχρι τις τελευταίες φάσεις της Αλπικής πτύχωσης, οι τελευταίες τοποθετούνται στα όρια μεταξύ της Ηωκαίνου και Ολιγοκαίνου περιόδου (Σχήμα 5). Η νεοτεκτονική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα.



Σχήμα 5. Χάρτης του Ελληνικού χώρου με του μέγιστους άξονες εφελκυσμού από το Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο (από Kiliass et al. 1999)

Πολλά τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφροι έχουν σχηματιστεί κατά μήκος του Σερβομακεδονικού όγκου, ως αποτέλεσμα της νεοτεκτονικής

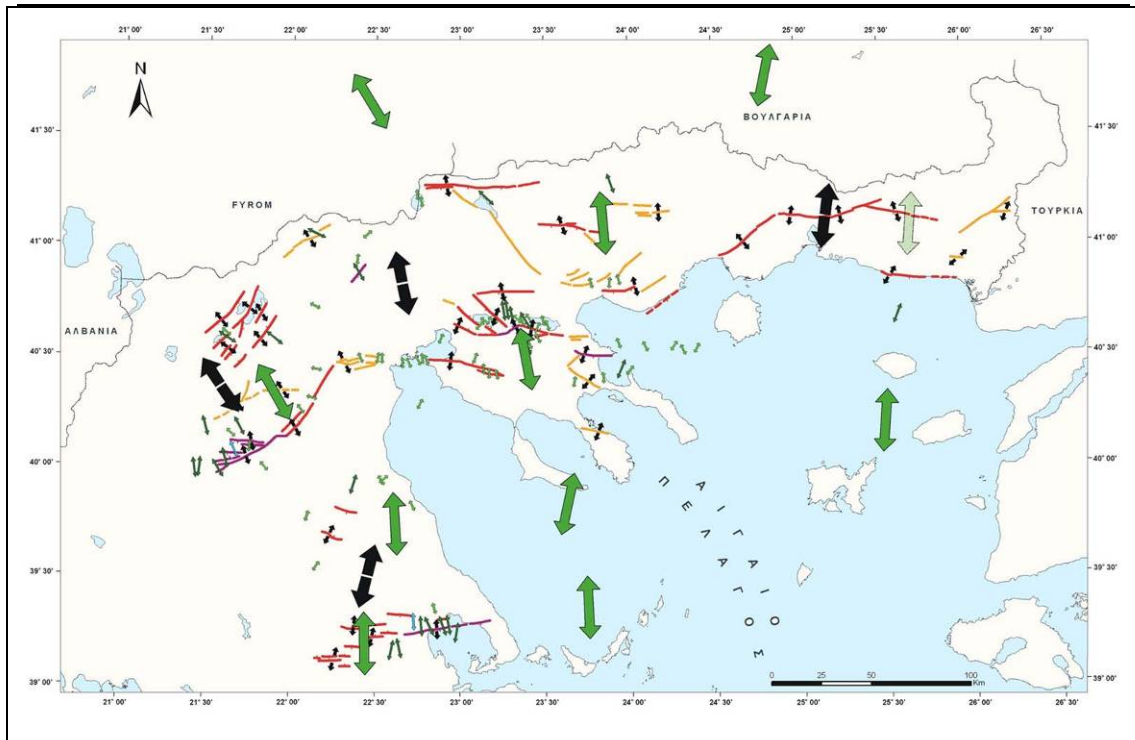
δραστηριότητας. Έχει ενδιαφέρον να επισημάνουμε ότι η τεκτονική τάφρος της Μυγδονίας (λίμνες του Λαγκαδά και της Βόλβης), έχουν προσφατά μετασχηματιστεί (Μειο-Πλειο-Τεταρτογενές) σε δύο ξεκάθαρες φάσεις. Αυτή η τεκτονική τάφρος έχει μελετηθεί λεπτομερέστερα από τους: Ψιλοβίκο (1977), Νεοτεκτονικό χάρτη, Pavlides & Syrides (1977), Φουντούλη (1980), Mercier et al. (1983) και Μουντράκης et al. (1994).

Τα μετα-Αλπικά Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα περιέχουν τρία βασικά τμήματα (γκρουπ): το Προμυγδονιακό (κροκαλοπαγές, άμμος, ιλύς-άμμος, ερυθροστρώματα) στα τέλη του Μειοκαίνου αρχές πλειστοκαίνου (Βιλλαφράγκιο) και δύο τμήματα – γκρουπ του Μυγδονιακού συστήματος (χάλικες, αδρομερής άμμος, άργιλος, κροκαλοπαγές και τραβερτίνης) στα μέσα με τέλη του Πλειστοκαίνου και Ολόκαινου (Ψιλοβίκος 1977). Ανάλογα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα (αμμώδης μάργα, υφάλμυροι-λιμναίοι ασβεστόλιθοι, άμμος, ιλύς-άμμος) επεκτείνονται σε άλλα μέρη της χερσονήσου της Χαλκιδικής (π.χ. περιοχή Ιερισσού και Γοματίου) με τις αντιστοίχες νεοτεκτονικές φάσεις (Pavlides & Kiliias 1987).

Η νεοτεκτονική ιστορία της λεκάνης της Μυγδονίας, της υπολεκάνης της Μαραθούσας και η υπολεκάνη του Γοματίου-Ιερισσού προσδιορίζεται στα μέσα με τέλη του Μειοκαίνου (Pavlides & Kiliias 1987). Οι πρώτες τεκτονικές φάσεις συντέλεσαν στο σχηματισμό της μεγάλης τεκτονικής τάφρου και πολλών κανονικών ρηγμάτων που κυριαρχούν στην περιοχή. Μια δεύτερη σημαντική τεκτονική δραστηριότητα εμφανίστηκε τουλάχιστον κατά τη διάρκεια αρχές με μέσα της Τεταρτογενούς περιόδου όπως σημειώνεται από τη κατανομή των ιζημάτων της Πλειο-τεταρτογενούς περιόδου, από ρήγματα (μέσο και μικρο-τεκτονικής δομής) που επηρεάζουν αυτά τα ιζήματα, όπως επίσης από την παρουσία χαρακτηριστικών ρηγμάτων, στα όρια μεταξύ προσφάτων ιζημάτων (Σχήμα 8), (Pavlides & Kiliias 1987).

5.2 Νεοτεκτονική

Η χερσόνησος της Χαλκιδικής στη Βόρεια Ελλάδα είναι μια περιοχή με ενδοηπειρωτικές διαρρήξεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από τεκτονικά κέρατα, τεκτονικές τάφρους και μεγάλης γωνίας κλίσης κανονικά ρήγματα. Σε πολλές περιπτώσεις αυτά τα ρήγματα σχετίζονται με σημαντικά οριζόντια άλματα – μετατοπίσεις (Σχήμα 8).



Σχήμα 6. Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου, και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίστηκαν από σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη) και από τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη) (από Mountrakis et al., 2004).

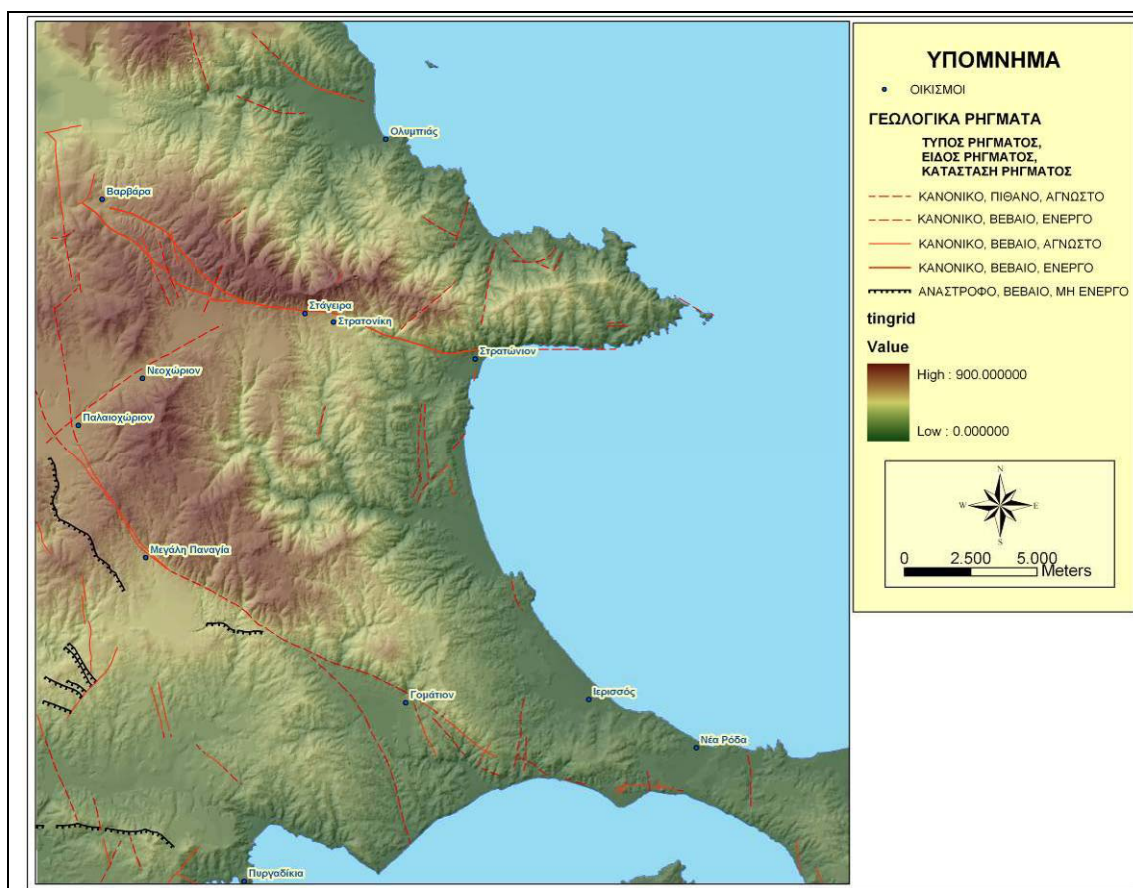
Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν ευρύτερο χώρο της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Pavlidis & Kiliadis 1987): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση (Σχήμα 6).

Οι εφελκυστικές τάσεις έχουν γενική διεύθυνση Βορράς-Νότος και προκαλούν κανονικά ρήγματα, κυρίως Ανατολικής-Δυτικής διεύθυνσης (Σχήμα 6).

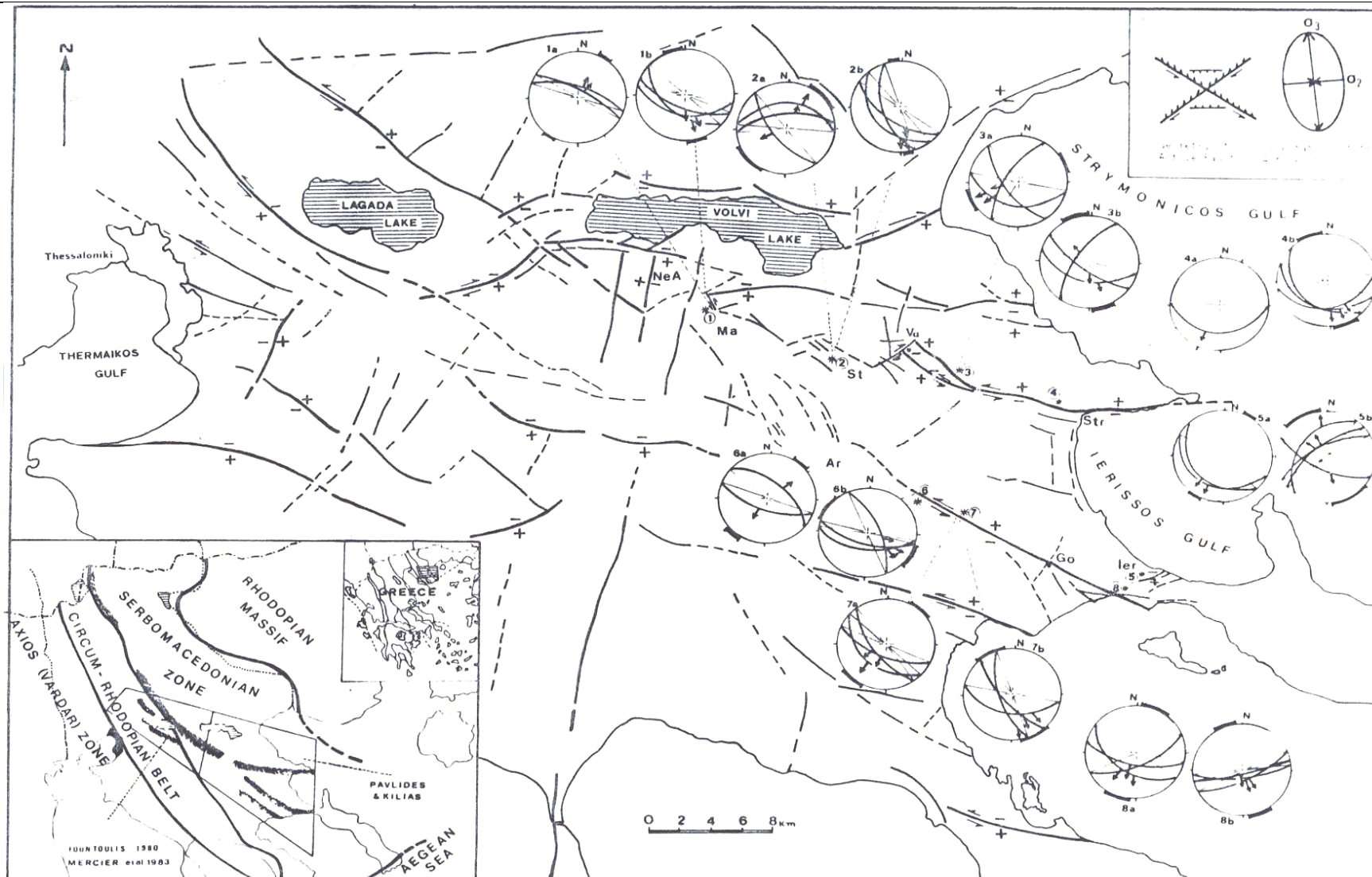
Σύμφωνα με τους Pavlidis & Kiliadis (1987) δομές που ανήκουν στο ΔΒΔ-ΑΝΑ και Α-Δ σύστημα χαρακτηρίζονται από κανονικά ρήγματα με γραμμώσεις που έχουν γωνία κλίσεως 70° και 90° π.χ. το ρήγμα της Ιερισσού με διεύθυνση $B95^\circ$, κλίση $77^\circ N$, pitch 84° Δ, κανονικό. Δομές που ανήκουν στο ΒΔ-ΝΑ σύστημα αποτελούνται κυρίως από κανονικά ρήγματα που δείχνουν μερικές φορές δύο ομάδες γραμμώσεων, ένα με κινήσεις κλίσης ολίσθησης (οι γωνίες κλίσεως κυμαίνονται μεταξύ 65° - 85°) και ένα δεύτερο με ευδιάκριτο αριστερόστροφο οριζόντιο άλμα ρήγματος που έχει βαθμό κλίσεως μεταξύ 40° - 65° π.χ. α) το μεγάλο ρήγμα του Γοματίου: διεύθυνση $B130^\circ$, κλίση $65^\circ N$, pitch $50^\circ N$, κανονικό, αριστερόστροφο, β) μία μεσοδομή στην

περιοχή της Αρναίας με διεύθυνση B135°, κλίση 55°NΔ, pitch 45°NΑ, κανονικό, αριστερόστροφο (Σχήμα 8).

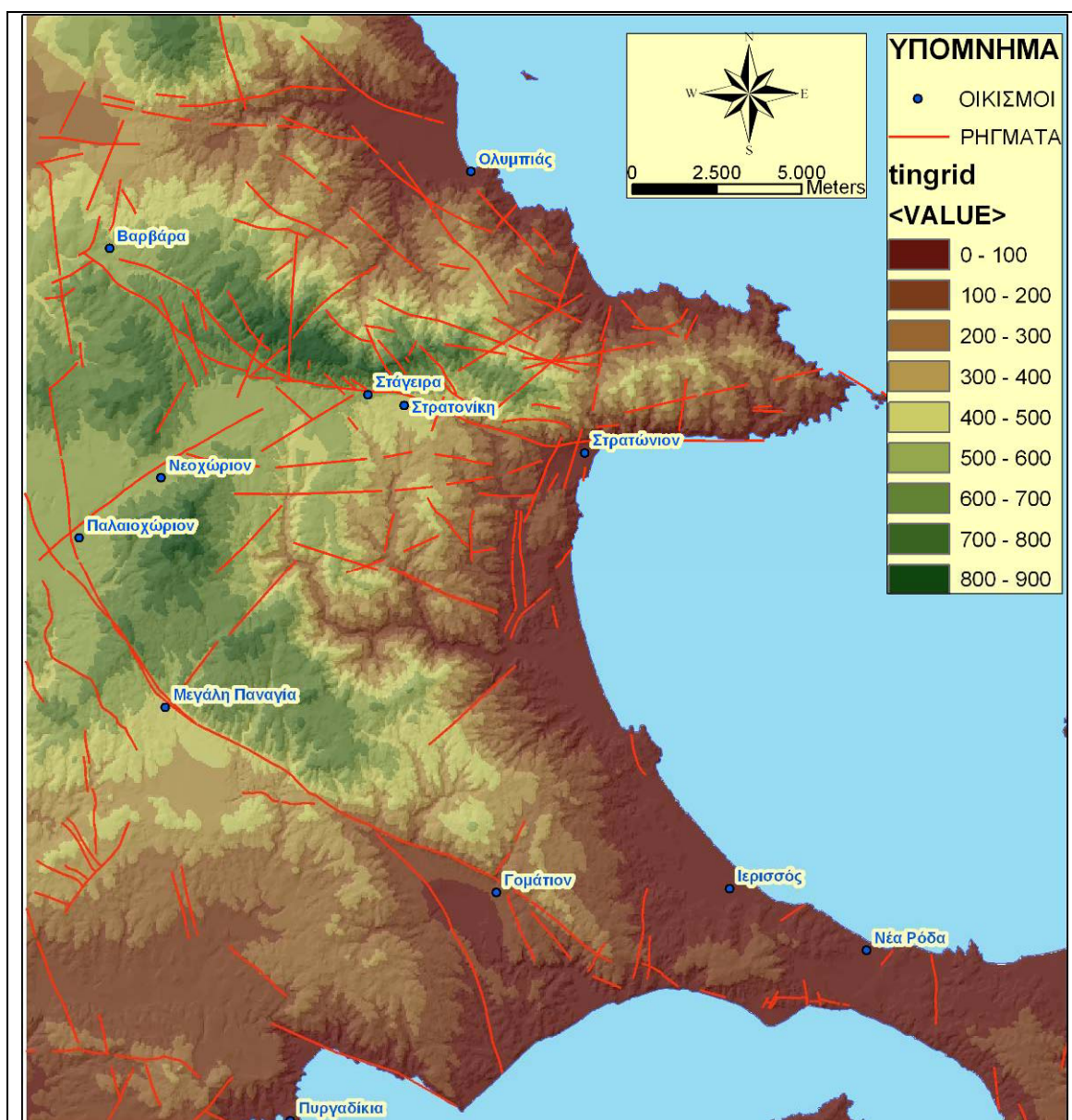
Δομές που ανήκουν στις ΒΑ-NΔ διευθύνσεις ρήγματα δείχνουν ένα κανονικό χαρακτήρα με δεξιόστροφα οριζόντια άλματα (Pavlidis & Kiliadis 1987). Σε αυτή τη δομή ανήκει και το ρήγμα της Βαρβάρας με διεύθυνση B65°, κλίση 70°, pitch (βαθμό κλίσεως) 45°NΔ το οποίο είναι πλάγιο κανονικό με δεξιόστροφη συνιστώσα (Σχήμα 6).



Σχήμα 7. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο (DEM) με τις επιφανειακές εμφανίσεις ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των Γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός και Στρατονίκη, (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, κλίμακα: 1:50.000) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.



Σχήμα 8. Νεοτεκτονικός χάρτης, με τα κυριότερα ρήγματα της περιοχής κεντρικής Χαλκιδικής - Ανατολικής Θεσσαλονίκης και αντιπροσωπευτικά στερεοδιαγράμματα με το είδος της κίνησης (Pavlides & Kiliass 1987).



Σχήμα 9. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο (DEM) με τις εμφανίσεις ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα ρήγματα προέρχονται από ψηφιοποίηση των χαρτών α) "General Geological Map of Kassandra". (Cepeda, A. 1999 Scale, 1:20.000), β) Νεοτεκτονικός χάρτης φύλλο Ροδολίβος (Μουντράκης et al., 1994, κλίμακα: 1:100.000) και Γ) Γεωλογική χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός και Στρατονίκη, (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, κλίμακα: 1:50.000) στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

5.3 Ρήγμα Στρατωνίου

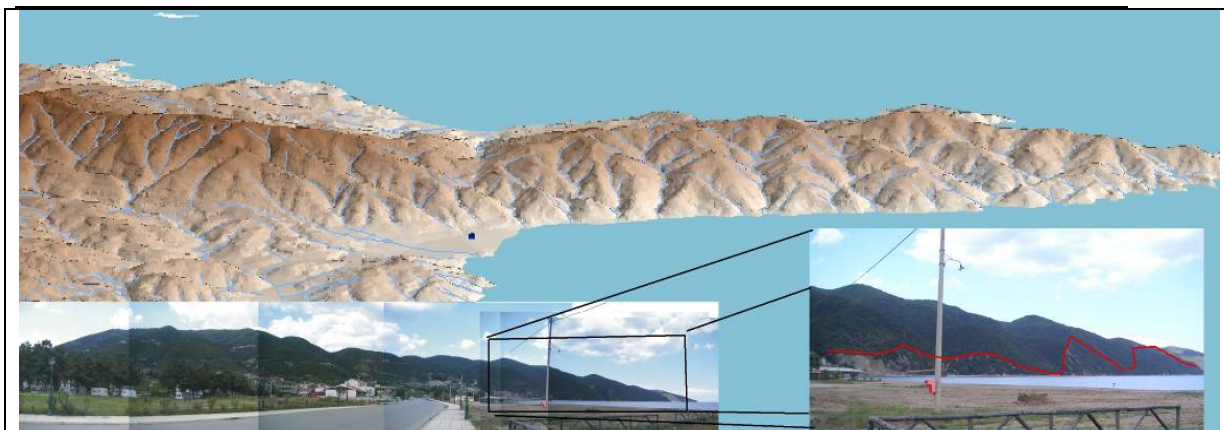
Το ρήγμα Στρατωνίου είναι μία Α–Δ γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους μεγαλύτερο περίπου των 25 km (εκ των οποίων 15 km στην ξηρά) (Σχήμα 9) που αποτελεί σε σημαντικό μήκος και το χαρτογραφικό όριο της κατώτερης ενότητας Κερδυλλίων με την ανώτερη

ενότητα Βερτίσκου της Σεβομακεδονικής μάζας και με το οφιολιθικό σύμπλεγμα Βόλβης – Γοματίου (Dixon & Dimitriadis 1985). 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 (Pavlides & Tranos 1991).

Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει μετάπτωση του νότιου τεμάχους και αποτελεί το προς Βορρά φυσικό όριο του Ακάνθιου κόλπου (κόλπος Ιερισσού), αφού διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμήματα: το βόρειο (footwall block) που χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατωνικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου και το νότιο (hangingwall block) όπου αναπτύσσεται ένα χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο με εκτενές υδρογραφικό δίκτυο (Pavlides & Tranos 1991).

Στο ανατολικό τμήμα του ρήγματος, από το Στρατώνι έως τη θέση Λιβάδι, κατά μήκος της ακτής του Στρατωνίου σε μία γενική διεύθυνση, παράλληλη προς αυτή του ρήγματος Α-Δ, χαρακτηριστικό του πρσανούς είναι η παρουσία τριγωνικών κλιτύων (Triangular Facets) (Σχήμα 10).

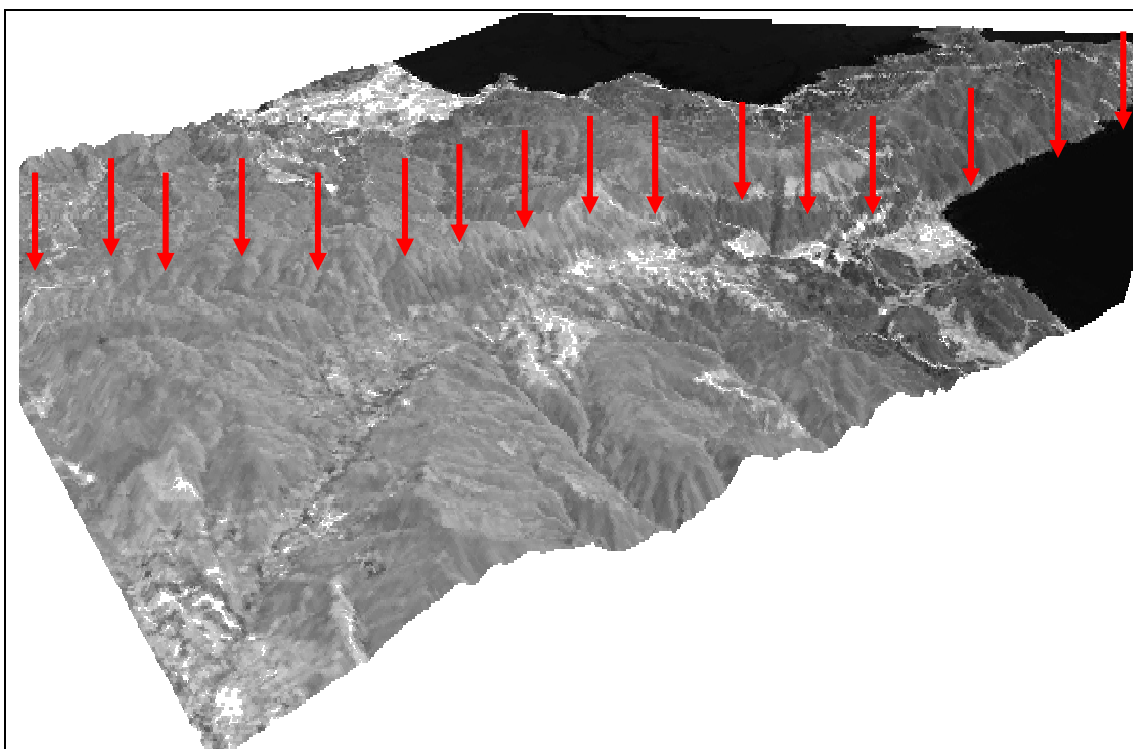
Κατά μήκος του ρήγματος, και μόνο στο χώρο της άμεσης ζώνης αυτού, παρατηρούνται αρκετές, σημαντικές σε πάχος, τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχη από τα πετρώματα του υποβάθρου, όπως αυτές στο χώρο των χωριών Στάγειρα και Στρατώνι που πρέπει να οφείλονται στην νεοτεκτονική δράση του ρήγματος (Σχήμα 11). Άλλωστε το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία της Ιερισσού του 1932, που είχε μέγεθος κύριου σεισμού (M7.0) (Φλώρας, 1933; Μαραβελάκης, 1933; Georgalas & Galanopoulos, 1953; από Pavlides & Tranos, (1991). Τα ίχνη της νέας δραστηριοποίησης του ρήγματος στο σεισμό της Ιερισσού χαρτογραφήθηκαν από τους Μαραβελάκη (1933), Georgalas & Galanopoulos (1953) και πιο πρόσφατα από τους Pavlides & Tranos (1991). Επιπρόσθετα όμως, το ρήγμα του Στρατωνίου ταυτίζεται και σε διεύθυνση με την Α-Δ ανάπτυξη των ισόσειστων καμπυλών του παραπάνω σεισμού (Papazachos et al., 1982).



Σχήμα 10. Διακρίνονται τα 'triangular facets' κατά μήκος της ακτής.



Σχήμα 11. Τεταρτογενείς αποθέσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων ερυθρού χρώματος με γωνιώδη τεμάχια από τα πετρώματα του υποβάθρου.



Σχήμα 12. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφο (DEM) με δορυφορική εικόνα για την περιοχή του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας.

5.4 Ρήγμα Βαρβάρας

Το ρήγμα αυτό φαίνεται χαρτογραφικά να αποτελεί την προς τα ΒΔ συνέχεια του ρήγματος Στρατωνίου, δυτικά του χωριού Στάγειρα μέχρι και το χωριό Βαρβάρα (Σχήμα 9). Παρουσιάζει όμως ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση γεγονός που μας επιτρέπει να το θεωρήσουμε ως ένα ιδιαίτερο ρήγμα ή τουλάχιστον τμήμα ρήγματος (fault segment) στην συνολική ρηξιγενή γραμμή που από το χωριό Βαρβάρα στα δυτικά ως το νησάκι Ελευθερόνησος στα ανατολικά έχει ένα μήκος περί τα 25km (Pavlidis & Tranos 1991).

Το ρήγμα της Βαρβάρας με μήκος, περίπου 6km και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διαμορφώνει μια μεγάλη κοιλάδα ή χαράδρα (ρέμα Ξηρόλακος) κόβοντας μάρμαρα και γνεύσιους της ενότητας των Κερδυλλίων, αλλά οριοθετώντας στα βόρεια το οφειολιθικό σύμπλεγμα της Βόλβης. Συμφωνα με τον Τρανό (1998) σε επιφάνειες του ρήγματος, εντός του μαρμάρου βρέθηκαν ασβεστιτικές τεκτονικές αναβαθμίδες με ινώδεις ασβεστιτικές ολισθογραμμώσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε δράση του ρήγματος ως αριστερόστροφου οριζόντιας μετατόπισης, και ως κανονικού. Παρατηρήθηκαν και τεκτονικές ολισθογραμμώσεις που προσδιόριζαν μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης (νεότερη της αριστερόστροφης και παλαιότερη της κανονικής), όμως οι γραμμώσεις αυτές παρατηρήθηκαν να είναι ισχνές σε παρουσία, με μικρό μήκος ανάπτυξης μην επιτρέποντας έτσι ασφαλή και γενικά συμπεράσματα.

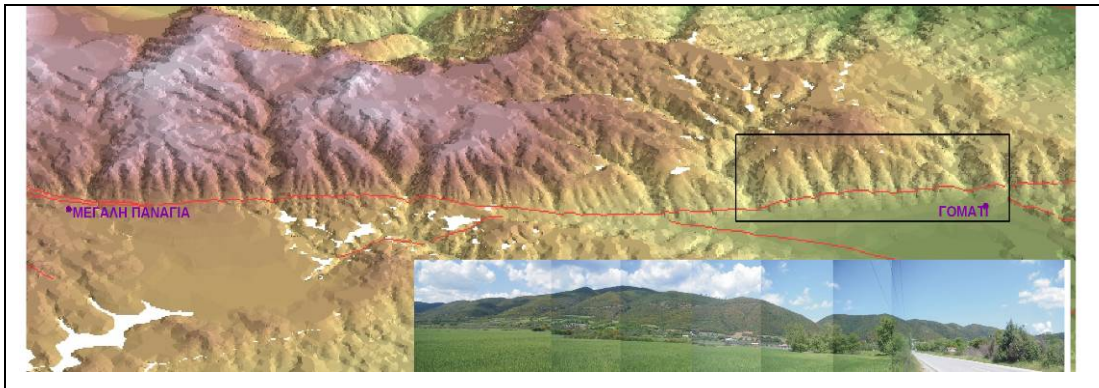
Οι τεκτονικές ολισθογραμμώσεις που προσδιορίζουν την αριστερόστροφη κίνηση είναι κυρίαρχες και χαρακτηρίζονται από μεγάλο μήκος ανάπτυξης. Οι ολισθογραμμώσεις αυτές βρέθηκε να επικαλύπτονται από τις κανονικές ολισθογραμμώσεις, γεγονός που με ασφάλεια τις προχρονολογεί σε σχέση με τις τελευταίες (Τρανός 1998).

5.5 Ρήγμα Γοματίου

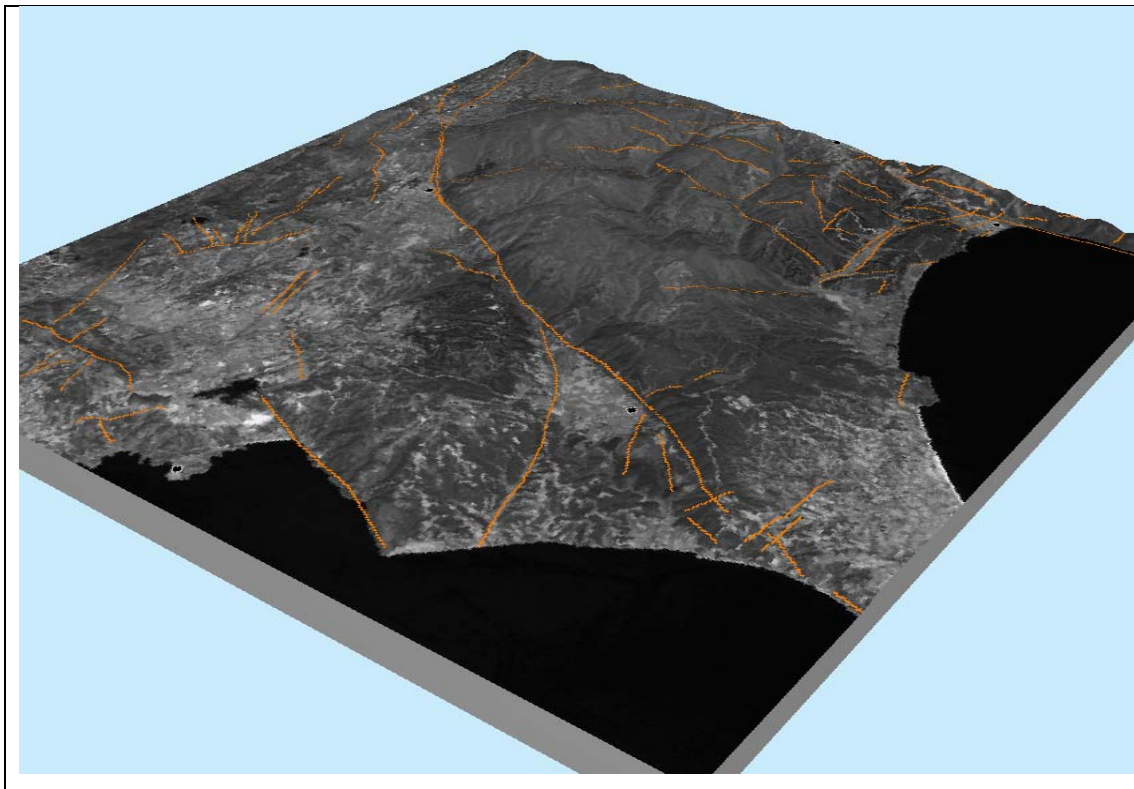
Το ρήγμα του Γοματίου είναι μία ΒΔ–ΝΑ γενικής διεύθυνσης μεγάλη ρηξιγενής γραμμή μήκους περίπου 15,5 km και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διεύθυνση B130°, κλίση 65°ΝΔ, pitch 50°ΝΑ, κανονικό, αριστερόστροφο (Σχήμα 9).

Η συνολική ρηξιγενής γραμμή ξεκινάει από τον οικισμό Μεγάλη Παναγία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, διέρχεται από τον οικισμό Γομάτι και ως ένα

τμήμα του ρήγματος (fault segment) καταλήγει στην περιοχή Ξηροποτάμι με μήκος περίπου 20 km.



Σχήμα 13. Τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου (ΤΙΝ) της περιοχής Μεγάλη Παναγία – Γοματίου.



Σχήμα 14. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφο (DEM) με δορυφορική εικόνα για την περιοχή του ρήγματος Γοματίου – Μ. Παναγίας.

6 Μικροτεκτονική

Η Μικροτεκτονική μελετά δομές της τάξεως μεγέθους μερικών m μέχρι μικρότερου από mm. Συνεισφέρει, σε μικρότερη κλίμακα, στην κατασκευή της γεωλογικής δομής μιας περιοχής. Καθώς τα συμπεράσματά τους δίνουν απάντηση συνήθως σε πολλά από τα προβλήματα τόσο της Μακροτεκτονικής όσο και της Γεωτεκτονικής. Γιατί οι κανόνες που διέπουν τις τεκτονικές δομές μικρών διαστάσεων, ισχύουν και για τεκτονικές δομές μεγαλύτερων διαστάσεων.

6.1 Μικροδομές της ρηξιγενούς τεκτονικής

Μερικές μικροδομές που παρατηρούνται σε ρήγματα ή σε ζώνες ρηγμάτων, και που κυρίως είναι τα χαρακτηριστικά αποτυπώματα πάνω στις ρηξιγενείς επιφάνειες, δείχνουν τη διεύθυνση και τη σχετική φορά της κίνησης των διαχωρισθέντων τεμαχίων. Τα στοιχεία αυτά είναι χρήσιμα γιατί μπορούν να αξιοποιηθούν ποσοτικά για τον υπολογισμό του είδους και της φοράς των τεκτονικών τάσεων.

Οι κυριότερες μικροδομές είναι οι πτεροειδείς ρωγμώσεις ή πτεροειδείς διακλάσεις, οι τεκτονικοί στυλόλιθοι, οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι τεκτονικές αυλακώσεις, οι τεκτογλυφές.

6.2 Πτεροειδείς ρωγμώσεις ή πτεροειδείς διακλάσεις

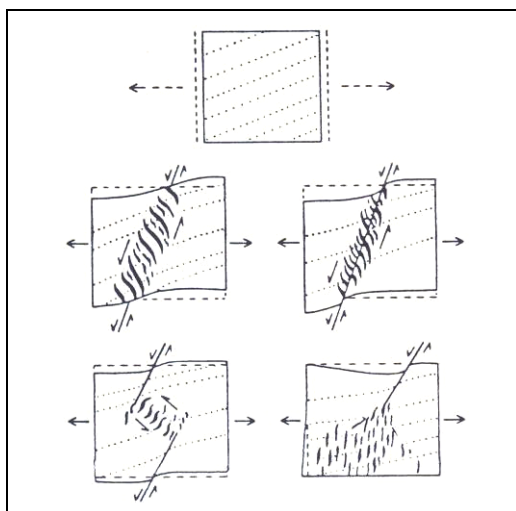
Οι πτεροειδείς ρωγμώσεις είναι μικρορωγμώσεις με σφηνοειδές σχήμα και κεκαμμένες ως σίγμα τελικό (S), αυτές έχουν μήκος εκατοστών του μέτρου μέχρι δεκάδων εκατοστών και πλάτος χιλιοστών ή λίγων εκατοστών. Αυτές προκύπτουν από διατμητικές τάσεις, αποτέλεσμα συμπιεστικών ή εφελκυστικών κύριων δυνάμεων (Σχήμα 15) και παρατηρούνται σε ζώνες ρηγμάτων στις περιοχές των ορίων των δύο μετακινούμενων τεμαχίων.

Οι πτεροειδείς ρωγμώσεις άλλοτε παραμένουν κενές, άλλοτε γεμίζουν με κρυστάλλους ασβεστίτη ή χαλαζία ή άλλων ορυκτών μετά από ανακρυστάλλωση του φιλοξενούντος τις ρωγμώσεις πετρώματος ή άλλου γειτονικού. Συνήθως η πλήρωση τους από ορυκτά συστατικά γίνεται συγχρόνως με τη δημιουργία (άνοιγμά) τους.

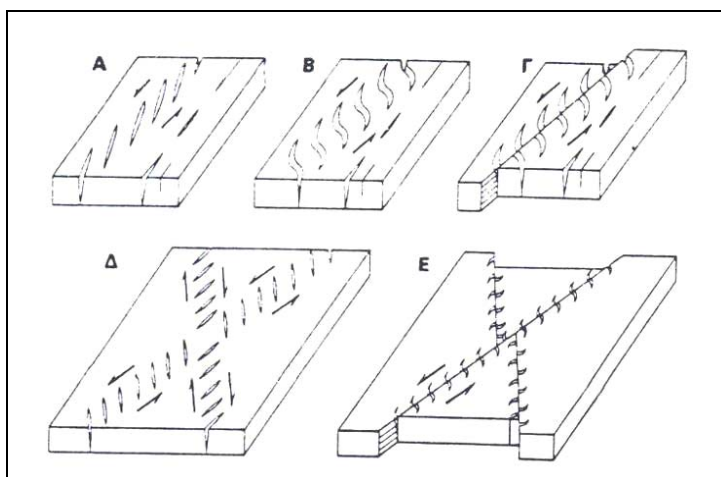
Οι πτεροειδείς ρωγμώσεις είναι συνήθως παράλληλες και ομοιομεγέθεις μεταξύ τους και διατάσσονται σε σειρές με τη γνωστή χαρακτηριστική κλιμακωτή διάταξη που ονομάζεται «en echelon» (Σχήμα 16).

Επίσης παρουσιάζονται παραμορφωμένες (Σχήμα 16B) ή διαρρηγμένες (Σχήμα 16Γ) από μεταγενέστερη τεκτονική δράση.

Συχνά δύο σειρές en echelon πτεροειδών ρωγμών ή ακόμα και οι κοινές διακλάσεις εμφανίζονται συνδεδεμένες (conjugate) σαν αποτέλεσμα



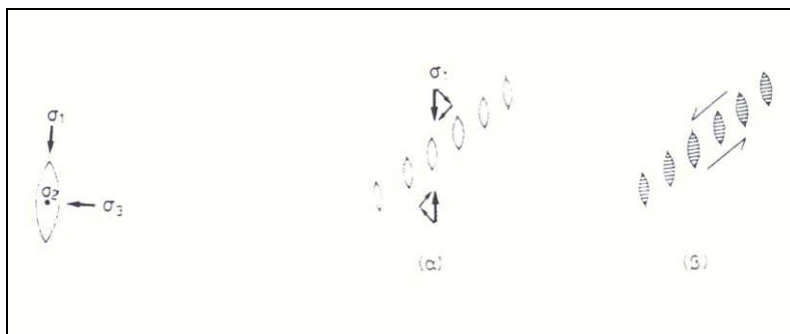
Σχήμα 15. Διάφορες μορφές πτεροειδών διακλάσεων (Κίλιας 1998).



Σχήμα 16. Διάφορες μορφές εμφάνισης πτεροειδών ρωγμών σε διάταξη en echelon. Α: μη παραμορφωμένες, Β: σιγμοειδείς, Γ: μεταγενέστερα διαρρηγμένες, Δ: συνδεδεμένες-συζυγείς, Ε: Συζυγείς μεταγενέστερα μετατοπισμένες (Κατά Mattauer 1973).

των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται σύμφωνα με το γεωμετρικό μοντέλο του Anderson (Σχήμα 16Δ).

Στο Σχήμα 17 δίνονται οι προσανατολισμοί των κυρίων αξόνων τάσης ως προς το σχήμα μια πτεροειδούς ρωγμώσης. Με αυτό τον προσανατολισμό και μετά την ανάλυση της τάσης σ_1 σε δύο σινιστώσεις είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η διάταξη του πιθανού διατμητικού συστήματος (cissaillement potentiel) σε μία κλιμακωτή σειρά (en echelon) πτεροειδών διακλάσεων (Σχήμα 17).



Σχήμα 17. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).

Ισχυρότερο διατμητικό σύστημα τάσεων είναι δυνατόν να προκαλέσει παραμόρφωση των διακλάσεων σε σιγμοειδείς πτεροειδείς ρωγμώσεις (Σχήμα 16B).

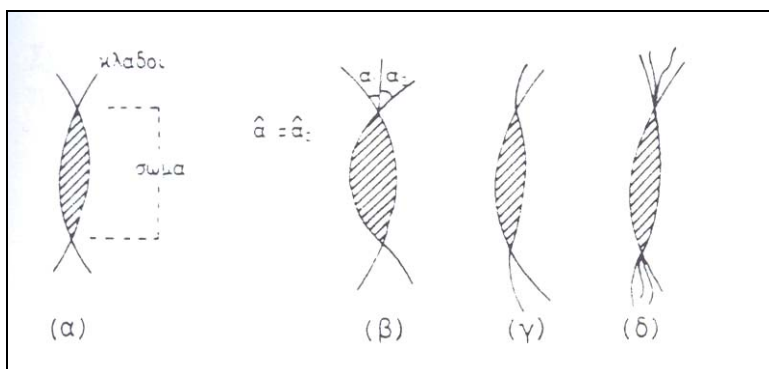
Στο Σχήμα 18 διακρίνονται το σώμα και οι κλάδοι της ρώγμωσης (α). Οι κλάδοι που είναι ανοιχτές ρωγμές (fissures) μπορεί να είναι συμμετρικοί (β) όταν η γωνία τους διχοτομείται συμμετρικά, ή να είναι ασύμμετροι (γ), ή ακόμη διακλαδιζόμενοι (δ).

Οι μισές-πτεροειδείς ρωγμώσεις αποτελούν ενδιαφέρουσες μορφές (Σχήμα 19) που το σχήμα της αρχικής-πλήρους πτεροειδούς ρωγμής αποκόπηκε είτε από την επίδραση μιας μεταγενέστερης διάτμησης (Α), είτε από τη δράση ενός μεταγενέστερου ρήγματος εφελκυστικής τεκτονικής (Β) είτε από τη κάποια συμπίεση, οπότε καταλήγει σε τεκτονικό στυλόλιθο (Γ).

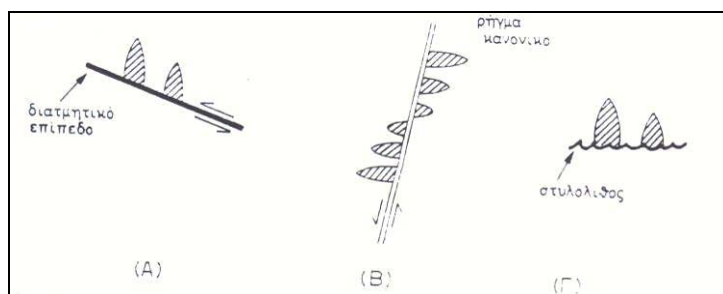
Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας πτεροειδούς διάκλασης δίνονται συνήθως με το λόγο μήκους προς μέγιστο πλάτος l/a (Σχήμα 20).

Σε μία σειρά en echelon των πτεροειδών διακλάσεων τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δίνονται από σχέση h/d , τα μεγέθη της οποίας φαίνονται στο σχήμα (Σχήμα 21A). Όταν ο λόγος h/d είναι μεγάλος τότε η μορφή της σειράς είναι του σχήματος (Β), ενώ όταν είναι μικρός του σχήματος (Γ).

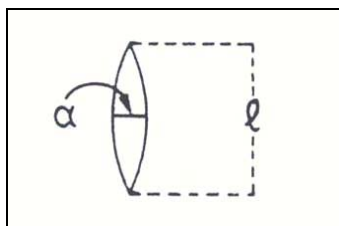
Ο μικροχώρος σύνδεσης ανάμεσα σε δύο συνεχόμενες πτεροειδείς ρωγμώσεις έχει διάφορες μορφές που απεικονίζονται στο Σχήμα 22.



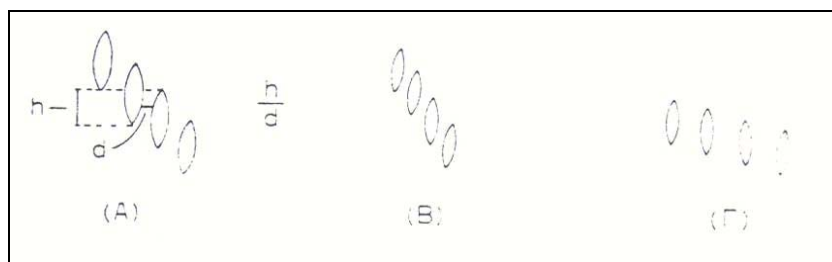
Σχήμα 18. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).



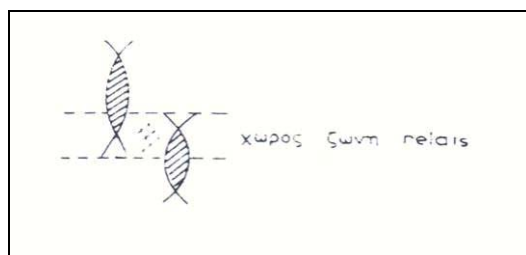
Σχήμα 19. Ημιπτεροειδής ρωγμώσεις. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).



Σχήμα 20. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας πτεροειδούς διάκλασης. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).



Σχήμα 21. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε μία σειρά en echelon των πτεροειδών διακλάσεων. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).



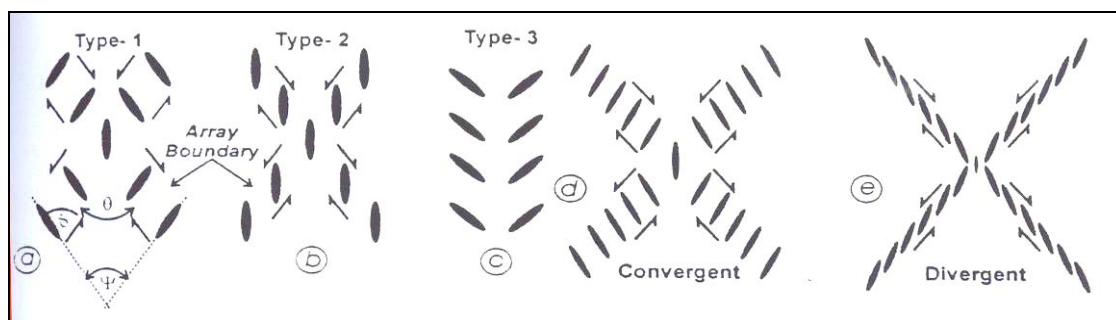
Σχήμα 22. Από Παυλίδη & Μουντράκη (1986).

Ο Beach (1975) χώρισε σε δύο γεωμετρικούς τύπους τις συνδεδεμένες κλιμακωτής διάταξης πτεροειδείς διακλάσεις (conjugate pairs of en-echelon vein arrays): τα **ζευγάρια τύπου-1** στο οποίο οι διακλάσεις είναι παράλληλες στο όριο της συμπληρωματικής παρατάξης (Σχήμα 23(α)), και τα **ζευγάρια τύπου-2** στο οποίο οι διακλάσεις και στις δύο παρατάξεις είναι παράλληλες μεταξύ τους, άσχετα από τα όρια των παρατάξεων (Σχήμα 23 (b)).

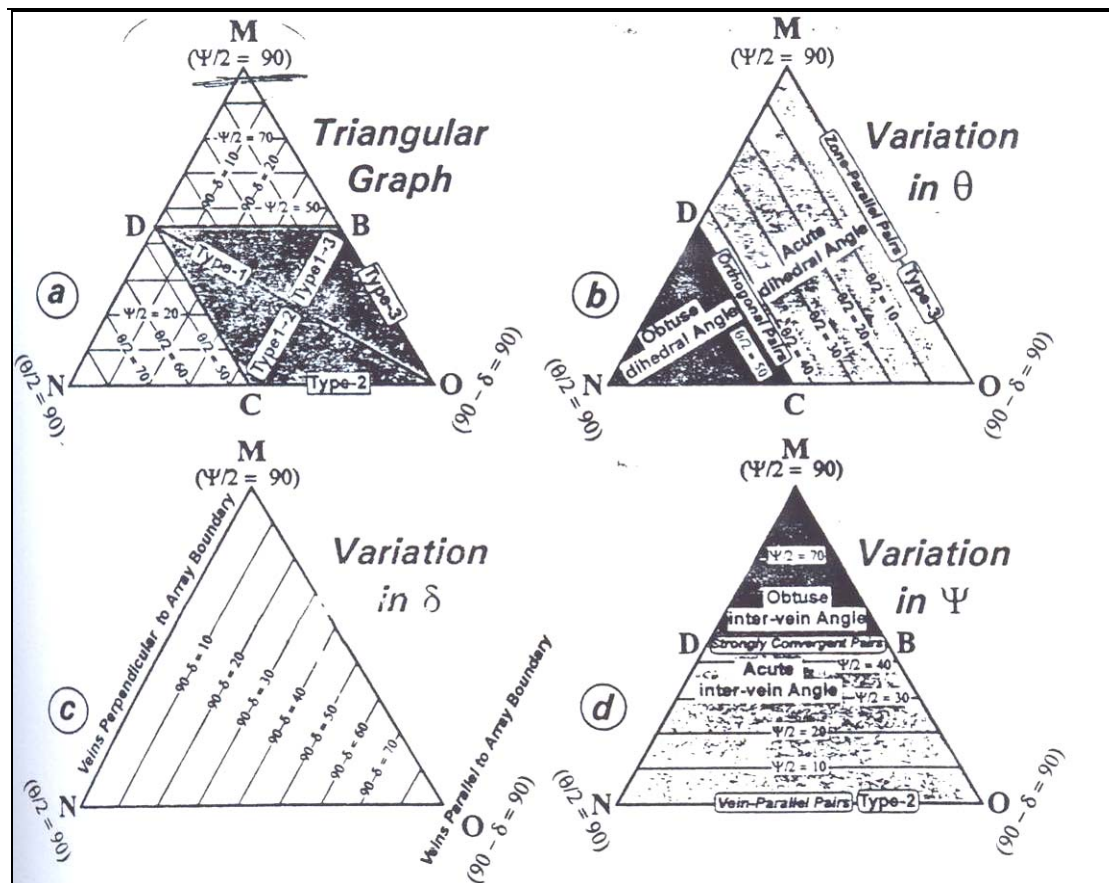
Σύμφωνα με τον Smith (1996) ένα σύστημα συζυγών διακλάσεων καθορίζεται σαν αποκλίνων ή συγκλίνων και αυτό εξαρτάται από το αν η γεωμετρική συμφωνία των διακλάσεων προσαρμόζεται στο πρότυπο

αποκλίνων ή συγκλίνων τύπων, αντίστοιχα (Σχήμα 23 d και e). Ο βαθμός σύγκλισης ή απόκλισης μιας συζυγούς διάκλασης ελέγχεται από τη σχέση μεταξύ των διεδρων γωνιών θ και δ των παρατάξεων (Σχ. 19α). Έχοντας υπόψη τη σχέση θ - δ , ο Deerak C. Srivastava (1999) κατηγοροποιεί σε πέντε ομάδες τις συζυγείς διακλάσεις (Σχήμα 25 in Smith 1996): (I) αποκλίνοντα ζευγάρια ($\theta > 2\delta$), (II) διχοτόμος παραλλήλων ζευγαριών ($\theta = 2\delta$), (III) συγκλίνοντα ζευγάρια ($2\delta > \theta > \delta$), (IV) διαγώνια παράλληλα ζευγάρια ($\theta = \delta$) και (V) δυνατά συγκλίνοντα ζευγάρια ($\theta < \delta$). Τα (II) και (IV) στο διαχωρισμό του Smith ανταποκρίνονται στα ζευγάρια τύπου-1, και τα ζευγάρια τύπου-2.

Τρεις γωνιακοί παράμετροι μπορούν να μετρηθούν γρήγορα είναι 1) η παρατασώμενη διεδρή γωνία θ , 2) η παρατασόμενη γωνία δ και 3) τη γωνία ψ (Σχήμα 23α). Κάθε ομάδα από τις τρεις γωνιακές παραμέτρους ορίζει την ολοκληρωμένη γεωμετρία μιας συζυγής διάκλασης. Διάφορα πρότυπα συζυγών διακλάσεων που είναι πιθανά για διαφορετικές τιμές των θ , δ και ψ αποτελούν ένα συνεχές γεωμετρικό φάσμα το οποίο ορίζεται από τρία μέλη, ονομαζόμενα, ζεύγος τύπου-1, ζεύγος τύπου-2 (φλέβες παράλληλες) και ζεύγος τύπου-3 (παράλληλη ζώνη) (Σχήμα 23 a-c). Οι γεωμετρίες των ζευγών τύπου-1, τύπου-2 και τύπου-3 περιορίζονται από τις συνθήκες $\theta = \delta = \psi$, $\psi = 0^\circ$ και $\theta = 2\delta$, και $\theta = 0^\circ$ και $\psi = 2\delta$ αντίστοιχα.



Σχήμα 23. Ο τύπος-1, ο τύπος-2, ο τύπος-3 καθώς και οι συγκλίνων και αποκλίνων μορφές των διακλάσεων (κατά Smith 1996).



Σχήμα 24. Τριγωνικά διαγράμματα (κατά Srivastava 2000).

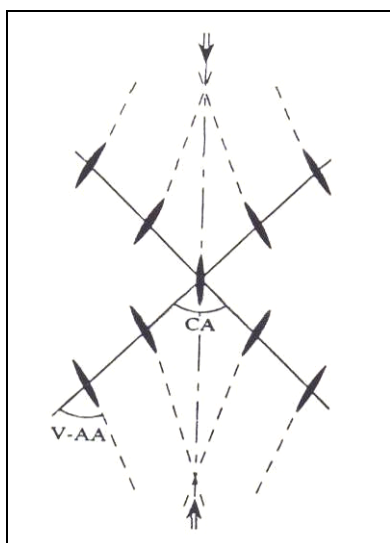
Οι τύπου-3 συνήθως έχουν μόνο ένα γεωμετρικό μέλος, γιατί η εξέλιξη μίας τέτοιας συμφωνίας δεν είναι πιθανή μηχανικά, καθώς προτείνει αντίθετη αίσθηση διαμητικής σε δύο παρατάξεις που είναι κλειστές και επίσης παράλληλες μεταξύ τους. Παρόλα αυτά μερικές συζυγείς διακλάσεις που χαρακτηρίζονται από μικρή γωνία θ ($\theta < 20^\circ$) τείνουν να εμφανίσουν μια συμφωνία τύπου-3 που όμως με την αυστηρή έννοια δεν θα το επιτύχουν ποτέ.

Ο J. Smith (1996) αναγνώρισε δύο γεωμετρικούς τύπους για τη κλιμακωτή διάταξη των φλεβών. Το σύστημα τύπου-1 στο οποίο οι φλέβες μίας παρατάξης, που φιλοξενεί αυτές τις φλέβες, είναι παράλληλη προς την κύρια διεύθυνση των συζυγών διακλάσεων. Ενώ στο σύστημα τύπου-2 όλες οι φλέβες είναι παράλληλες με τη διχοτόμο των συζηγών διακλάσεων.

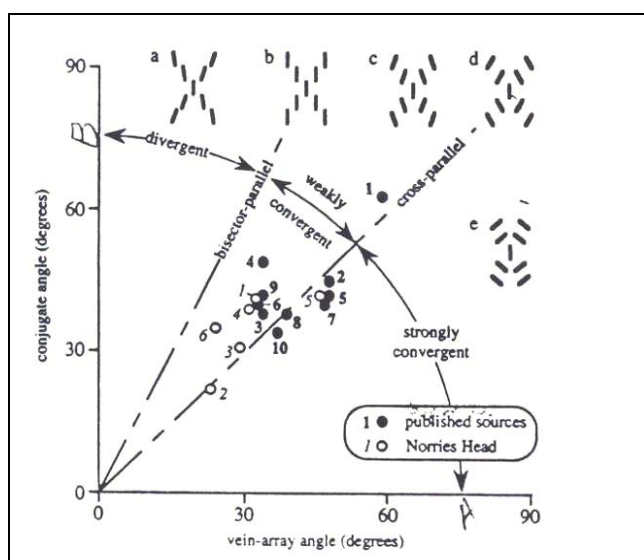
Η γεωμετρική συνέχεια ενός συστήματος συζυγών διακλάσεων μπορεί να καθοριστεί από μια σχέση της γωνίας μεταξύ των συζυγών διακλάσεων και τον προσανατολισμό της φλέβας στη παρατάξη που τη φιλοξενεί V-AA (Σχήμα 25).

Η ακτίνα δράσης A-B (Σχήμα 26) μπορεί να υποδιαιρεθεί με την ταξινόμηση των πτυχών σε δύο τύπους: συγκλίνοντα και αποκλίνοντα,

βασισμένα στην διεύθυνση των ισογώνων κλίσεων από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του επιπέδου της πτυχής συμφωνά με τον Ramsay (1962). Ένα συγκλίνον σύστημα συζυγών διακλάσεων είναι ένα σύστημα στο οποίο οι διεύθυνσεις των διακλάσεων συγκλίνουν όταν ακολουθούνται μέσα σε μπλοκ πετρωμάτων τα οποία περιέχουν τους κύριους μικρούς άξονες της τάσης (Σχήμα 26c-e). Σε αντίθεση τα αποκλίνοντα συστήματα συζυγών διακλάσεων οι διεύθυνσεις των διακλάσεων αποκλίνουν όταν ακολουθούνται από μπλοκ πετρωμάτων τα οποία περιέχουν τους κυριούς μικρους άξονες (Σχήμα 26a).



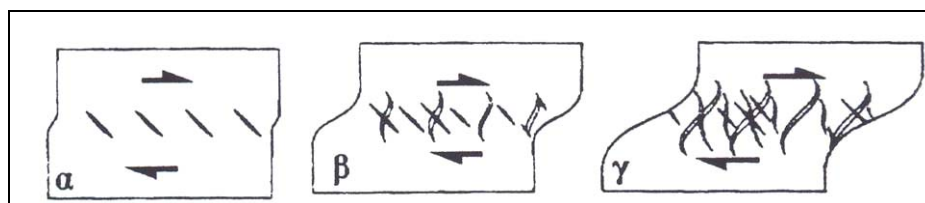
Σχήμα 25. Κατά Smith 1996.



Σχήμα 26. Κατά Smith 1996.

Η συνέχιση της παραμόρφωσης έχει σαν αποτέλεσμα να σχηματισθούν νέες διακλάσεις, οι οποίες θα τέμνουν τις αρχικές διακλάσεις και θα σχηματίζουν μ' αυτές γωνία 45° και ονομάζονται δεύτερης γενεάς

(Σχήμα 27B). Ακόμη μπορούν να σχηματιστούν και διακλάσεις τρίτης γενεάς(Σχήμα 27Γ).



Σχήμα 27. Από Κουκούβελα (1998).

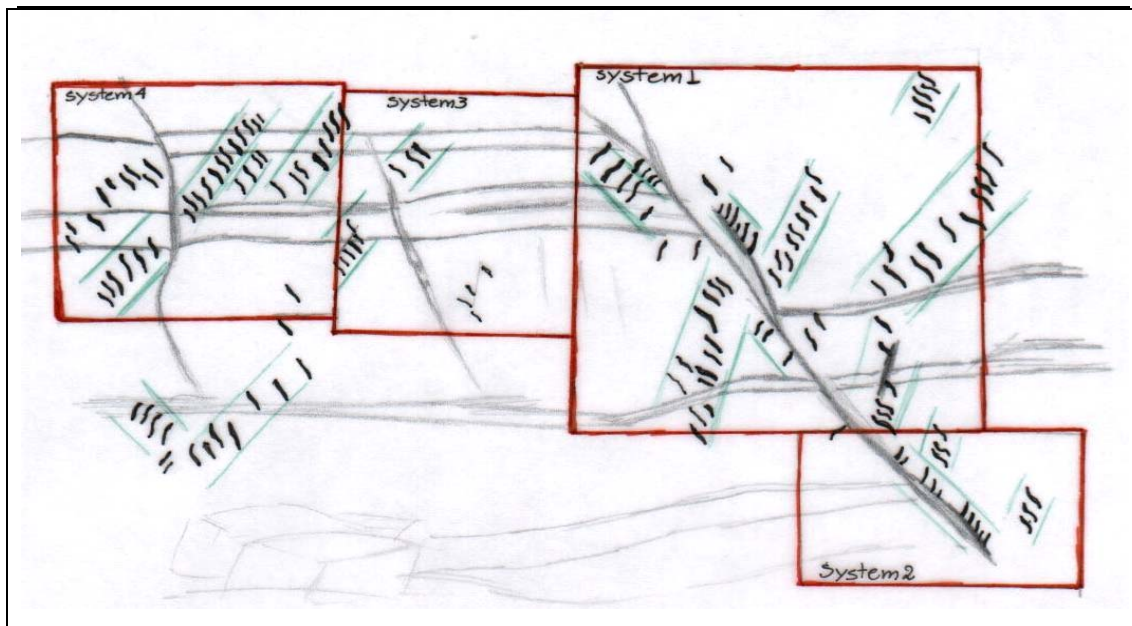
6.3 Παρατηρήσεις – Μετρήσεις Υπαίθρου

Η περιοχή παρατήρησης και μελέτης των διακλάσεων και η πραγματοποίηση των μετρήσεων, έγιναν σε λατομείο, ΝΝΑ του χωριού Βαρβάρα Χαλκιδικής.

Το ρήγμα της Βαρβάρας με μήκος, περίπου 6 km, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και μετάπτωση προς τα ΝΔ, διαμορφώνει, όπως προαναφέρθηκε, μία μεγάλη κοιλάδα (ρέμα Ξηρόλακος) κόβοντας μάρμαρα και γνευσίους της ενότητας των κερδυλλίων. Σε επιφάνειες του ρήγματος, εντός του μαρμάρου βρέθηκαν ασβεστιτικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι οποίες αντιστοιχούν σε δράση του ρήγματος ως αριστερόστροφου οριζόντιας μετατόπισης και ως κανονικού (Τρανός 1998).

Επίσης εντός του μαρμάρου της ίδιας ενότητας, οι διακλάσεις έχουν πλήρωθει με μικρού μήκους φλέβες ασβεσίτη. Οι διακλάσεις είναι σχεδόν παράλληλες, ομοιομεγέθεις μεταξύ τους και διατάσσονται σε σειρές κλιμακωτής διάταξης “en echelon”. Συχνά εμφανίζονται συνδεδεμένες-συζυγείς (conjugate) (Σχήμα 28) ή διαρρηγμένες από μεταγενέστερη τεκτονική δράση.

Το ισχυρότερο διατμητικό σύστημα τάσεων προκάλεσε, στην περιοχή αυτή, παραμόρφωση των διακλάσεων σε σιγμοειδείς πτεροειδείς ρωγμώσεις (Εικόνα 1.).



Σχήμα 28. Θέση Εικόνας 1.

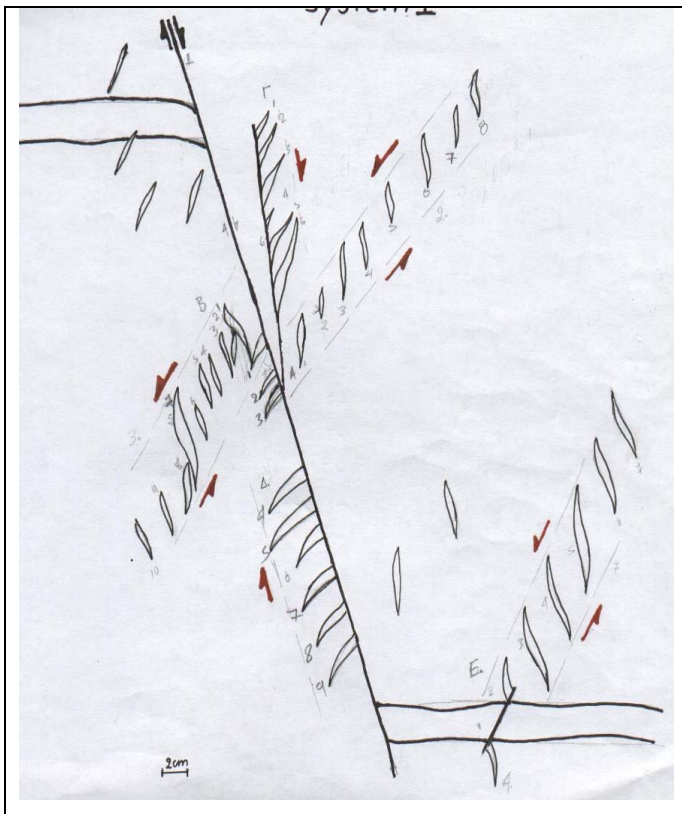


Εικόνα 1. Σιγμοειδείς πτεροειδείς ρωγμώσεις.

Οι πτεροειδείς ρωγμώσεις, στην περιοχή μελέτης, σχηματίστηκαν από διατμητικές τάσεις συνέπεια εφελκυστικών δυνάμεων και παρατηρήθηκαν σε ζώνες ρηγμάτων στην περιοχή των ορίων των δύο μετακινουμένων τεμαχίων.

Παρακάτω δίνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτεροειδών διακλάσεων, με το λόγο μήκους προς μέγιστο πλάτος L/a . Επίσης δίνονται και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σειρών en echelon των πτεροειδών διακλάσεων από τη σχέση h/d , χωριστά για κάθε σύστημα (Πίνακας 2, Σχήμα 28).

Τέλος γίνεται η ανάλυση των πτεροειδών ρωγμών, για το σκοπό αυτό οι πτεροειδείς ρωγμές μετρήθηκαν ως επίπεδα και σε στερεογραφική προβολή προβάλλονται οι πόλοι τους, όπου το μέγιστο των πυκνοτήτων αντιστοιχεί στον άξονα εφελκυσμού (Σχήμα 30 έως Σχήμα 35).



Σχήμα 29. Σιγμοειδείς πτεροειδείς ρωγμές του συστήματος 1.



Εικόνα 2. Ανάπτυξη συστήματος πτεροειδών ρωγμών (en echelon) πληρωμένων με ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη. Συζυγείς μεταγενέστερες μετατοπισμένες.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 1.

<u>A</u>	L(cm)	a(cm)	L/a	h(cm)	d(cm)	h/d
1.	7	0,4	17,5	4	2	2
2.	6	0,5	12	1,2	1	1,2
3.	6	0,5	12	1,6	1,2	1,3333
4.	4	0,2	20	4,4	4	1,1
5.	4	0,3	13,3	4	4,2	0,9524
6.	5	0,2	25	4,2	3,8	1,1053
7.	4,5	0,3	15	2,2	2,2	1
8.	7	0,5	14			
<u>B</u>	L(cm)	a(cm)	L/a	h(cm)	d(cm)	h/d
1.	5	0,5	10	0,8	0,4	2
2.	2	0,3	6,67	0,6	0,4	1,5
3.	4	0,3	13,3	0,8	1	0,8
4.	3	0,3	10	0,8	0,6	1,3333
5.	4,5	0,5	9	1,2	1	1,2
6.	3	0,5	6	4,4	4	1,1
7.	8	1	8	0,8	0,2	4
8.	4	0,3	13,3	1	1,4	0,7143
9.	4	0,3	13,3	1	1,5	0,6667
10.	4,3	0,4	10,8			
<u>Γ</u>	L(cm)	a(cm)	L/a	h(cm)	d(cm)	h/d
1.	2	0,2	10	0,8	0,8	1
2.	2	0,2	10	0,8	1	0,8
3.	3,5	0,7	5	1,2	0,8	1,5
4.	1,5	0,2	7,5	1,2	1,4	0,8571
5.	4	0,6	6,67	1,2	1,3	0,9231
6.	5	0,7	7,14			
<u>Δ</u>	L(cm)	a(cm)	L/a	h(cm)	d(cm)	h/d
1.	2	0,5	4	0,5	1	0,5
2.	2,5	0,5	5	0,5	0,8	0,625
3.	2,5	0,3	8,33	1,2	1	1,2
4.	3	0,4	7,5	1,2	1	1,2
5.	2,5	0,3	8,33	1,6	1,4	1,1429
6.	2	0,2	10	0,8	1,4	0,5714
7.	2	0,2	10	1	1,5	0,6667
8.	4	0,2	20	1	1,4	0,7143
9.	4,5	0,5	9			
<u>Ε</u>	L(cm)	a(cm)	L/a	h(cm)	d(cm)	h/d
1.	4	0,5	8			
2.	2	1	2	2	2,2	0,9091
3.	4	0,7	5,71	2,4	2,5	0,96
4.	5,5	0,7	7,86	2,5	2,6	0,9615
5.	8	0,5	16	2	2,5	0,8
6.	6	0,6	10	2,4	2,2	1,0909
7.	6	0,5	12			

Πίνακας 2. Πίνακας με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτεροειδών ρωγμών του συστήματος μελέτης 1.

SYSTEM 1Ρήγμα: 54/55, 56/55, 58/60, 50/60

Α. Παράταξη διακλάσεων (Α): 270/70

Επίπεδα διακλάσεων :

1. 208/55

2. 216/65

3. 208/70

4. 201/35

5. 198/55

Β. Παράταξη διακλάσεων (Β): 254/70

Επίπεδα διακλάσεων:

1. 190/55

2. 210/50

3. 202/40

4. 204/40

5. 220/55

6. 218/60

7. 212/40

Γ. Παράταξη διακλάσεων (Γ): 96/65

Επίπεδα διακλάσεων:

1. 38/70

2. 34/75

3. 34/65

4. 36/75

Δ. Παράταξη διακλάσεων (Δ): 82/55

Επίπεδα διακλάσεων:

1. 34/85

2. 34/70

3. 36/70

4. 50/65

5. 40/70

Ε. Παράταξη διακλάσεων (Ε): 255/60

Επίπεδα διακλάσεων:

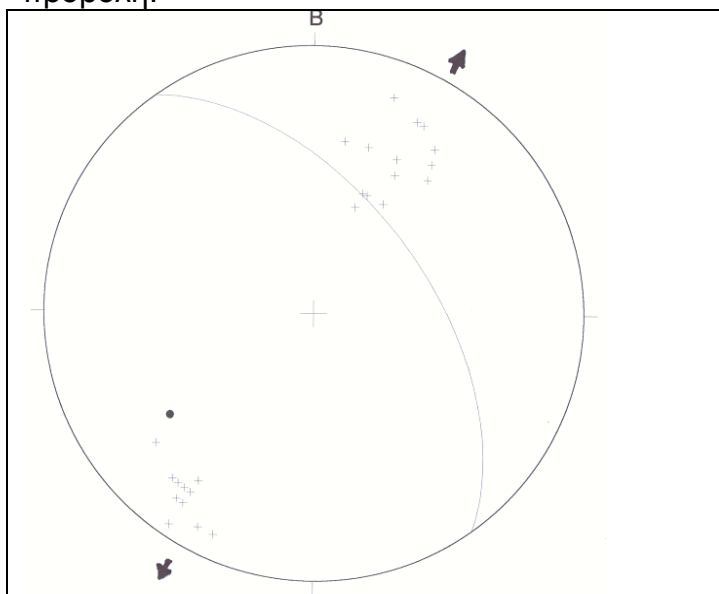
1. 200/75

2. 210/70

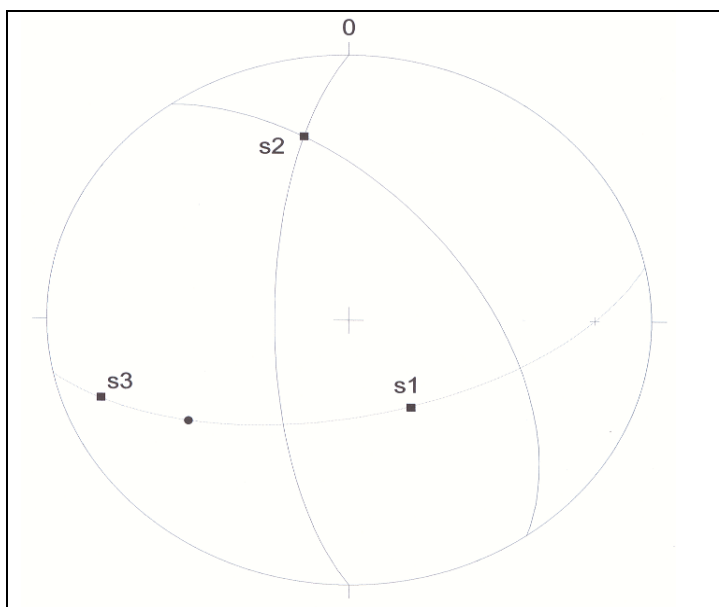
3. 24/80

4. 28/80

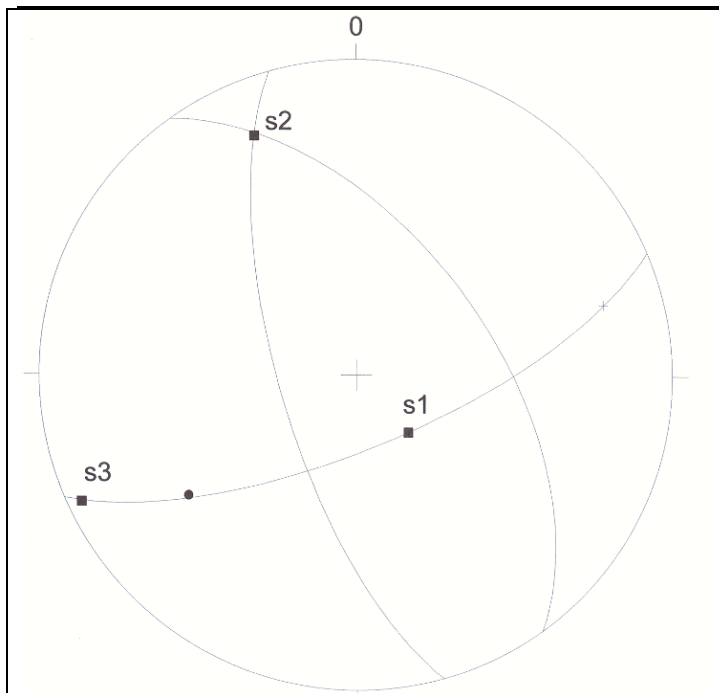
Ανάλυση πτεροειδών ρωγμών, του συστήματος 1, σε στερεογραφική προβολή:



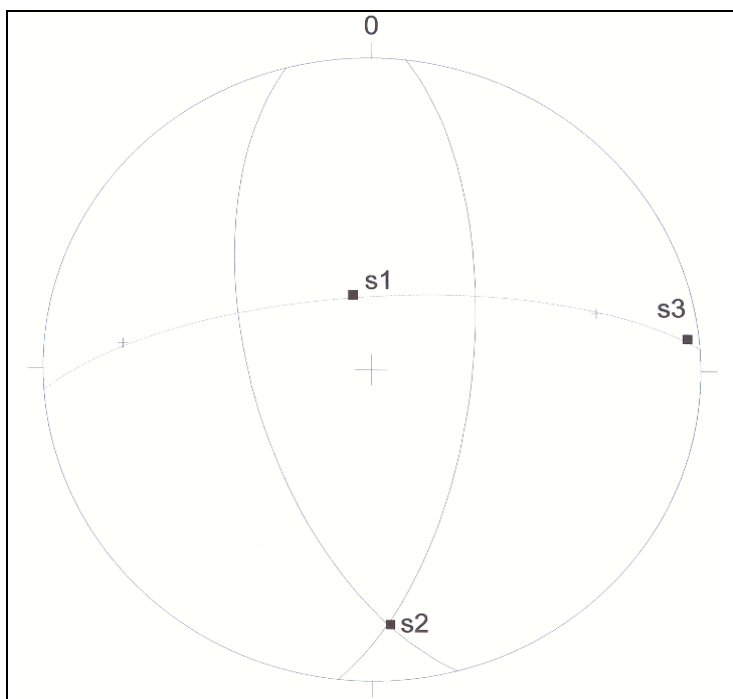
Σχήμα 30. Πόλοι (+) πτεροειδών ρωγμών. Κανονικό ρήγμα (.)



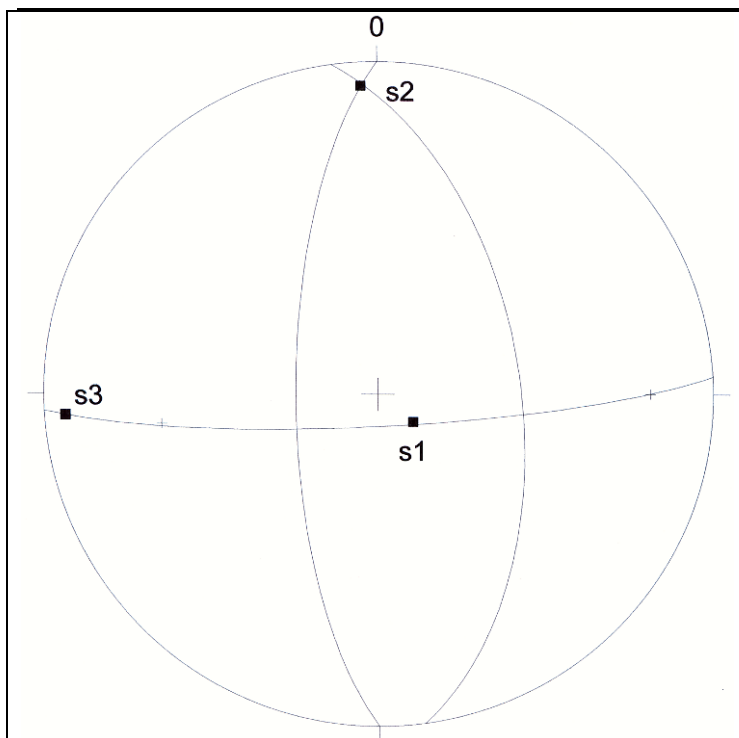
Σχήμα 31. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Κανονικό ρήγμα (.), παράταξη διακλάσεων (array) (+). $\sigma_1=136/62$ ΝΑ, $\sigma_2=350/24$ ΒΔ, $\sigma_3=252/14$ ΝΔ.



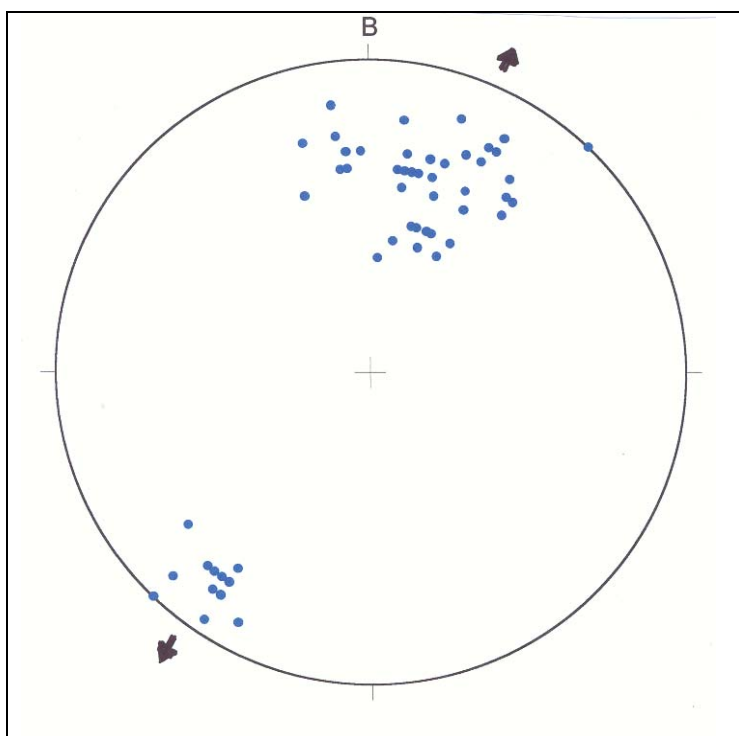
Σχήμα 32. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Κανονικό ρήγμα (.), παράταξη διακλάσεων (array) (+). $\sigma_1=138/70$ ΝΑ, $\sigma_2=337/17$ ΒΔ, $\sigma_3=245/5$ ΝΔ.



Σχήμα 33. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Παρατάξεις διακλάσεων (arrays) (+). $\sigma_1=347/70$ ΒΔ, $\sigma_2=176/20$ ΝΑ, $\sigma_3=84/4$ ΒΑ.



Σχήμα 34. Προσανατολισμός τεκτονικών τάσεων, δύο συζυγών ρηγμάτων. Παρατάξεις διακλάσεων (arrows) (+). $\sigma_1=129/79$ ΝΑ, $\sigma_2=356/8$ ΒΔ, $\sigma_3=266/7$ ΝΔ.



Σχήμα 35. Ανάλυση πτεροειδών ρωγμών, των συστημάτων 1, 2, 3 και 4, σε στερεογραφική προβολή. Πόλοι (•) πτεροειδών ρωγμών.

6.4 Συμπεράσματα

Μελετήθηκαν τα συστήματα πτεροειδών διακλάσεων σε παλαιοζωικά μάρμαρα της Σερβομακεδονικής (σειρά Κερδυλλίων) στην περιοχή Βαρβάρα Χαλκιδικής.

Σύμφωνα με τον J. Smith (1996) τα συστήματα πτεροειδών διακλάσεων στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται ως συγκλίνοντα (Σχήμα 26), στα οποία η διχοτόμος, που βρίσκεται ανάμεσα στα τεμάχη που συγκλίνουν το ένα προς το άλλο, αντιστοιχεί στον κύριο συμπίεστικό άξονα τάσεις, ενώ η διχοτόμος που βρίσκεται ανάμεσα στα τεμάχη που αποκλίνουν το ένα από το άλλο, αντιστοιχεί ο κύριος εφελκυστικός άξονας.

Σύμφωνα με τον D. Srivastava (1999) το σύστημα χαρακτηρίζεται ως συγκλίνων (ζευγάρια τύπου-1).

Τα γεωμέτρικα χαρακτηριστικά των en echelon πτεροειδών διακλάσεων, που δίνονται από τη σχέση h/d είναι σχεδόν σταθερό και σχεδόν κοντά στη μονάδα, άρα η διαταγή τους στο χώρο είναι πυκνές (Σχήμα 20 και Σχήμα 21), ενώ το μήκος και το μέγιστο πλάτος είναι ποικίλο.

Από την ανάλυση των συστημάτων-1, 2, 3 και 4 (Σχήμα 30 έως Σχήμα 35) των πτεροειδών ρωγμών καθορίζεται η γενική διεύθυνση του κυρίου άξονα επιμήκυνσης X (άξονας εφελκυσμού), ο οποίος έχει διεύθυνση BBA – NND (Σχήμα 35).

Από τεκτονικές έρευνες της ευρύτερης περιοχής (Sokoutis et. al. 1993) (Kiliias et al. 1999) προκύπτει ότι κατά το διάστημα μετά το Ηώκαινο μέχρι σήμερα επικρατεί ένα συνεχές εφελκυστικό πεδίο, για το Βορειοελλαδικό χώρο. Από την ποσοτική ανάλυση των πτεροειδών ρωγμών, παρατηρούμε ότι συμπίπτει με το εφελκυστικό πεδίο Πλειοκαίνου-Κατώτερου Πλειστοκαίνου με BA-NΔ διεύθυνση μέγιστου εφελκυσμού.

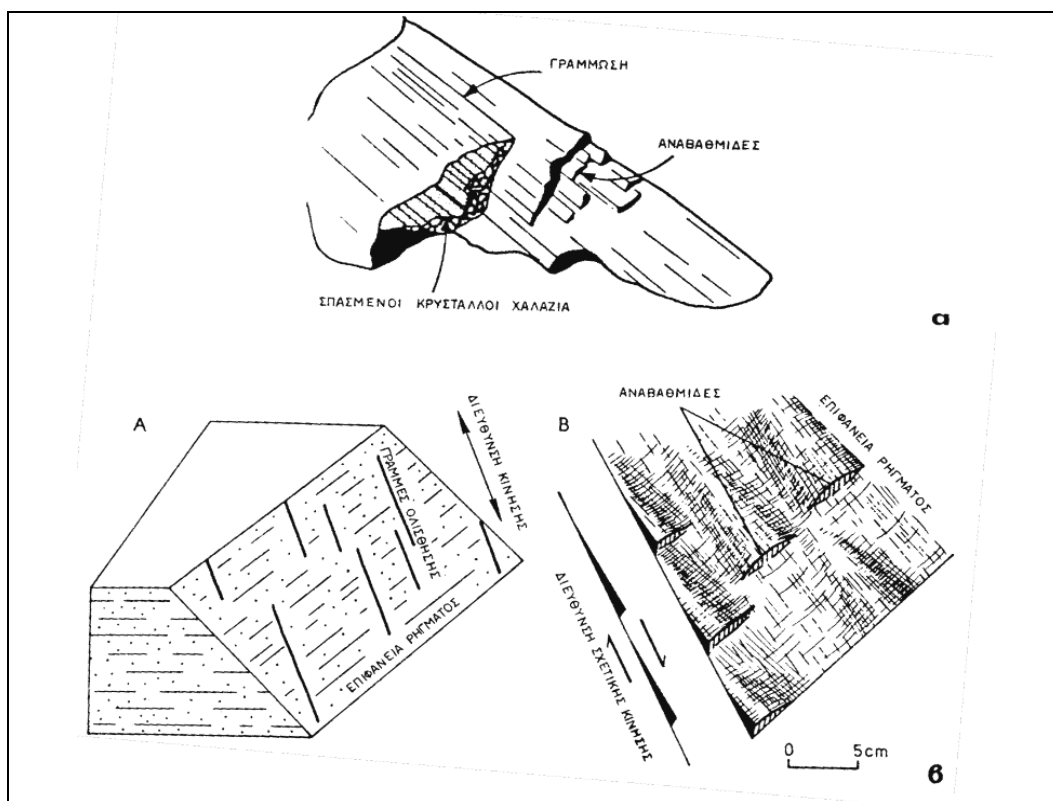
6.5 Γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης

Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης είναι μικρές, πολύ λεπτές χαραγές πάνω σε λείες κατοπτρικές ρηξιγενείς επιφάνειες (Σχήμα 36). Σχηματίζονται από την τριβή μικρών κόκκων των πετρωμάτων κατά τη σχετική κίνηση των δύο τεμαχίων του ρήγματος.

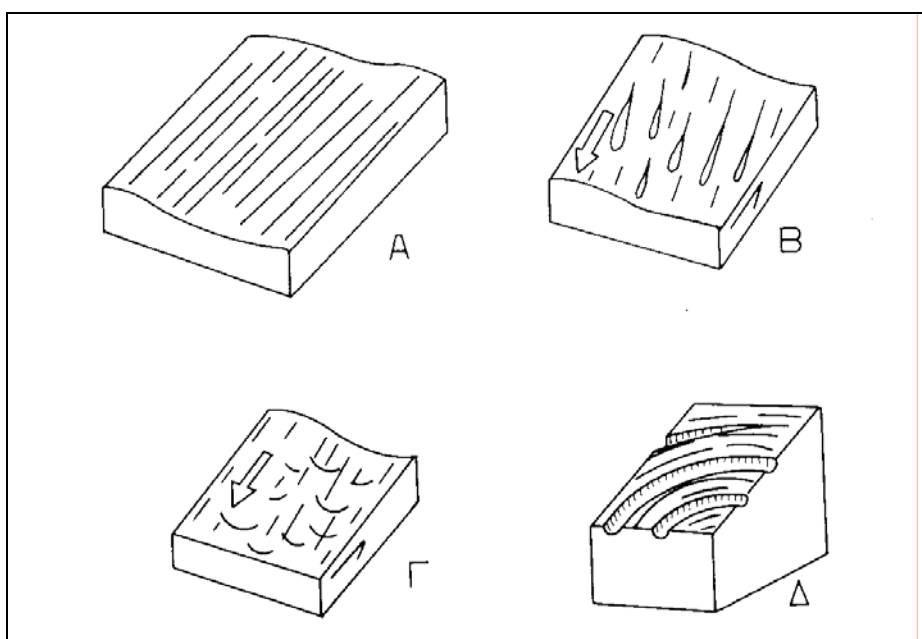
Συνήθως είναι λεπτές παράλληλες χαραγές (Σχήμα 37Α). Άλλες φορές παρουσιάζουν βαθιές αποστρογγυλεμένες απολήξεις (Σχήμα 37Β). Όταν οι

γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης είναι κυρτές γραμμές λέγονται ημισελήνοειδείς γραμμώσεις (Σχήμα 37Γ,Δ).

Πολλές φορές οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης συνοδεύονται στις ρηξιγενείς επιφάνειες και από άλλες μικροδομές, τις τεκτογλυφές (τεκτονικές αναβαθμίδες) και η συνδυασμένη παρατήρησή τους βοηθά τον καθορισμό της φοράς της κίνησης (Σχήμα 36α).



Σχήμα 36. α) Ρηξιγενείς επιφάνειες και δημιουργία γραμμώσεων ολίσθησης με αναβαθμίδες, β) Ρηξιγενείς επιφάνειες με γραμμώσεις ολίσθησης.



Σχήμα 37. Γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (από Παυλίδη & Μουντράκη (1986)).

6.6 Δείγματα

Η περιοχή μελέτης, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα, δομείται από λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και του Βερτίσκου και διατρέχεται από τα μεγάλα ρήγματα Στρατωνίου και Βαρβάρας Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης αντίστοιχα το οποίο έχει παίξει κυρίαρχο ρόλο στη μεταφορά και απόθεση, τόσο της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στο δυτικό τμήμα (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μεταλλευτικών Εγκαταστάσεων Στρατωνίου, ECHMES-ENVECO, Αύγουστος 1997), όσο και της θειούχου μεταλλοφορίας στην ανατολική προέκταση.

Τα κοιτάσματα της περιοχής Στρατωνίου είναι υδροθερμικής προέλευσης, μέσης έως χαμηλής θερμοκρασίας συνδέονται γενετικά με τους απλίτες της περιοχής. Τα μεταλλοφόρα σώματα είναι στρωματοειδή και απαντώνται στον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρου κοντά στην επαφή του με τον υπερκείμενο βιοτιτικό γνεύσιο (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μεταλλευτικών Εγκαταστάσεων Στρατωνίου, ECHMES-ENVECO, Αύγουστος 1997). Η μεταλλοφορία εξελίσσεται σταδιακά από μαγγανιούχα οξειδία, σε μικτά θειούχα μεταλλεύματα (B.P.G.), σε μεταλλοφορία μεταμόρφωσης εξ επαφής μικτών θειούχων μεταλλευμάτων B.P.G. και τέλος σε σιδηροπυρίτη μέσα σε skarn πλούσιο σε ασβέστιο.

Τα κύρια ορυκτά των μικτών θειούχων μεταλλευμάτων των μεταλλείων Μάντεμ Λάκκου και Μαύρων Πετρών είναι ο σιδηροπυρίτης, ο γαληνίτης, ο σφαλερίτης, ο χαλκοπυρίτης, ο αρσενοπυρίτης κ.λ.π.

Τα δείγματα δόθηκαν από την TVX Hellas A .E – Μεταλλεία Κασσάνδρας, βρέθηκαν σε στοά των μεταλλείων Μάντεμ Λάκκου – TVX Hellas A .E. κάτω από τον οικισμό Στρατονίκη. Τα δύο δείγματα (**Δ1** και **Δ2**) είναι τμήματα τις μεγάλης ρηξηγενούς επιφάνειας (κατοπτρική) του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου (Σχήμα 38 έως Σχήμα 46).

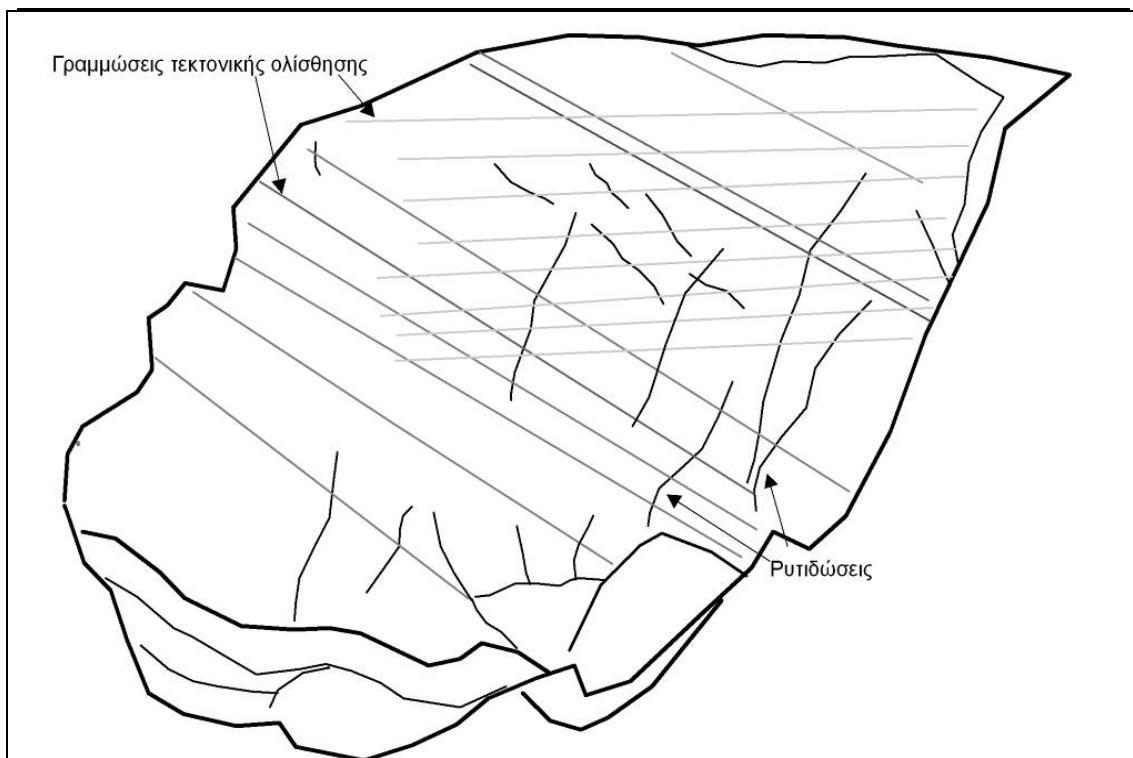
Τα κύρια ορυκτά των δειγμάτων είναι: γαληνίτης, σφαλερίτης και σιδηροπυρίτης. Η χημική σύσταση των δειγμάτων είναι: ψευδάργυρος, σίδηρος, μόλυβδος.



Σχήμα 38. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 39. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 40. Σκίτσο του δείγματος 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



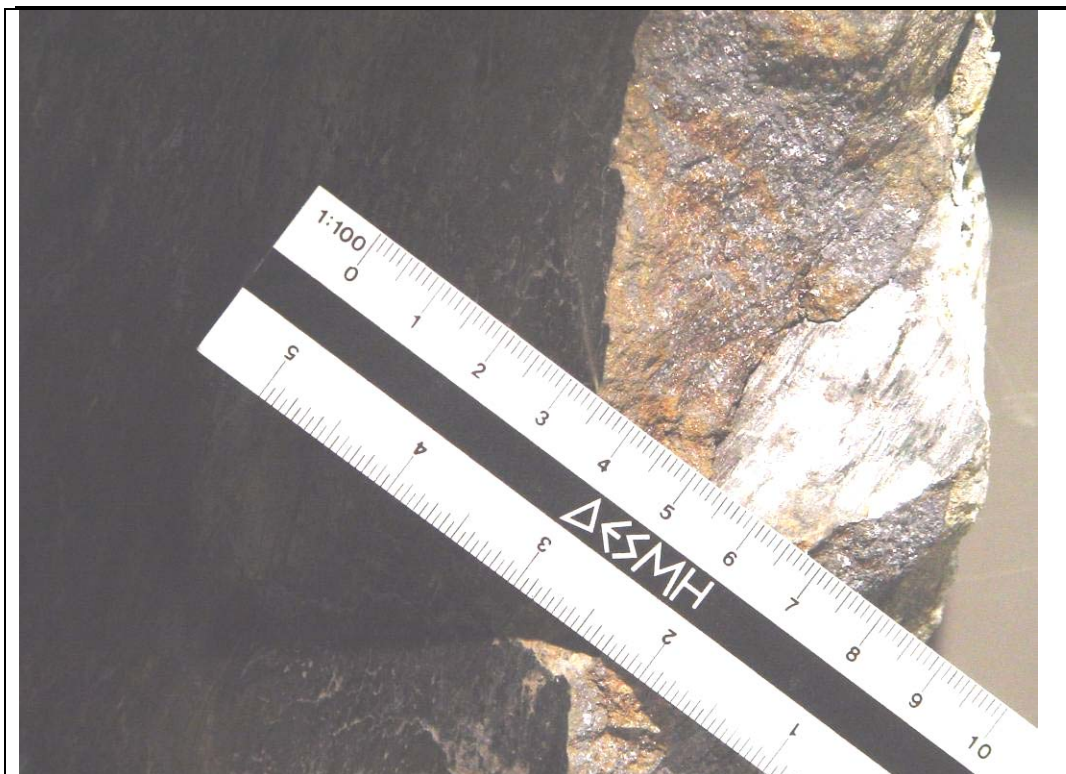
Σχήμα 41. Δείγμα 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 42. Σκίτσο του δείγματος 1 (Δ1) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



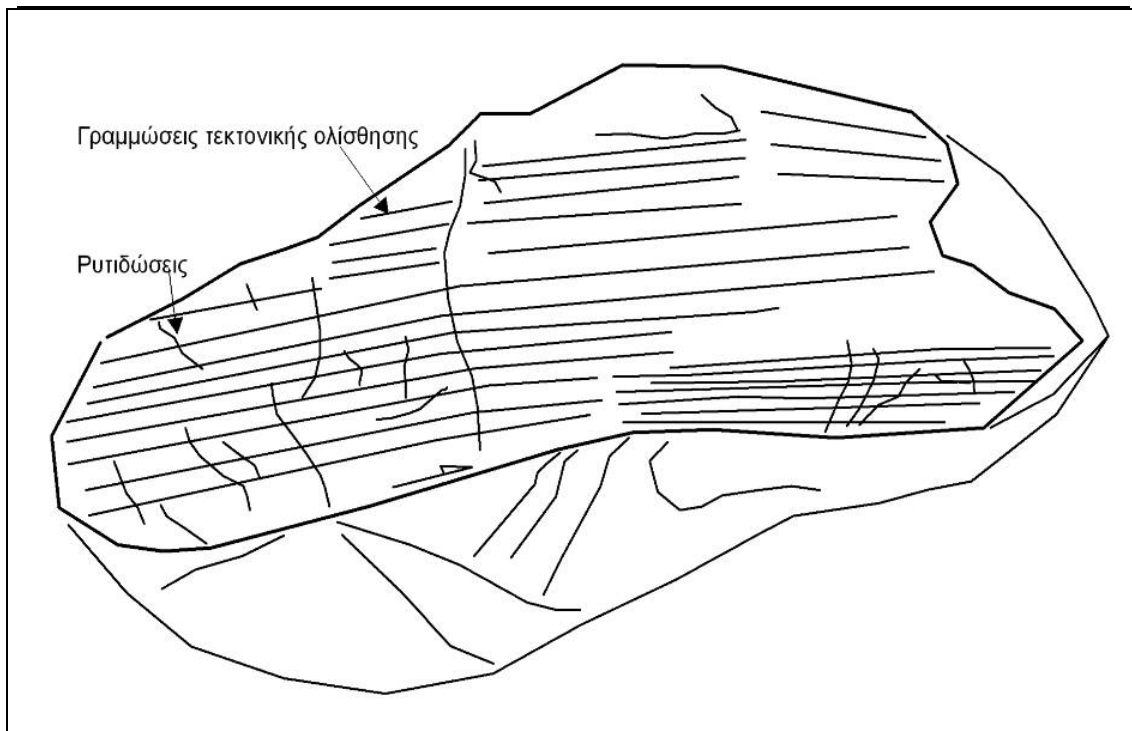
Σχήμα 43. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 44. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 45. Δείγμα 2 (Δ2) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.



Σχήμα 46. Σκίτσο του δείγματος 2 (**Δ2**) κατοπτρική ρηξιγενή επιφάνεια με γραμμώσεις ολίσθησης και αναβαθμίδες.

Τα δύο δείγματα (**Δ1** και **Δ2**) είναι τμήματα τις μεγάλης ρηξιγενούς επιφάνειας (κατοπτρική) του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου που αναπτύσσονται τα μικτά θειούχα και διακόπτεται η συνέχεια του. Η κατοπτρική επιφάνεια τους αποτελείται από σιδηροπυρίτη και γαληνίτη και για το λόγω αυτό τα δείγματα αυτά είναι πολύ σπάνια (Σχήμα 38 έως Σχήμα 46).

Η κατοπτρική επιφάνεια τους είναι έντονα λειασμένη, με μεταλλική λάμψη και λεπτό κατακλαστικό υλικό, με γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που δείχνουν την διεύθυνση της κίνησης του ρήγματος και τεκτόγλυφες κυρίως της τεκτονικές αναβαθμίσεις (steps) που καθορίζουν και τη φορά της κίνησης (Σχήμα 40, Σχήμα 42 και Σχήμα 46). Το πάχος της κατοπτρικής επιφάνειας είναι 0,4 cm (Σχήμα 41 και Σχήμα 44). Επίσης υπάρχουν έντονες μικρές ρυτιδώσεις κάθετες στη διεύθυνση της κίνησης (Σχήμα 41 και Σχήμα 46). Σε μικροκλίμακα τα ορυκτά είναι προσανατολισμένα στη φορά της κίνησης όπως παρατηρήθηκε και στο μικροσκόπιο.

6.7 Πετρώματα ρηξιγενών ζωνών

Στις παραγράφους 6.7.1 και 6.7.2 αναφέρονται ποιους τύπους πετρωμάτων παίρνουμε, ανάλογα με το αν η δυναμική μεταμόρφωση που λαμβάνει χώρα γίνεται σε μικρά ή μεγάλα βάθη.

6.7.1 Εύθραυστη παραμόρφωση

Εύθραυστη παραμόρφωση ή δυναμική μεταμόρφωση σε μικρά βάθη στο φλοιό της γης, μέχρι περίπου 15 Km, τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως προς τη μηχανική τους κατάσταση συμπεριφέροντε σαν ελαστικά μεν, αλλά εύθραυστα (brittle) υλικά (Σχήμα 48). Αυτός ο τύπος παραμόρφωσης είναι χαρακτηριστικός των σεισμικών ρηγμάτων, των οποίων τα ρηξιγενή τεμάχια κινούνται κατά τη διάρκεια του σεισμού με μεγάλες ταχύτητες ενώ η σεισμική κίνηση επαναλαμβάνεται μετά από ένα μεγάλο διάστημα ακινησίας ή πολύ αργής ασεισμικής κίνησης. Από αυτήν την παραμόρφωση σχηματίζονται δύο κύριοι τύποι πετρωμάτων: οι κατακλασίτες (cataclasites) και οι ψευδοταχυλίτες (pseudotachylites).

Οι κατακλασίτες σχηματίζονται από τον κερματισμό του πετρώματος που συνήθως συνοδεύεται από την κίνηση διαλειμμάτων.

Οι ψευδοταχυλίτες δημιουργούνται από τη θερμότητα που εκλύεται λόγω τριβής των δύο τεμαχίων του ρήγματος, η οποία οδηγεί σε τοπική τήξη του πετρώματος. Οι ψευδοταχυλίτες μακροσκοπικά αναγνωρίζονται ως πετρώματα μαύρου χρώματος, τα οποία αναπτύσσονται σαν μικρές φλέβες (<1 εκ.) και στο μικροσκόπιο παρουσιάζουν υαλώδη ιστό (Σχήμα 47).



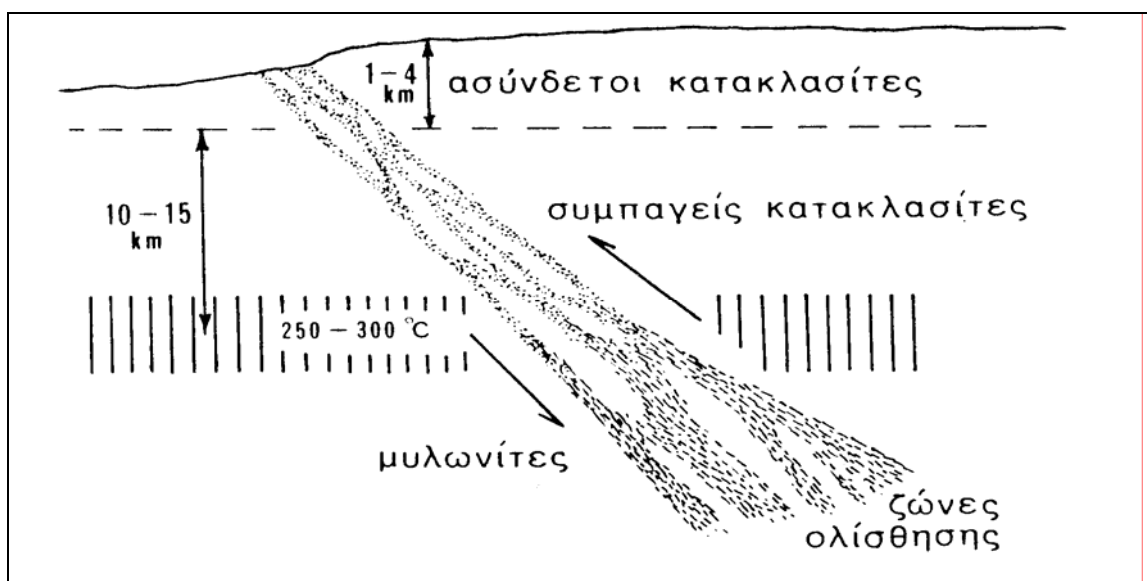
Σχήμα 47. Πίνακας ταξινόμησης πετρωμάτων ρηξιγενών ζωνών (από Κουκούβελα).

6.7.2 Ημι-εύθραυστη παραμόρφωση

Ημι-εύθραυστη παραμόρφωση ή δυναμική μεταμόρφωση σε μεγάλα βάθη, μεγαλύτερες από 15 Km. Σε τέτοια βάθη τα πετρώματα, εξαιτίας κυρίως της θερμοκρασίας που επικρατεί εκεί, παύουν να είναι ελαστικά – εύθραυστα και γίνονται όλκιμα, δηλαδή μπορούν να υποστούν έντονες και μόνιμες παραμορφώσεις χωρίς ρηγματώσεις ή θραυσμούς (Σχήμα 48).

Χαρακτηριστικά προϊόντα αυτής της παραμόρφωσης είναι οι μυλωνίτες (mylonites). Είναι συμπαγή πετρώματα με λιγότερο ή περισσότερο φανερή φολίδωση, και με μεγέθη κόκκων των ορυκτών συστατικών τους μικρότερα γενικά από τα μεγέθη των αντίστοιχων κόκκων στο μητρικό τους πέτρωμα.

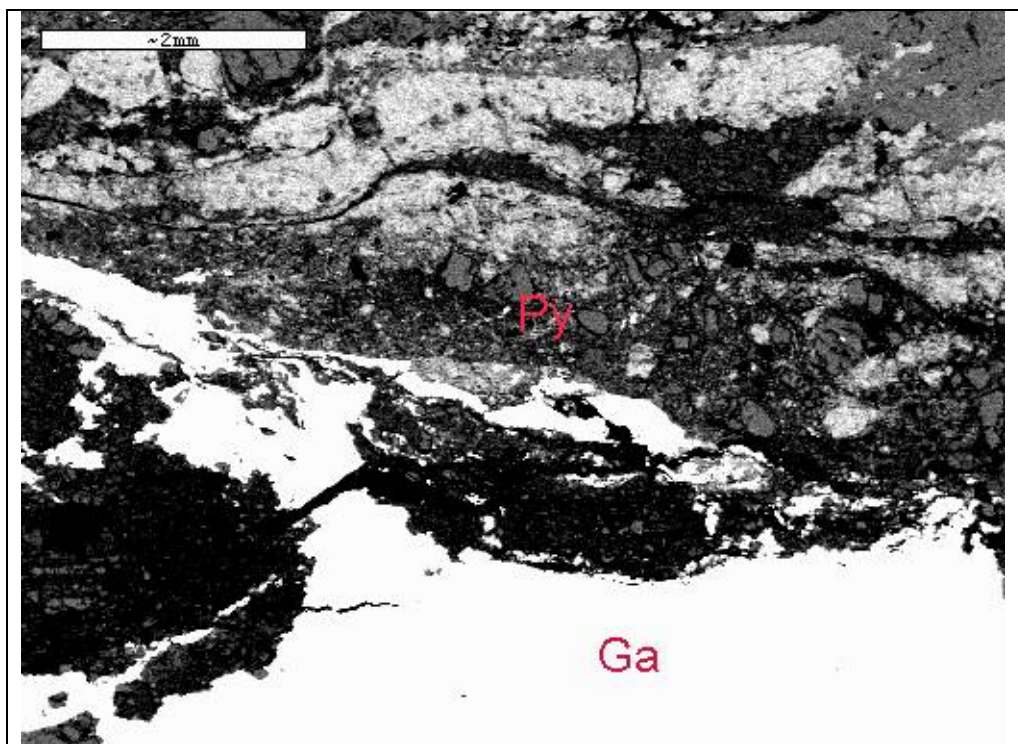
Οι μυλωνίτες αποτελούν μια ευρεία κατηγορία πετρωμάτων που προέρχονται από όλα τα είδη των πετρωμάτων. Επίσης από το ίδιο πέτρωμα μπορεί να προέρχονται διαφορετικά είδη μυλωνιτών, ανάλογα με τις συνθήκες σχηματισμού τους ή την σύστασή τους. Έτσι, διακρίνονται οι πρωτομυλωνίτες, οι μυλωνίτες με οφθαλμούς, οι μυλωνίτες, οι αφανείς μυλωνίτες και οι βλαστομυλωνίτες (Σχήμα 47).



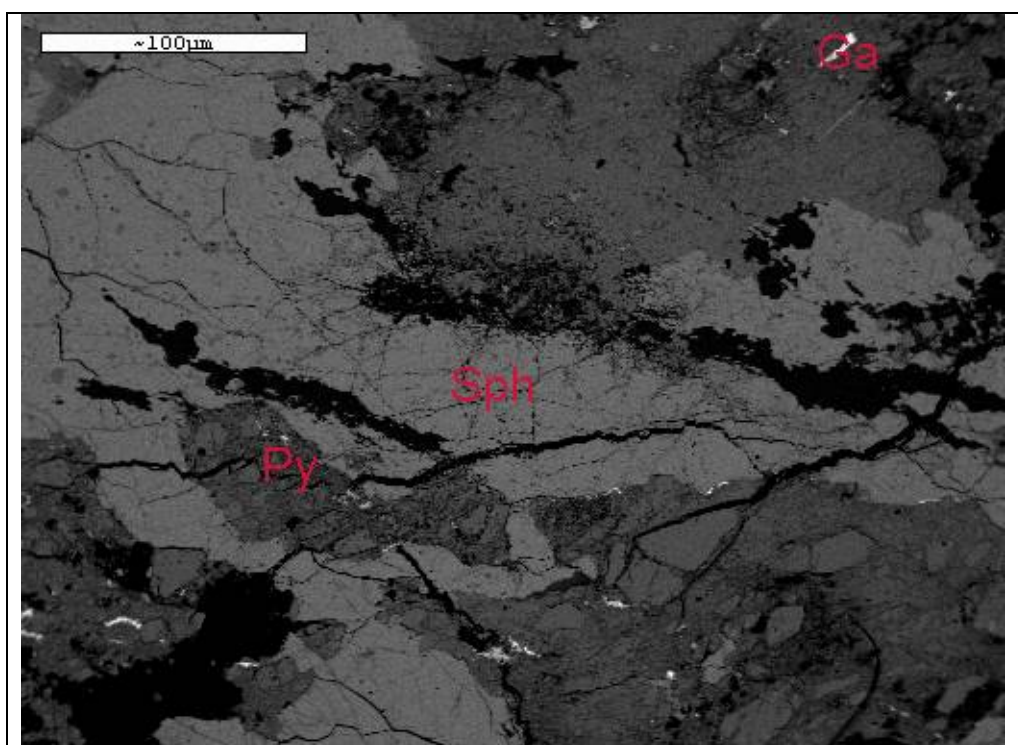
Σχήμα 48. Η πορεία ενός ρήγματος σε βάθος και τα δύο τμήματα όπου οι μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων και τα προϊόντα δυναμικής μεταμόρφωσης είναι διαφορετικά (τροποποιημένο από Δημητριάδη (Gilen, 1982)).

6.8 Παρατηρήσεις μικροσκοπίου

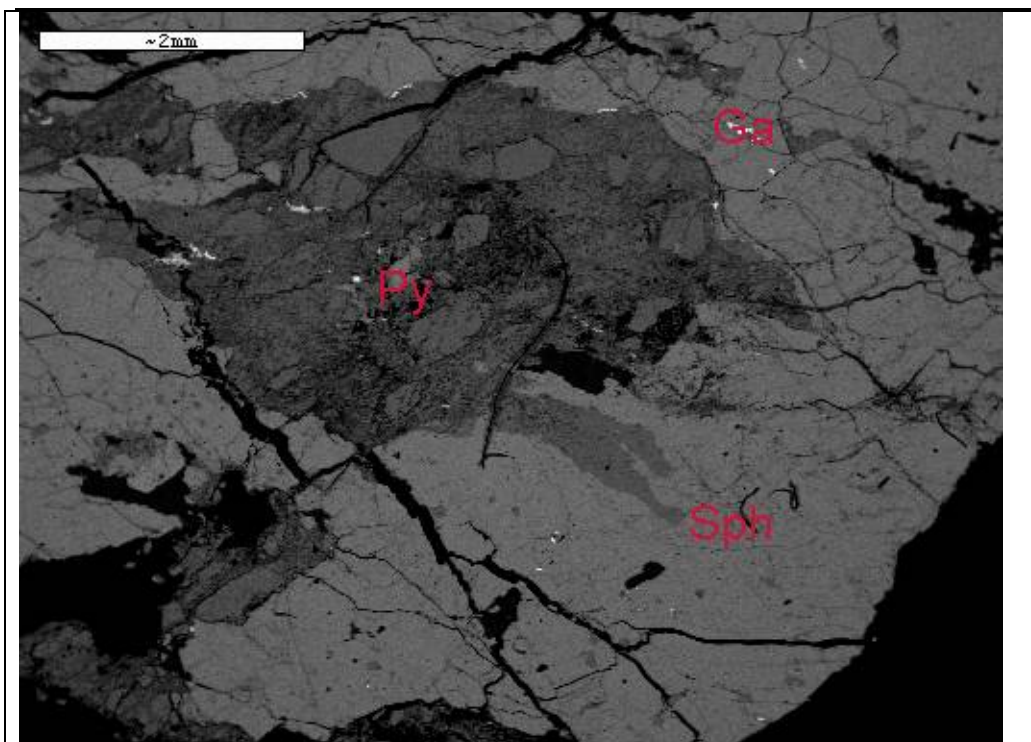
Οι παρακάτω εικόνες πάρθηκαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο κρούσης **SEM/JEOL 840**, οι εικόνες είναι SE και BSE (δευτερογενή ηλεκτρόνια και οπισθοδιασκεδασόμενα ηλεκτρόνια).



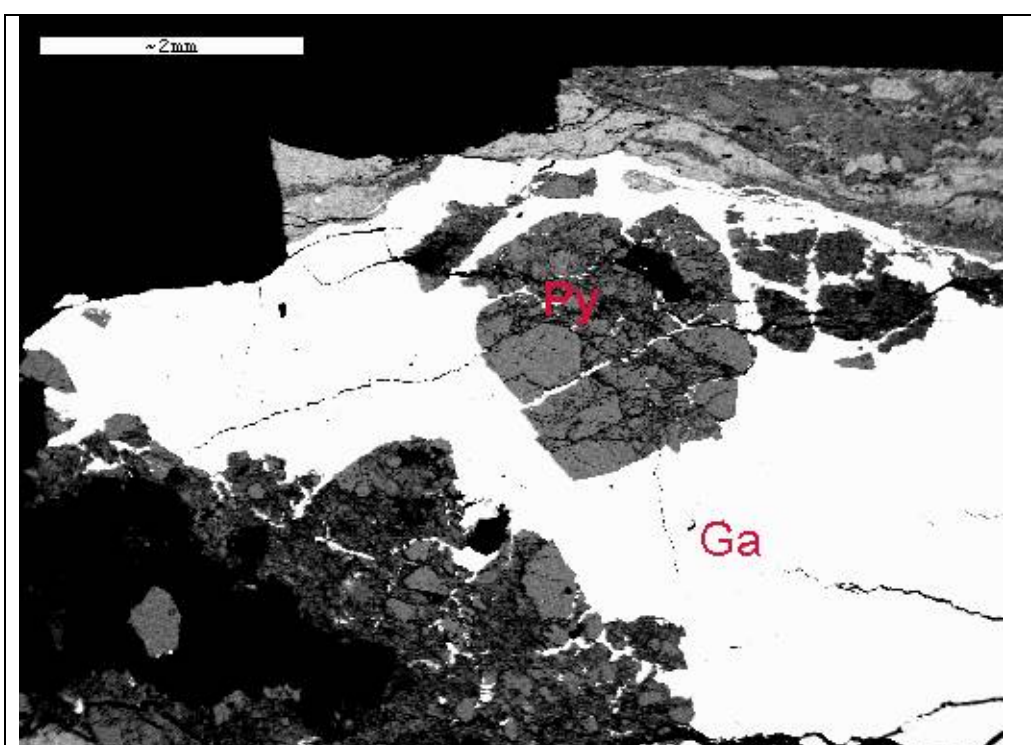
Σχήμα 49. Εικόνα SEM του δείγματος 1 (Δ1).



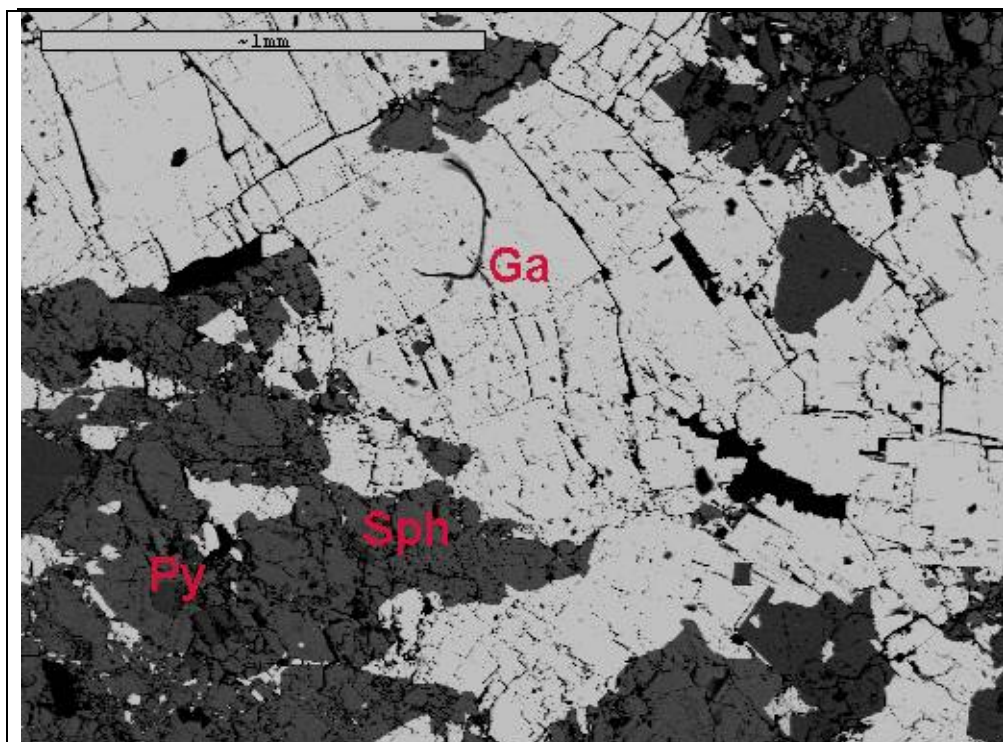
Σχήμα 50. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).



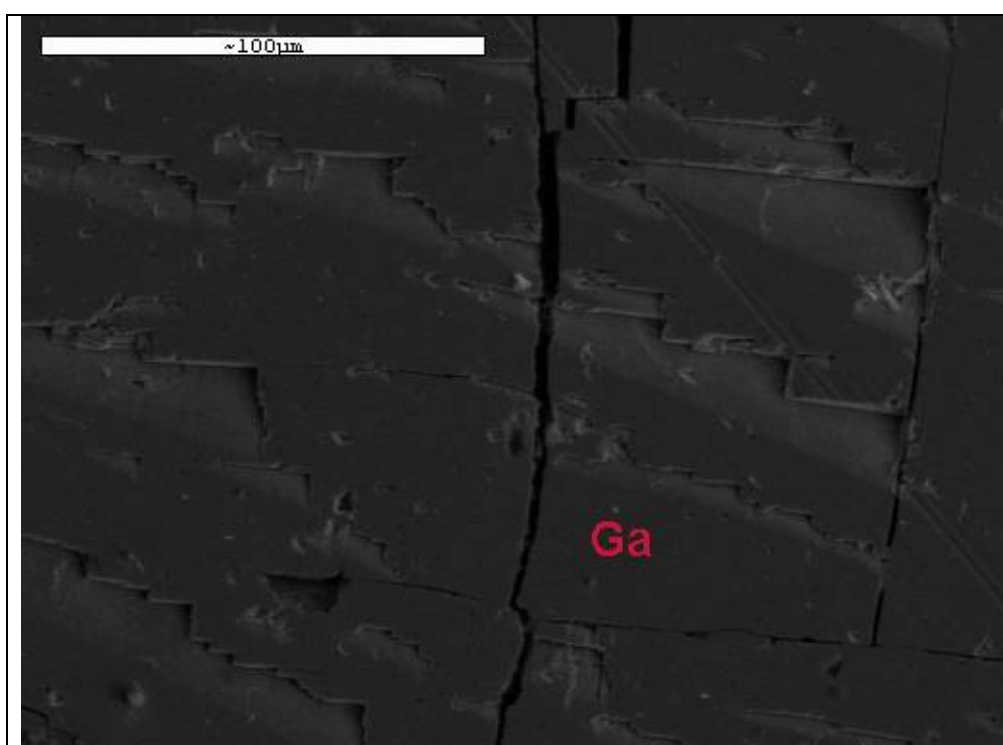
Σχήμα 51. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).



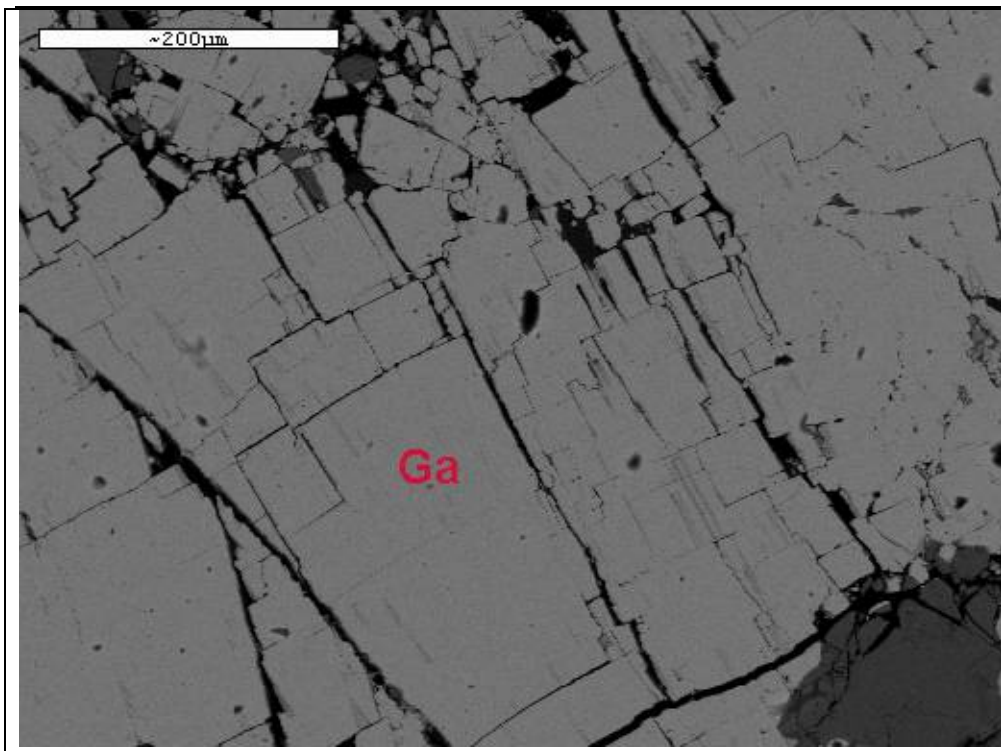
Σχήμα 52. Εικόνα SEM του δείγματος 1 (Δ1).



Σχήμα 53. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).



Σχήμα 54. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).



Σχήμα 55. Εικόνα SEM του δείγματος 2 (Δ2).

Από την παρατήρηση των δειγμάτων από το πολωτικό μικροσκόπιο καθώς και από το σαρωτικό/ ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Σχήμα 49-54) οι κρύσταλλοι του σιδηροπυρίτη και του γαληνίτη είναι έντονα κατακερματισμένοι χωρίς όμως να αλλάζει η γενική δομή τους. Ο σχισμός του γαληνίτη δεν είναι παράλληλος, στοιχείο που δείχνει ότι έχει διαταραχθεί τεκτονικά (Σχήμα 54 και 54). Επίσης δεν υπάρχουν συνθήκες μετασωμάτωσης των ορυκτών. Από της σημειακές χημικές αναλύσεις που έγιναν στα δείγματα δεν παρατηρούνται αλλοιώσεις στη χημική σύσταση των ορυκτών.

Η σημειακές χημικές αναλύσεις έγιναν με το μικρο-αναλυτή **EDS OXFORD ISIS 300**. Η χημική σύσταση των δειγμάτων είναι: ψευδάργυρος, σίδηρος, μόλυβδος.

Σύμφωνα με τον Atkinson σε θερμοκρασίες από 20° με 400° C και σε πιέσεις από 1 bar μέχρι 3 kb και από τις παραπάνω παρατηρήσεις έχουμε ένα τυπικό κατακλασίτη.

Τα δείγματα μας ανήκουν στην εύθραυστη παραμόρφωση ή δυναμική μεταμόρφωση σε μικρά βάθη στο φλοιό της γης, μικρότερο από 10 Km, και χαρακτηρίζονται ως προς τη μηχανική τους κατάσταση σαν ελαστικά μεν, αλλά εύθραυστα (brittle) υλικά.

7 Σεισμοτεκτονική – Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

7.1 Σεισμικότητα Ελληνικού χώρου

Η διαφορά στην ταχύτητα επέκτασης μεταξύ του νότιου και βόρειου τμήματος του Ατλαντικού ωκεανού οδήγησε σε μια αριστερόστροφη περιστροφή της Αφρικής σε σχέση με τη Ευρασία και κατ' επέκταση στη σύγκρουση μεταξύ των δύο λιθοσφαιρικών πλακών και την ανάπτυξη του Αλπικού ορογενετικού συστήματος (Phillip, 1987, Jackson and McKenzie, 1988). Η έναρξη αυτής της σύγκρουσης χρονολογείται πριν από ~ 175 myr με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί στο όριο των δύο λιθοσφαιρικών πλακών πολύπλοκες δομές. Η ωκεάνια κατάδυση, η ηπειρωτική σύγκρουση και τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης έχουν μετατρέψει το χώρο σε ένα σύστημα από μπλοκ ή από μικρές λιθοσφαιρικές πλάκες, των οποίων οι κινήσεις καθορίζουν και την παραμόρφωση του ευρύτερου χώρου.

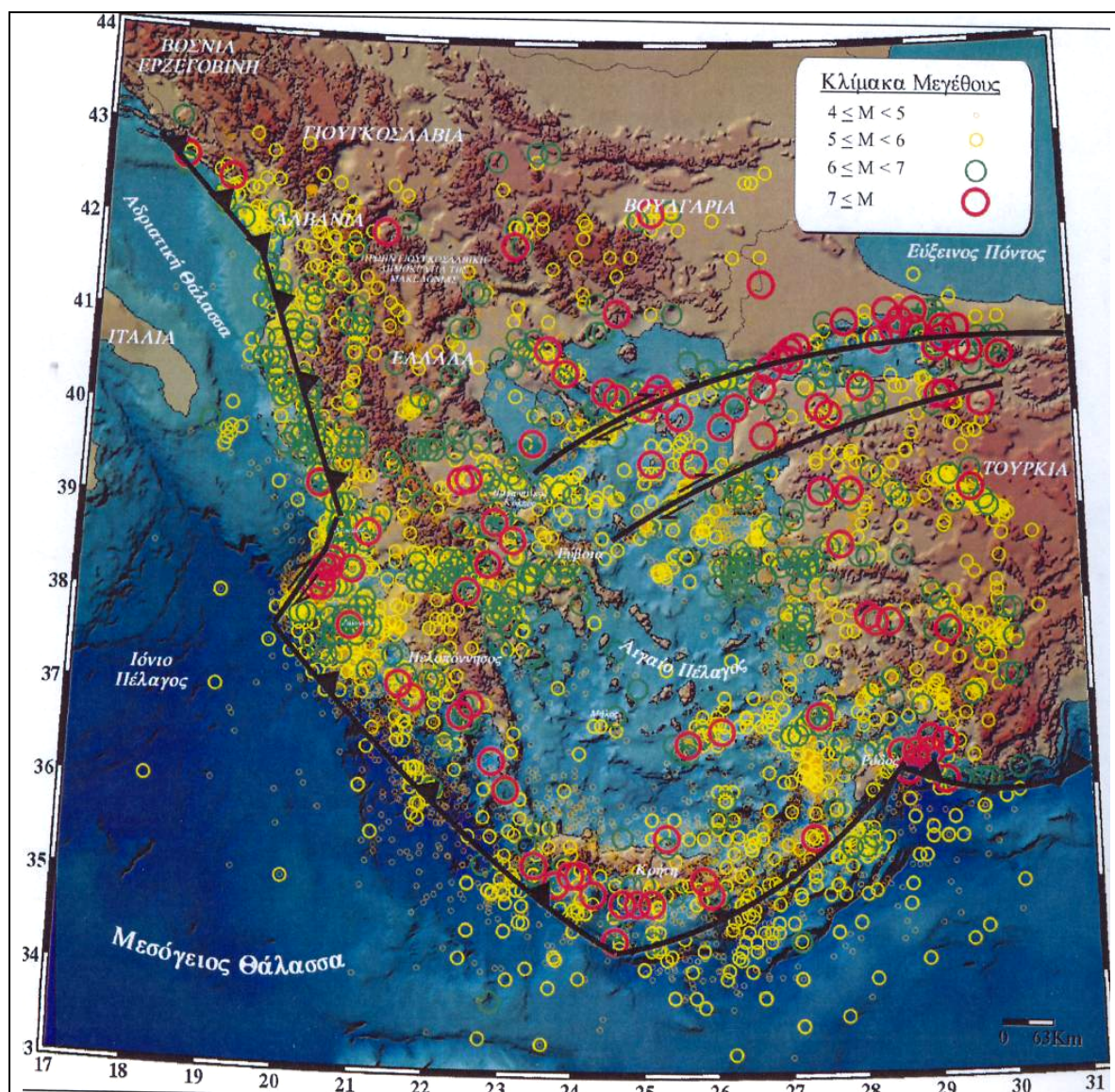
Το Αιγαίο και οι γειτονικές περιοχές, τμήμα του ορίου σύγκρουσης Αφρικής – Ευρασίας παρατηρούνται διαφορετικοί μηχανισμοί παραμόρφωσης (ωκεάνια κατάδυση, ηπειρωτική σύγκρουση, ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, έκταση).

Το Αιγαίο και η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζουν την υψηλότερη σεισμικότητα κατά μήκος της ζώνης σύγκρουσης Αφρικής – Ευρασίας, με μεγέθη σεισμών έως και $M=8.3$ (Papazachos, 1990). Στο Σχήμα 56. φαίνεται το ψηφιακό τοπογραφικό μοντέλο (DEM) της περιοχής με τα κυριότερα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά. Επίσης, παρουσιάζονται τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών. Παρατηρούμε ότι η σεισμικότητα ακολουθεί συγκεκριμένες ζώνες.

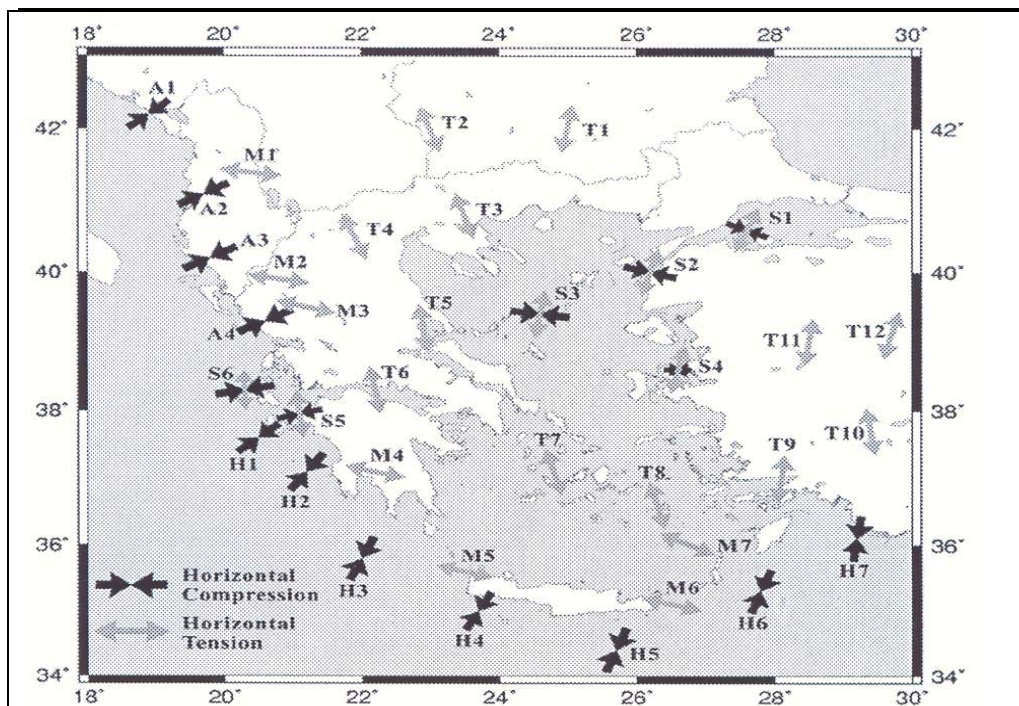
Η υψηλή σεισμικότητα που χαρακτηρίζει το Αιγαίο οφείλεται στην άσκηση συμπίεστικών τάσεων στο νότιο Αιγαίο και εφελκυστικών τάσεων στο κεντρικό Αιγαίο πέλαγος. Το σύστημα των αξόνων συμπίεσης και εφελκυσμού παρουσιάζεται στο Σχήμα 57.

Συνοψίζοντας, το επικρατέστερο μοντέλο που περιγράφει τα αίτια της υψηλής σεισμικότητας του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 58. Με βάση το μοντέλο αυτό, η πλάκα της Ανατόλιας κινείται με ταχύτητα ~ 2.5 cm/yr κατά μήκος του ρήγματος της Ανατόλιας ως προς τη Ευρώπη, εκτελώντας αριστερόστροφη περιστροφική κίνηση. Αυτή η κίνηση

δεν αναπτύσσει συμπίεστικές τάσεις στο χώρο του Αιγαίου, ο οποίος αντίθετα κυριαρχείται από εφελκυστικές τάσεις. Η κίνηση της Ανατολίας ενισχύεται καθώς εισέρχεται στο νότιο Αιγαίο, από τον εφελκυσμό, που πιθανότατα οφείλεται στην καταβύθιση της Αφρικάνικης πλάκας, με αποτέλεσμα το νότιο Αιγαίο να κινείται με διεύθυνση νοτιοδυτική και με ταχύτητα 4-5 cm/yr ως προς την Ευρώπη, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της Ανατολίας.



Σχήμα 56. Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο της Ελλάδας και των γειτονικών περιοχών με τα κύρια τεκτονικά στοιχεία και τα επίκεντρα επιφανειακών σεισμών (από Λούβαρη, 2000).



Σχήμα 57. Κύρια σεισμοτεκτονική εικόνα του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Οι διευθύνσεις των Ρ-αξόνων (συμπίεσης) παριστάνονται με τα μαύρα συγκλίνοντα βέλη, ενώ οι διευθύνσεις των Τ-αξόνων (εφελκυσμού) με άσπρα αποκλίνοντα βέλη. Τα ρήγματα παράταξης παριστάνονται με δύο αντίθετα βέλη (Parazachos et al. 1998).

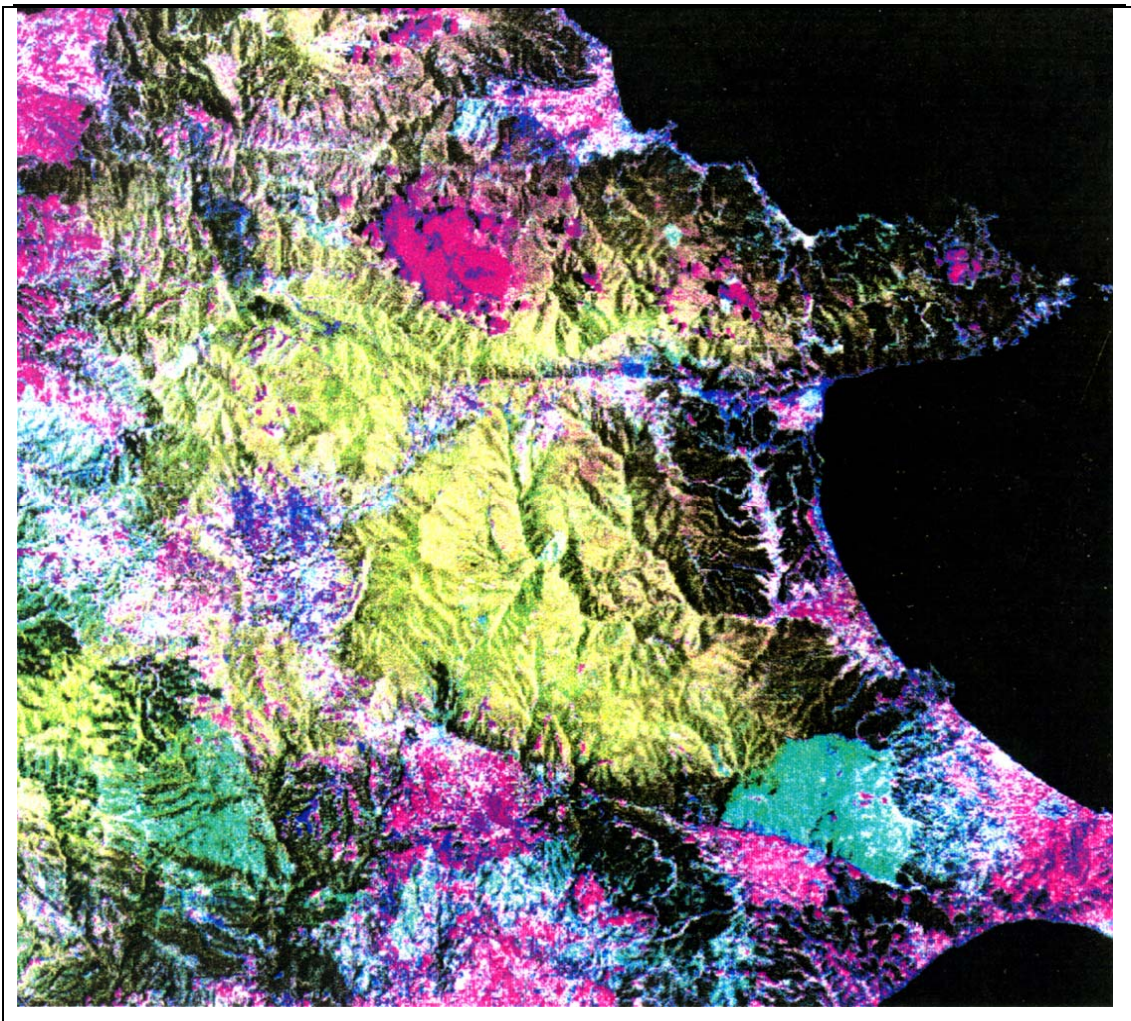


Σχήμα 58. Απλοποιημένος χάρτης του Αιγαίου και των γειτονικών περιοχών όπου φαίνονται οι πλάκες που επηρεάζουν την ενεργό παραμόρφωση του χώρου. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση των κινήσεων τους σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη, ενώ οι ταχύτητες είναι από DeMets et al. (1990), Kastens et al. (1996) και Oral (1995). Τα λευκά βέλη δείχνουν τη διεύθυνση των μέγιστων αξόνων έκτασης (Τ) (από: Parazachos et al. 1998).

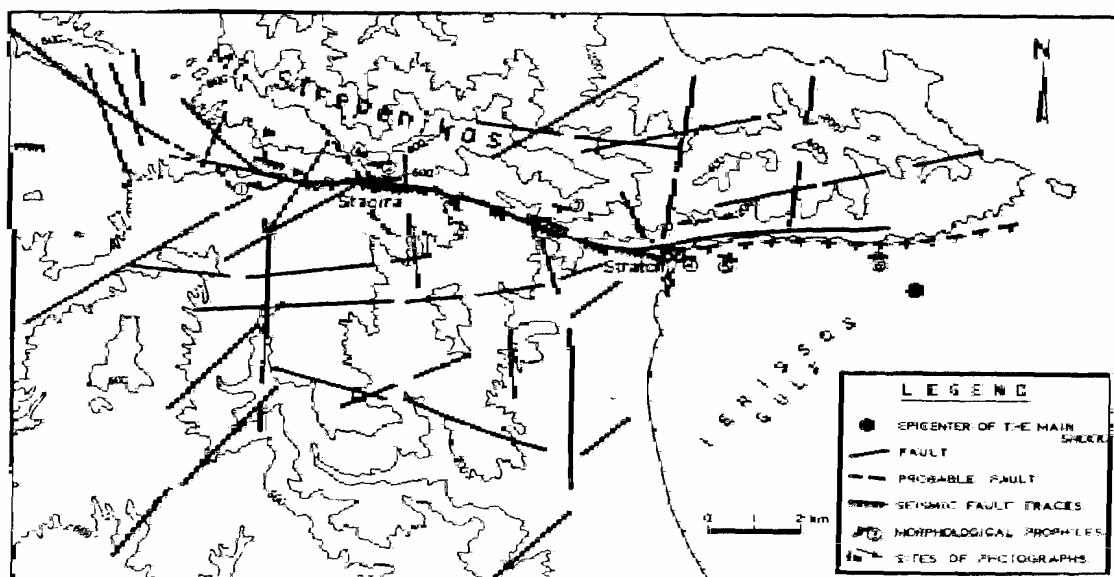
7.2 Σεισμοτεκτονική της περιοχής μελέτης

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (Χαλκιδική) εμφανίζεται ένα πλήθος ρηγμάτων (Pavlidis & Kiliass 1987) (**Error! Reference source not found.** και 57), τα οποία έχουν ιδιαίτερα σημαντική μορφολογική έκφραση, όπως φαίνεται και από την δορυφορικής εικόνα LANDSAT (Σχήμα 59). Εκεί εύκολα διακρίνεται ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζουν στην διαμόρφωση του ανάγλυφου το ρήγμα του Στρατωνίου αλλά και το ρήγμα του Γοματίου τα οποία είναι τυπικά ενεργά ρήγματα, τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής.

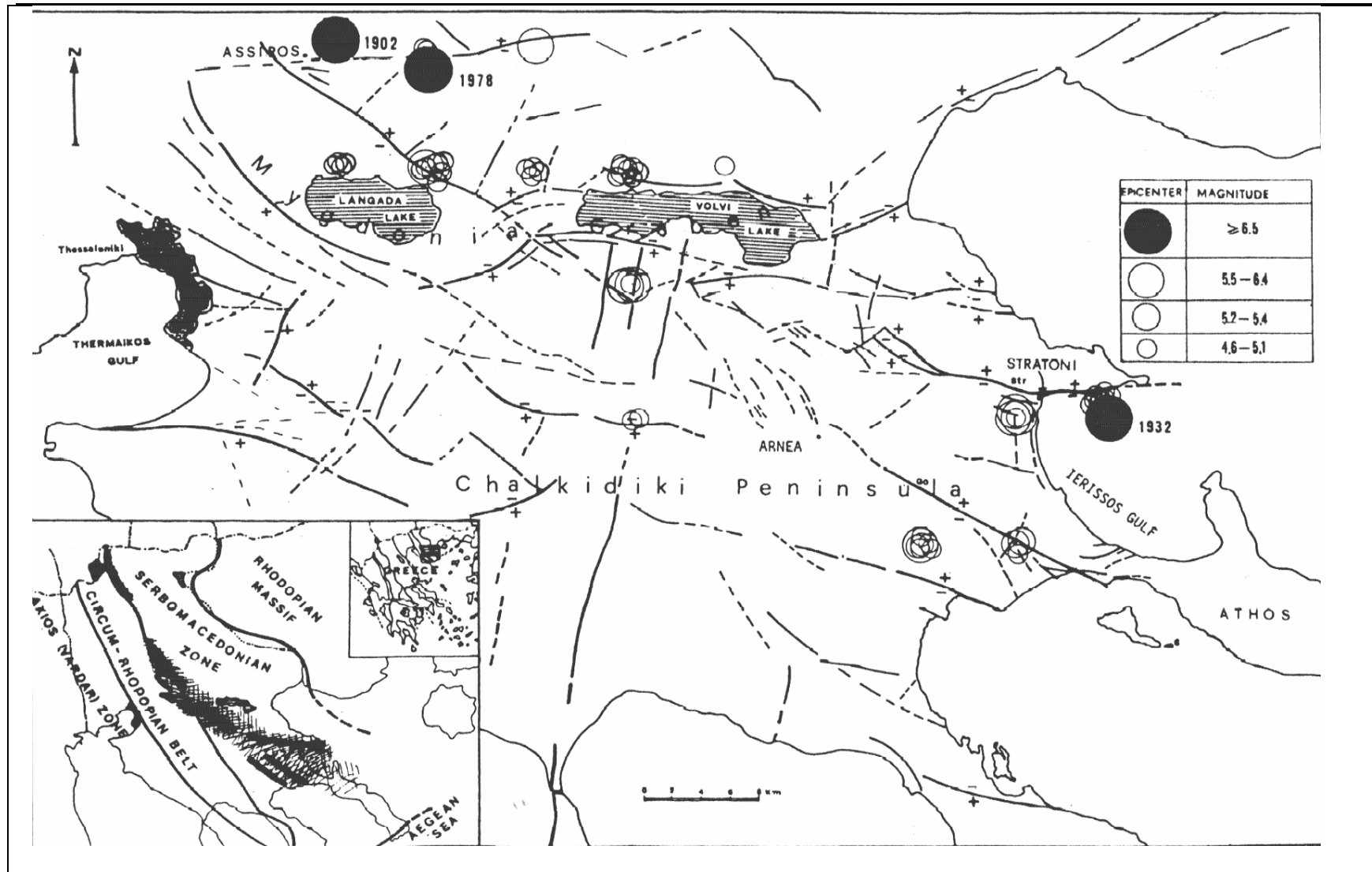
Όσον αφορά τη γεωμετρία και κινηματική του ρήγματος του Στρατωνίου μπορεί να επισημανθεί επιγραμματικά ότι είναι μια γραμμική νεοτεκτονική δομή με Α-Δ διεύθυνση, μήκους μεγαλύτερο των 30 km (εκ των οποίων 15 km στην ξηρά), με στοιχεία: παράταξη (strike, αζιμούθιο) N 110°, μέση κλίση (από το οριζόντιο επίπεδο-dip) 50° προς νότια (S), και γωνία τεκτονικής γράμμωσης (Pitch of striation or Rake) 70°-80° ανατολικά (E). Είναι κανονικό ρήγμα (normal) με κατερχόμενο (πάνω) τέμαχος (hanging wall) το νότιο block και ανερχόμενο (κάτω τέμαχος (footwall) το βόρειο. Συνδέεται γεωμετρικά προς τα δυτικά με το ρήγμα Βαρβάρας το οποίο είναι επίσης κανονικό ρήγμα με σημαντική αριστερόστροφη συνιστώσα (left-lateral component) της κίνησης (oblique - slip fault). Μικρότερα ρήγματα (Σχήμα 9) που εμφανίζονται στις επιφανειακές ιζηματογενείς αποθέσεις είναι παράλληλα-υποπαράλληλα προς τις κύριες δομές (συνθετικά και αντιθετικά-antithetic and synthetic), παρουσιάζουν όμως μεγαλύτερες γωνίες κλίσης 60-90° με συνηθέστερη την τιμή των 80°.



Σχήμα 59. Ψευδοέγχρωμη εικόνα SHI, προβαλλόμενη στο RGB, της περιοχής μελέτης. Ημερομηνία λήψης RAW TM εικόνας: 29/06/1991 LANDSAT (Από Οικονομίδης 2000).



Σχήμα 60. Χάρτης των ρηγμάτων και των σεισμικών ρωγμών του 1932, στην ευρύτερη περιοχή του Στρατωνίου (Pavlidis & Tranos 1990).



Στη θέση Μαδέμ-Λάκκος-Βαθύλακκος η συνέχεια του ρήγματος του Στρατωνίου διακόπτεται (stepping) και γενικά το ίχνος του γεωλογικού ρήγματος δεν είναι με ακρίβεια γνωστή, λόγω και της μεγάλης ανθρωπογενούς επέμβασης (Σχήμα 60). Ειδικά στη θέση Βαθύλακκος παρουσιάζει μια γεωμετρική δομή step.

Το πεδίο των τάσεων, όπως προκύπτει από την ποσοτική τεκτονική ανάλυση στο ρήγμα Στρατωνίου είναι εφελκυστικό (extensional), με σχεδόν οριζόντιο τον άξονα εφελκυσμού σ_3 (minimum stress axis or tension axis), που διευθύνεται σε μια γενική διεύθυνση Β-Ν, η οποία έχει προσδιορισθεί για ολόκληρη τη Χαλκιδική (Pavlides & Kiliass 1987, Hatzfeld et al, 1986, Voidomatis et al, 1990).

7.3 Σεισμικότητα περιοχής μελέτης

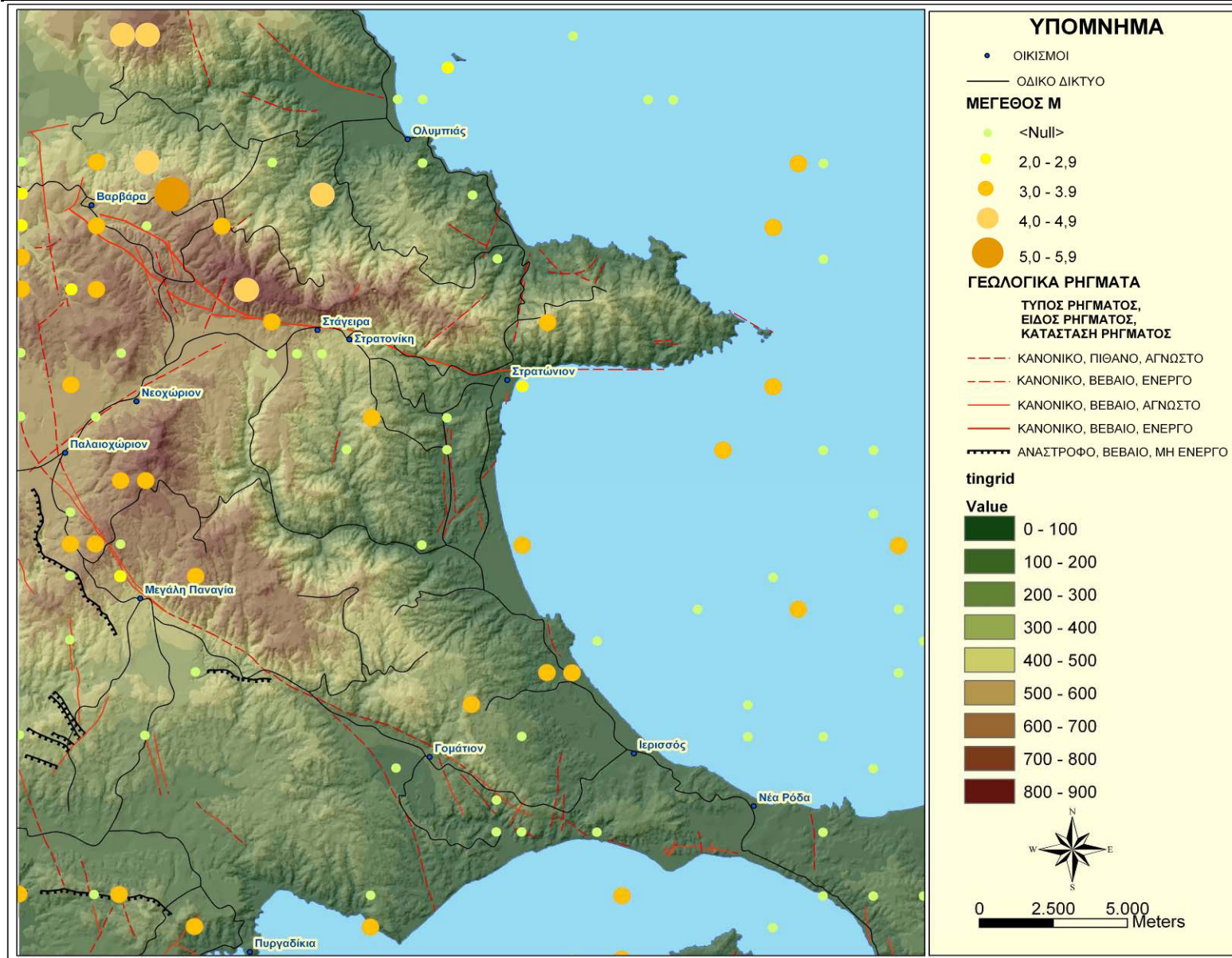
Η σεισμική δραστηριότητα στη περιοχή μελέτης είναι γνωστή από π.Χ. Παρακάτω γίνεται αναφορά για τους σημαντικότερους σεισμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989/2003):

➤ 479 π.Χ., Χαλκιδική, Ποτείδαια ($39.7^\circ \text{N}, 23.3^\circ \text{E}$), $M=7.0$.
➤ 620, Θεσσαλονίκη ($40.6^\circ \text{N}, 23.3^\circ \text{E}$), $M=6.6$.
➤ 667, Θεσσαλονίκη ($40.6^\circ \text{N}, 23.5^\circ \text{E}$), $M=6.6$.
➤ 700, Θεσσαλονίκη ($40.8^\circ \text{N}, 23.2^\circ \text{E}$), $M=6.6$.
➤ 1366, 1 Ιουνίου, Χαλκιδική, Καρύες, $40.2^\circ \text{N}, 24.6^\circ \text{E}$, $M=6.6$.
➤ 1430, 26 Φεβρουαρίου, Θεσσαλονίκη ($40.7^\circ \text{N}, 23.2^\circ \text{E}$), $M=6.5$.
➤ 1456, 12 Μαΐου, Χαλκιδική, Αθως ($40.3^\circ \text{N}, 24.4^\circ \text{E}$) $M=6.5$.
➤ 1511, Χαλκιδική, Αθως ($40.2^\circ \text{N}, 24.7^\circ \text{E}$), $M=6.5$.
➤ 1572, 12 Απριλίου, Χαλκιδική, Αθως ($40.1^\circ \text{N}, 24.5^\circ \text{E}$), $M=6.6$.
➤ 1585, 28 Ιουλίου, Χαλκιδική, Αθως ($40.2^\circ \text{N}, 24.5^\circ \text{E}$), $M=6.7$.
➤ 1677, Θεσσαλονίκη, Βασιλικά ($40.5^\circ \text{N}, 23.0^\circ \text{E}$), $M=6.2$.
➤ 1719, 23 Ιουλίου, Άγιο Όρος ($40.4^\circ \text{N}, 23.9^\circ \text{E}$), $M=6.2$.
➤ 1759, 22 Ιουνίου, 23:30, Θεσσαλονίκη ($40.7^\circ \text{N}, 23.2^\circ \text{E}$), $M=6.5$.
➤ 1765, 15 Νοεμβρίου, Άγιο Όρος ($40.2^\circ \text{N}, 24.9^\circ \text{E}$), $M=6.8$.
➤ 1779, 3 Φεβρουαρίου, Άγιο Όρος ($40.1^\circ \text{N}, 24.2^\circ \text{E}$), $M=6.2$.
➤ 1902, 5 Ιουλίου, Θεσσαλονίκη, Άσσηρος ($40.8^\circ \text{N}, 23.1^\circ \text{E}$), $M=6.6$.

➤ 1905, 8 Νοεμβρίου, Χαλκιδική, Άθως (40.3°N , 24.4°E), $M=7.5$.
➤ 1923, 5 Δεκεμβρίου, Χαλκιδική (39.8°N , 23.5°E), $M=6.4$.
➤ 1932, 26 Σεπτεμβρίου, Χαλκιδική, Ιερισσός (40.5°N , 23.9°E), $M=7.0$.
➤ 1947, 4 Ιουνίου, Χαλκιδική (40.0°N , 24.0°E), $M=6.1$.
➤ 1968, 19 Φεβρουαρίου, Άγιος Ευστράτιος (39.4°N , 24.9°E), $M=7.1$.
➤ 1978, 20 Ιουνίου, Θεσσαλονίκη, Στίβος (40.7°N , 23.3°E), $M=6.5$.
➤ 1995, 4 Μαΐου, Αρναία (40.56°N , 23.64°E), $M=5.8$.

Πίνακας 3. Οι κυριότεροι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Για τους σεισμούς του Πίνακας 3 η ανάλυση των υπάρχοντων μηχανισμών γένεσης έδειξαν ότι αυτοί που συνέβησαν στη Σερβομακεδονική ζώνη οφείλονται στη δράση κυρίως κανονικών έως πλαγιοκανονικών ρηγμάτων, ενώ όσοι συνέβησαν στο Βόρειο Αιγαίο συνδέονται με την τάφρο του Βορείου Αιγαίου και οφείλονται σε δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (Papazachos et al. 1984)

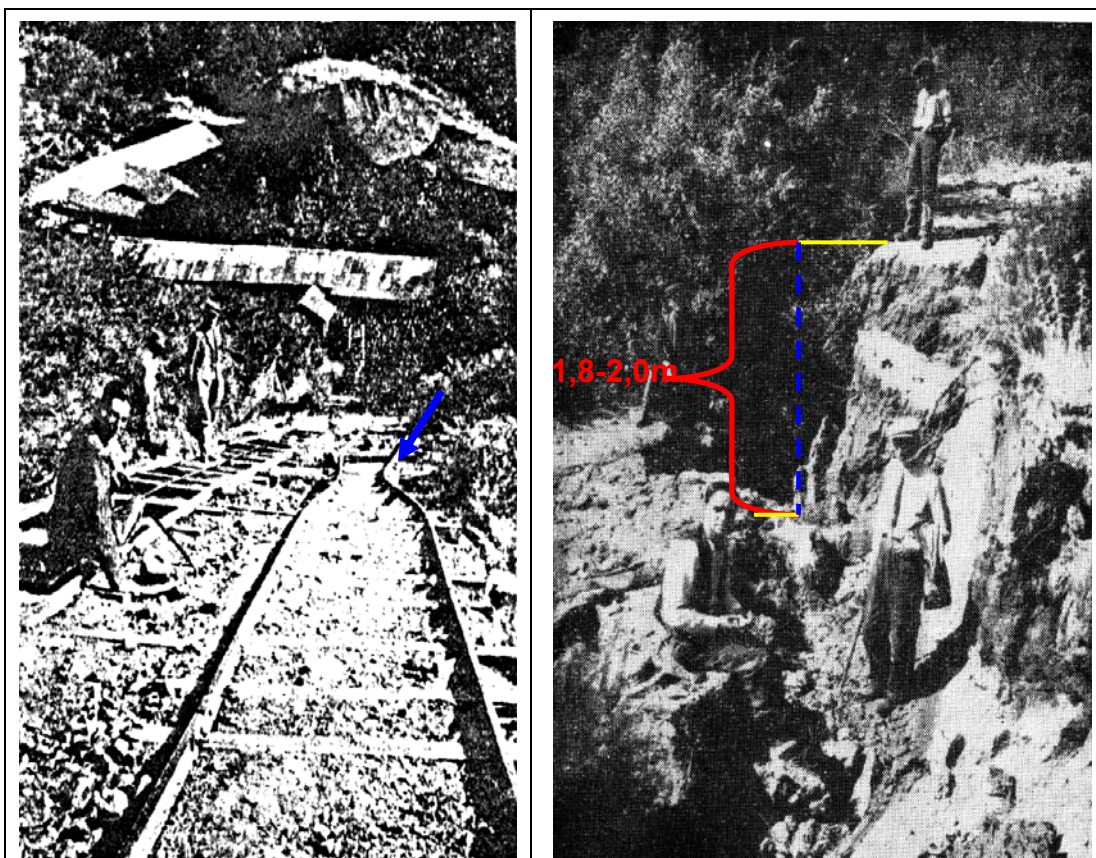


Σχήμα 61. Χάρτης σεισμικότητας της περιοχής μελέτης.

7.3.1 Ο σεισμός του 1932

Το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία του 1932 μεγέθους $M_s = 7.0$ (Μαραβελάκης 1933, 1936, Φλωράς 1933, Georgalas & Galanopoulos 1953, Pavlides & Tranos 1991), (Papazachos & Papazachou 1997) ή $M_s = 6.9$ (Ambraseys & Jackson 1998) (**Error! Reference source not found.**). Ο σεισμός είχε προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στην Ιερισσό και στο Στρατώνι, όπως ζημιές και καταρρεύσεις κτιρίων, εμφάνιση ρηγμάτων, εδαφικές ρωγμές, καταπτώσεις βράχων, κατολισθήσεις εδαφών, εδαφικές καθιζήσεις, διαταράξεις του υπεδαφικού ύδατος και της υδροπαροχής των πηγών, διαταράξεις των θερμών πηγών (Ν. Απολλωνία, Βόλβη), κυματοειδείς κινήσεις της θάλασσας (πιθανώς tsunamis), 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 1932), καταστράφηκαν και οι 105 κατοικίες, ακόμα η εκκλησία του χωριού η οποία κατασκευάστηκε με την προσωπική επίβλεψη του τότε διευθυντή της εταιρίας, και με τη χρήση τούβλων και θηραϊκής γης, διαλύθηκε ολοσχερώς. Κατά τον Φλωρά (1933) η εκκλησία ήταν κτισμένη με άριστα υλικά και ελάχιστο πάχος τοιχοποιίας 0,80m. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στην πτώση της κεντρικής καπνοδόχου των μεταλλείων και στην διακοπή της ηλεκτροδότησης. Άλλο σημαντικό αποτέλεσμα του σεισμού ήταν η στρέβλωση των σιδηροτροχιών στη θέση Decauville (Σχήμα 62), η εμφάνιση μεγάλου μήκους εδαφικών ρωγμών (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 Ιερισσό. 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 & Tranos (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 2m και βάθος έως 10m (Σχήμα 63) και με γενική διεύθυνση Α-Δ έφθανε έως την Στρατονίκη, παράλληλα προς

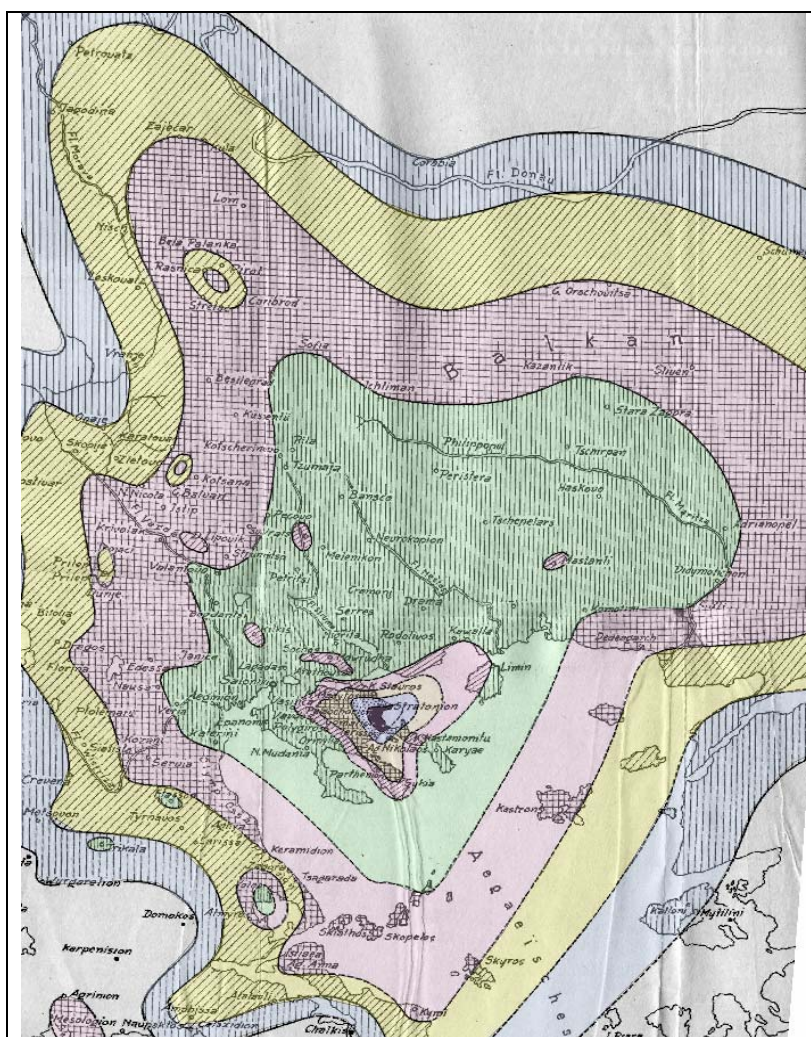
αυτό είχαν αναπτυχθεί δευτερεύουσες εδαφικές ρωγμές μικρότερου μεγέθους. Τα στοιχεία των Georgalas & Galanopoulos (1953) αναφέρονται σε 3-4 m μετατοπίσεων και 0.6 - 4 m ανοίγματα (heaves), δεν θεωρούνται όμως συν-σεισμικές διαρρήξεις, αλλά τοπικές σε χαλαρές αποθέσεις (φυσικές ή τεχνητές) που οφείλονται 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 - 1.40m και κατά τον Φλωρά (1933) 1.60m. Οι τιμές αυτές, για επιφανειακές διαρρήξεις του σεισμογόνου ρήγματος (co-seismic), θεωρούνται ρεαλιστικές και ακριβείς και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των 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 (Ambraseys & Jackson 1998; Pavlides et al. 2000).



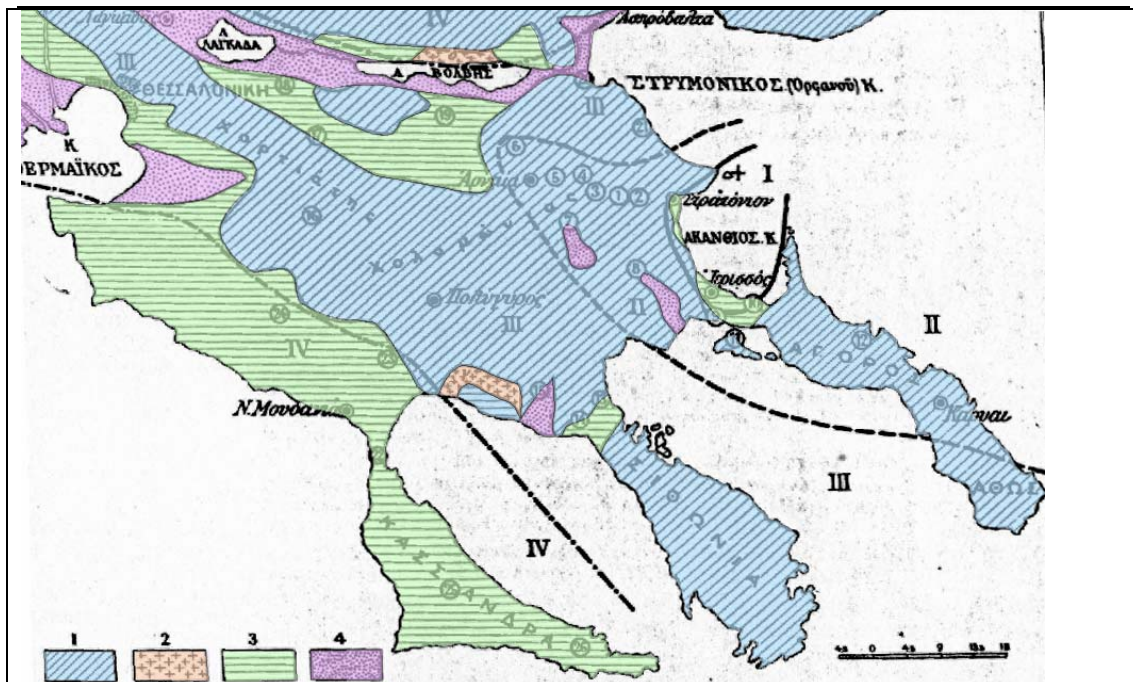
Σχήμα 62. Στρέβλωση σιδηροτροχιών Decauville (Μαδεμ-Λάκκος). Η ακριβής θέση της διάρρηξης ορίζεται με το μπλε βελάκι (σημερινή θέση είσοδος στοάς 216).

Σχήμα 63. Το ρήγμα μεταξύ Στρατωνίου και Στρατονίκης (Από Georgala & Galanopoulos 1953).

Η θάλασσα εισχώρησε μονίμως στην ξηρά 5-10 m (μετρήσεις στην σκάλα αποβίβασης και την παραλία Στρατωνίου) και παρατηρήθηκε μικρό παλιρροϊκό κύμα (Tsunami). Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι το επίκεντρο του σεισμού ήταν υποθαλάσσιο και κατά συνέπεια το ρήγμα επεκτείνεται στο θαλάσσιο χώρο. Στο Μαδέμ-Λάκκο και συγκεκριμένα στην τότε πλατεία συγκεντρώσεως του μεταλλεύματος, η 'κύρια' ρωγή διέσχισε την θεμελίωση του κτιρίου στο οποίο γίνονταν η φόρτωση των βαγονιών της εναέριου γραμμής. Το προϋπάρχον κτίσμα παρόλο που ήταν κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από σίδηρο κόπηκε στα δύο και παρουσίασε στο μέσον της θεμελίωσης του μικρή ολίσθηση.



Σχήμα 64. Χάρτης ισοσειστών από Georgalas & Galanopoulos 1953 (Ιο= ΙΧ-Χ περιοχή μαύρου χρώματος). Ο σεισμός έγινε αισθητός πέρα από το Δούναβη και μέχρι τη νότια Ελλάδα.



Σχήμα 65. Ισόσειστες του σεισμού 1932 στη Χαλκιδική (από Μαραβελάκη 1932). Με την εξής αντιστοιχία σεισμικών εντάσεων : Ζώνη 1= 10-11 Ζώνη 2= 9-8 Ζώνη 3= 7-6 Ζώνη 4= 5 (Οι βαθμοί είναι σε κλίμακα Mercalli-Sieberg).

7.4 Σεισμική επικινδυνότητα

7.4.1 Γενικά

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα των σεισμών σε ένα τόπο (βλάβες στις τεχνικές κατασκευές, θάνατοι, κλπ.) καθορίζονται από τις αναμενόμενες σεισμικές κινήσεις στον τόπο αυτόν και τις ιδιότητες των κατασκευών, οι οποίες πρόκειται να υποστούν σεισμικές κινήσεις. Για τον καθορισμό των αποτελεσμάτων των σεισμών στις τεχνικές κατασκευές εισήχθησαν τρεις σεισμολογικοί όροι: α) ο **σεισμικός κίνδυνος**, β) η **τρωτότητα** και γ) η **σεισμική επικινδυνότητα**.

Ο σεισμικός κίνδυνος, **R**, σε μία θέση όπου υπάρχει ή πρόκειται να γίνει μία τεχνική κατασκευή, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αναμενόμενης, στη θέση αυτή, σεισμικής κίνησης του εδάφους και από τις ιδιότητες της τεχνικής κατασκευής. Το σύνολο των χαρακτηριστικών αυτών της εδαφικής σεισμικής κίνησης, όπως είναι το πλάτος και η περίοδος της εδαφικής ταλάντωσης, η πιθανότητα γένεσής της κλπ., ορίζεται ως σεισμική επικινδυνότητα **H**. Ενώ οι ιδιότητες της τεχνικής κατασκευής (ιδιοπερίοδος, συντελεστής απόσβεσης, ποιότητα της κατασκευής) ορίζεται ως τρωτότητα **V**, της κατασκευής.

Οι τρεις αυτοί σεισμικοί όροι εξαρτώνται μεταξύ τους με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$R = H * V$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι για να ελαττώσουμε τις συνέπειες των σεισμών, δηλαδή να μειώσουμε το σεισμικό κίνδυνο, R , πρέπει να ελαττώσουμε την σεισμική επικινδυνότητα, H , ή την τρωτότητα, V , ή και τις δύο. Στην πράξη, όμως, μόνο την τρωτότητα των κτιρίων μπορούμε να ελαττώσουμε και όχι τη σεισμική επικινδυνότητα, γιατί αυτή εξαρτάται από φυσικούς παράγοντες (ιδιότητες της σεισμικής εστίας, του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, του εδάφους θεμελίωσης των τεχνικών κατασκευών, κλπ.) τους οποίους ο άνθρωπος αδυνατεί να μεταβάλει, προς το παρόν τουλάχιστον (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2002).

7.4.2 Σχέσεις εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας

Οι σχέσεις καθορισμού της σεισμικής επικινδυνότητας είναι:

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

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

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

$$Mw = 6.78 (\pm 0.12) + 0.65 (0.25) \log (AD)$$

Mw : Moment Magnitude

b) Ambraseys & Jackson (1998), (Κανονικά ρήγματα, Ανατολική Μεσόγειο):

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

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

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

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

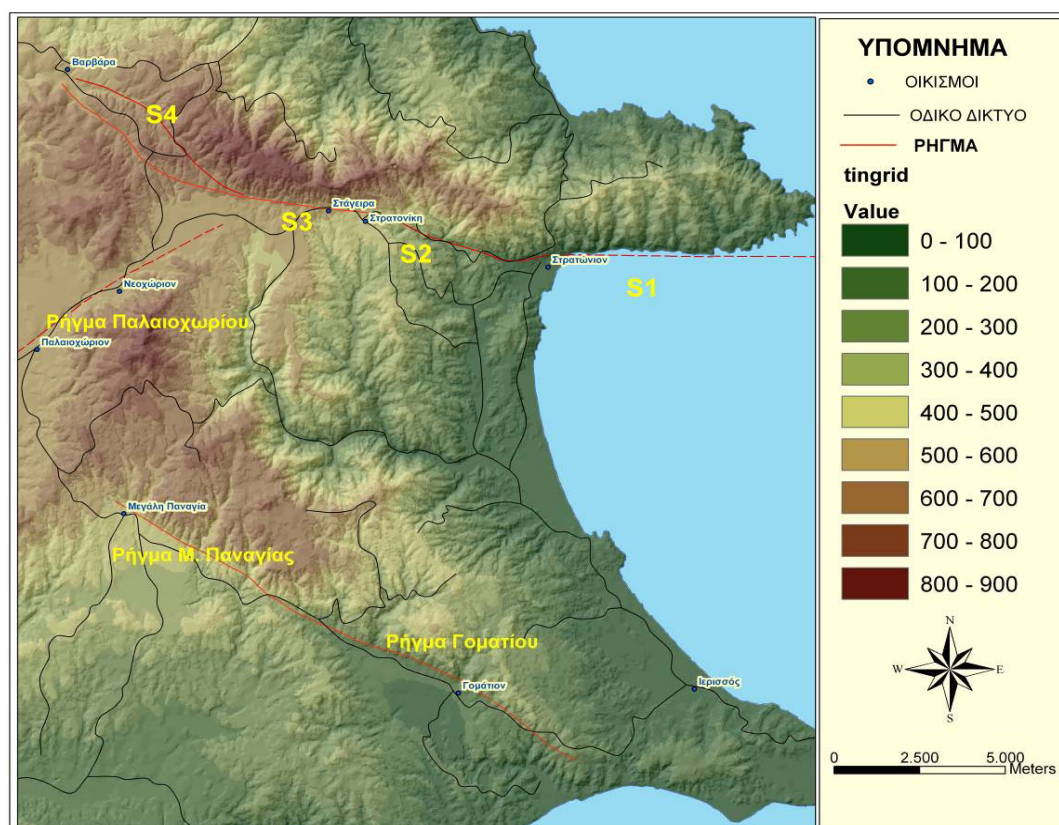
$$(Ms = 1.42 \log (L) + 4.36 \text{ και } Ms = 1.21 \log (L) + 5.48)$$

7.4.3 Υπολογισμός Σεισμικού Δυναμικού

Για τον υπολογισμό του σεισμικού δυναμικού των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σχέσεων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.4.2.

	Μήκος ρήγματος σε km	<i>Wells & Coppersmith (1994)</i>	<i>Ambraseys & Jackson (1998)</i>	<i>Pavlides & Caputo (2004)</i>
ρήγμα Βαρβάρας - Στρατωνίου	30	6.8 (± 0.7)	6.8	6.8 (± 0.7)
ρήγμα Βαρβάρας (S4)	6	5.9 (± 0.5)	6.0	6.2 (± 0.3)
ρήγμα Στρατωνίου (S1,2,3)	20	6.6 (± 0.7)	6.6	6.7 (± 0.4)
S3	6	5.9 (± 0.5)	6.0	6.2 (± 0.3)
S2	4	5.7 (± 0.5)	5.8	6.0 (± 0.2)
S1	10	6.2 (± 0.5)	6.3	6.4 (± 0.4)
S(1, 2, 3, 4)	20	6.7 (± 0.7)	6.7	6.8 (± 0.4)
ρήγμα Μ. Παναγίας - Γοματίου	15.5	6.4 (± 0.7)	6.5	6.6 (± 0.4)
ρήγμα Μ. Παναγίας	6.5	5.9 (± 0.6)	6.1	6.2 (± 0.3)
ρήγμα Γοματίου	9	6.1 (± 0.6)	6.2	6.3 (± 0.4)
ρήγμα Παλαιόχωριου	8	6.1 (± 0.5)	6.2	6.3 (± 0.4)

Πίνακας 4. Πίνακας με τα αποτελέσματα μήκους ρήγματος – μέγεθος σεισμού των σχέσεων των Wells & Coppersmith (1994), Ambraseys & Jackson (1998) και Pavlides & Caputo (2004)



Σχήμα 66. Χάρτης των ρηγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στον πίνακα 4.

8 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί θεμελιώδη γεωμορφολογικό παράγοντα. Ως υδρογραφικό δίκτυο νοείται το σύνολο των ρεμάτων τα οποία αποστραγγίζουν σε μια λεκάνη απορροής.

Στην περιοχή μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε από τους τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ., φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα φύλλο χάρτη 1:50000.

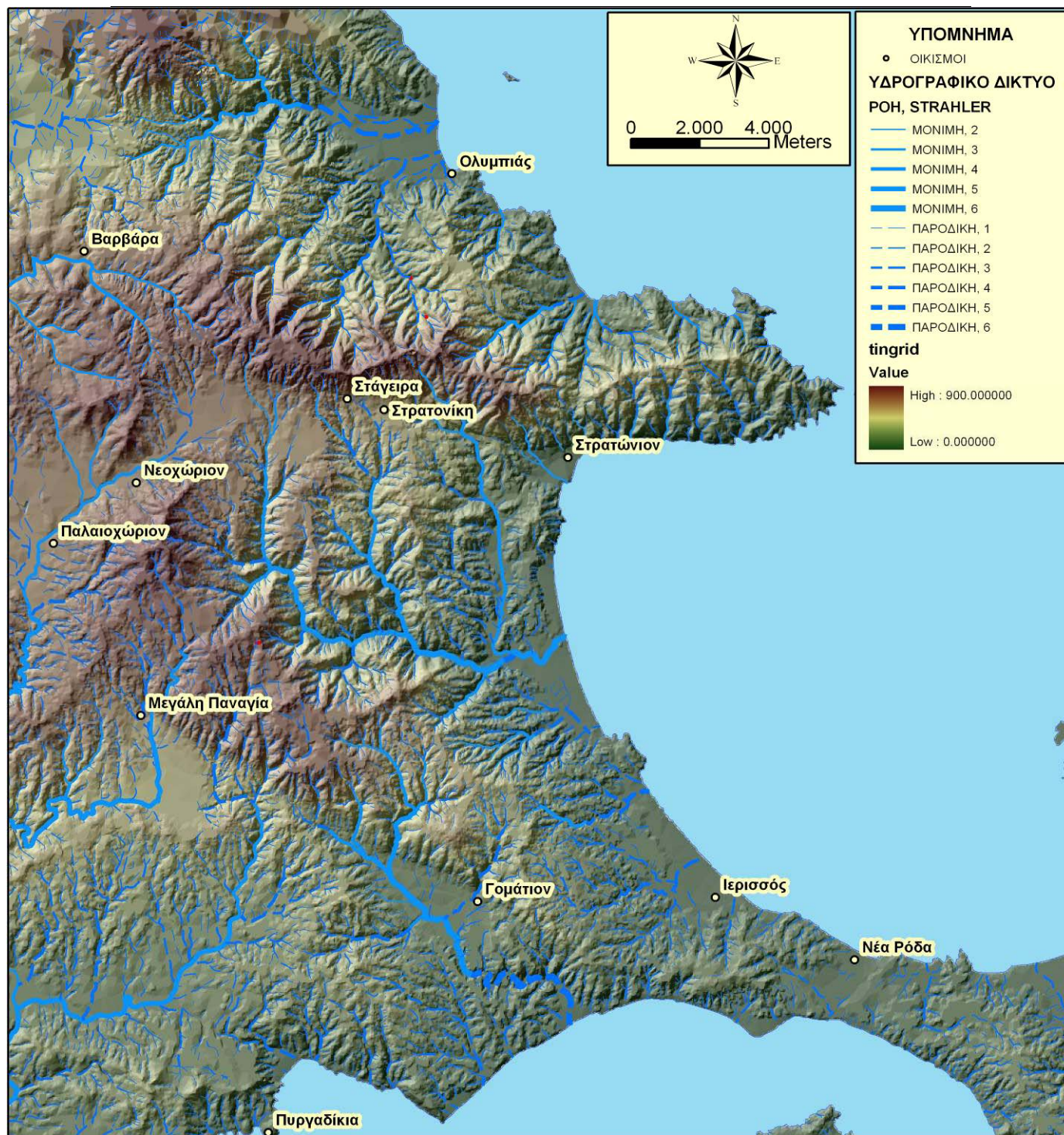
Η ταξινόμηση των κλάδων του δικτύου έγινε με τη μέθοδο του Strahler (Strahler 1952). Αυτή έδειξε πως το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης είναι παροδικής αλλά και μόνιμης ροής (Σχήμα 67) και κάποια από τα ρέματα αυτά είναι 6^{ης} τάξης.

Το δίκτυο παρουσιάζεται πολύ καλά ανεπτυγμένο σε όλη την περιοχή μελέτης, η δε μορφή του είναι, σύμφωνα με τον Howard (1967), δενδριτική (Σχήμα 67).

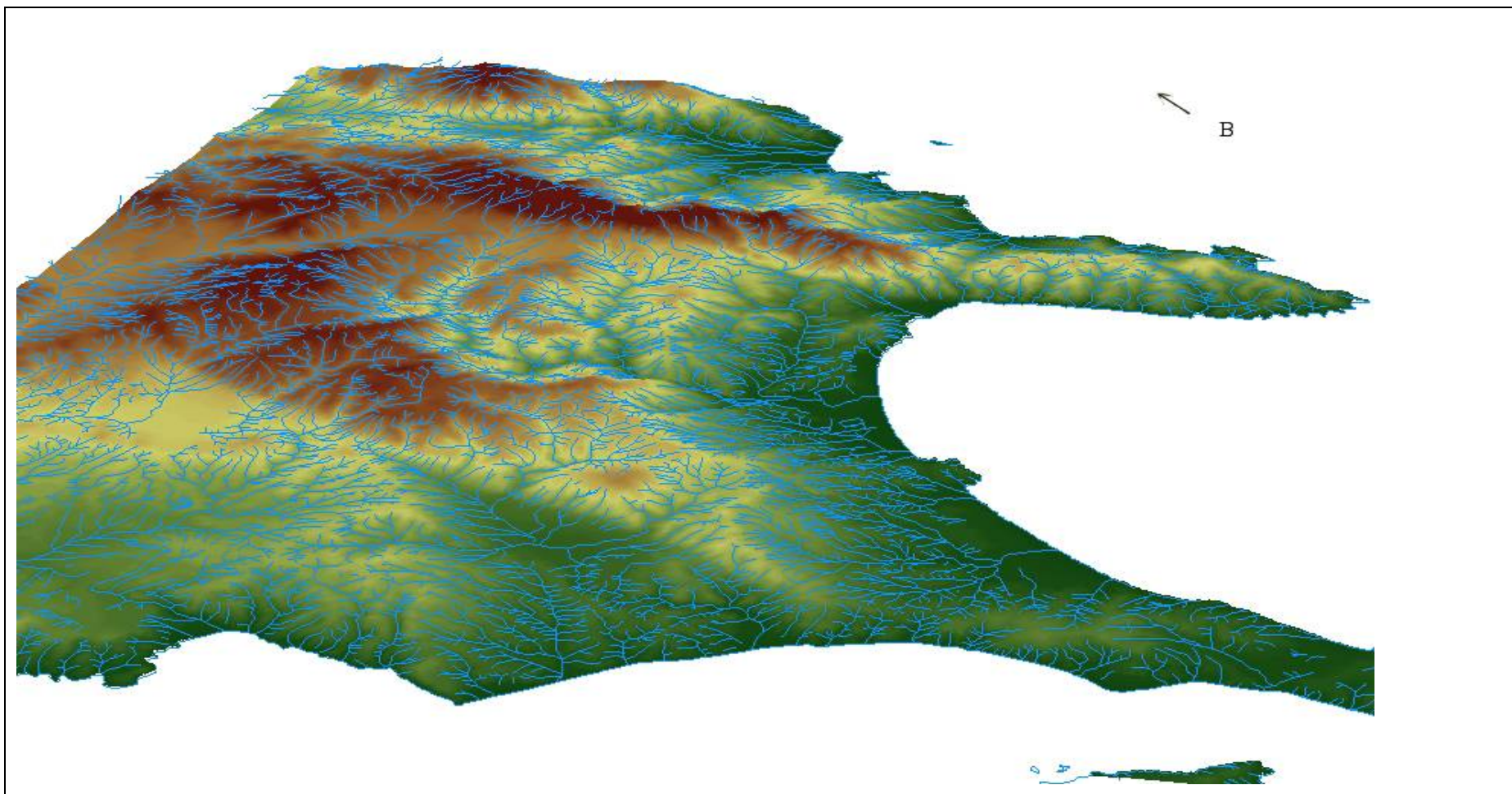
Από το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης παρατηρείται, πως η απόσταση της κοίτης του Ασπρόλακκα από τον υδροκρίτη είναι μεγαλύτερη στη βόρεια πλευρά από ότι στην νότια, με αποτέλεσμα το μήκος των βόρειων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου να υπερέχει σημαντικά σε σχέση με αυτό νότιων, οπότε η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου να χαρακτηρίζεται ως ασύμμετρη.

Κυριότερα ρέματα είναι τα εξής: Κοκκινόλακκος και Καρρόλακκας ρέμα, μεταξύ Σιδηρόλακκου (Μαδέμ – Λάκκου) και Ιερισσού, Μεγάλο ρέμα, και Μπασδέκη ρέμα, τα οποία δημιουργούν την αλλουβιακή πεδιάδα, Β της Ολυμπιάδας, Πετρένια ρέμα νοτιοανατολικά του Γοματίου.

Επίσης, μια χαρακτηριστική, επιμήκης λεκάνη απορροής (ρέμα Κοκκινόλακκου), απαντά νότια του Στρατωνίου, η οποία διακόπτει τον ορεινό όγκο του Στρατονικού όρους, παράλληλα προς την ακτογραμμή, από το Στρατώνι μέχρι το ακρωτήριο Κλεισούρι (Β-ΒΔ της Ιερισσού).



Σχήμα 67. Ψηφιακό μοντέλο αναγύψου (DEM) με την κατανομή του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 68. Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο αναγύψου (DEM) και το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης.

9 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

9.1 Γενικά

Γενικά, η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιορεινή, με μεγαλύτερο σε έκταση ορεινό όγκο αυτόν του Στρατονικού όρους (στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης) και κυριότερες κορυφές τις εξής: Καστέλλι (913 μ.), Ανατολικά του Παλαιοχωρίου, Στρεμπενίκος (868 μ.), Βόρεια των Σταγείρων, Τούρλα (832 μ.) και Προφ. Ηλίας (800 μ.), Βόρεια του Νεοχωρίου και Σαμαρά Αλώνι (701 μ.) Ανατολικά της Μεγάλης Παναγίας.

Πιο ήπιο το ανάγλυφο απαντά στις παράκτιες περιοχές της Ολυμπιάδας και του Στρατωνίου και μεταξύ Στρατωνίου και Ιερισσού, Ιερισσού και Νέα Ρόδα και στην περιοχή του Παλαιοχωρίου.

Σύμφωνα με τον Dikau (1989), που ασχολήθηκε με την ταξινόμηση του αναγλύφου (Πίνακας 5), η έκταση της περιοχής μελέτης κατανέμεται σε τέσσερις γεωμορφολογικές ενότητες ή τύπους αναγλύφου (Πίνακας 6).

ΥΨΟΣ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (μ.)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
<150	Πεδινές περιοχές
150-600	Λοφώδεις περιοχές
600-900	Υψηλοί λόφοι – ημιορεινές περιοχές
>900	Ορεινές περιοχές

Πίνακας 5. Ταξινόμηση του αναγλύφου σύμφωνα με το ύψος του από την επιφάνεια της θάλασσας (Dikau 1989).

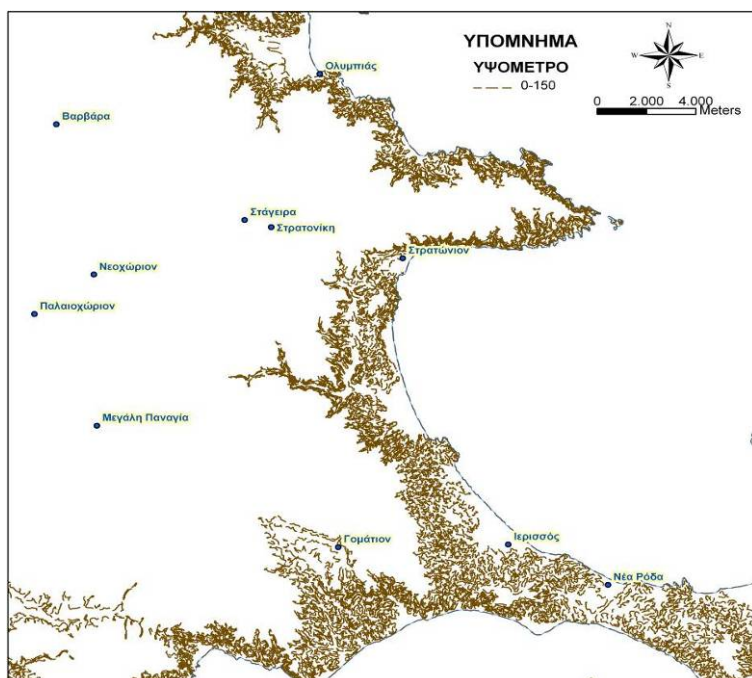
ΤΥΠΟΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ	ΕΚΤΑΣΗ	% ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
Πεδινή περιοχή	170060992m ²	27,9
Περιοχή χαμηλών λόφων	356515008 m ²	58,5
Περιοχή υψηλών λόφων	82524400 m ²	13,6
Ορεινή περιοχή	0	0

Πίνακας 6. Ποσοστό κάλυψης επί τοις εκατό των παραπάνω τύπων αναγλύφου.

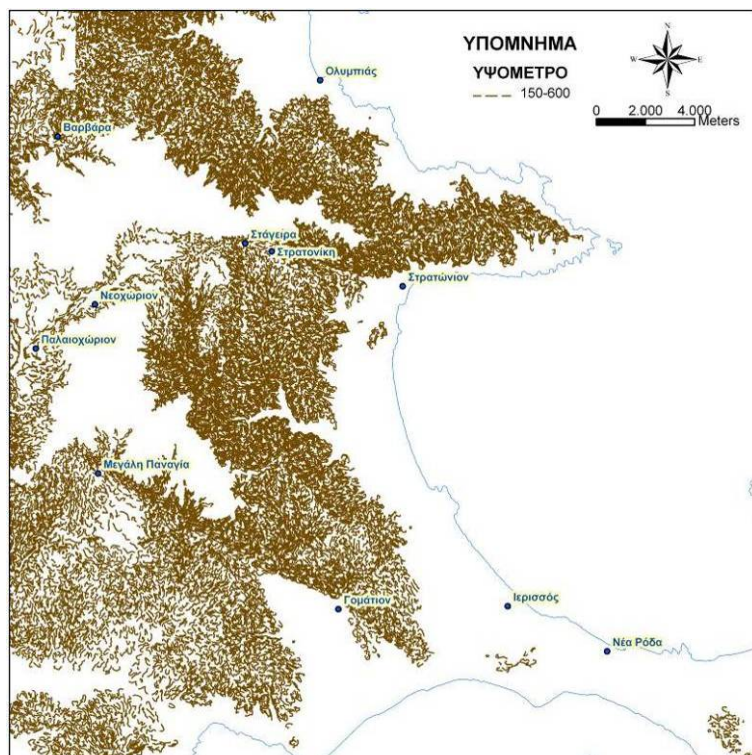
Η κατάταξη αυτή επετεύχθη κατόπιν εμβαδομέτρησης της περιοχής μελέτης, με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS και συγκεκριμένα του υποπρογράμματος 3DAnalyst, μεταξύ των ισοϋψών καμπυλών 0-150, 150-600, 600-900 και άνω των 900 μέτρων. Η εμβαδομέτρηση έγινε λαμβάνοντας υπόψη συγχρόνως τις ισοϋψείς καμπύλες και την κλίση του αναγλύφου της περιοχής.

Με βάση τις παραπάνω μετρήσεις, η περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή-λοφώδης περιοχή, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό

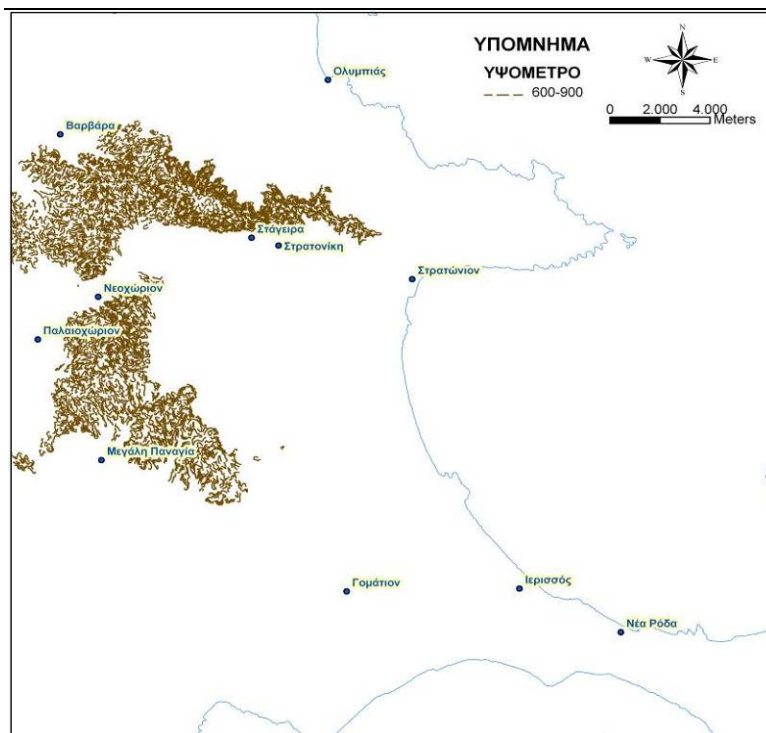
αυτής (86,4%) βρίσκεται στη συγκεκριμένη κατηγορία. Υψόμετρο μεγαλύτερο των 600 μ. είναι η περιοχή του Στρατονικού όρους μέχρι τα 900μ. η περιοχή αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιορεινή.



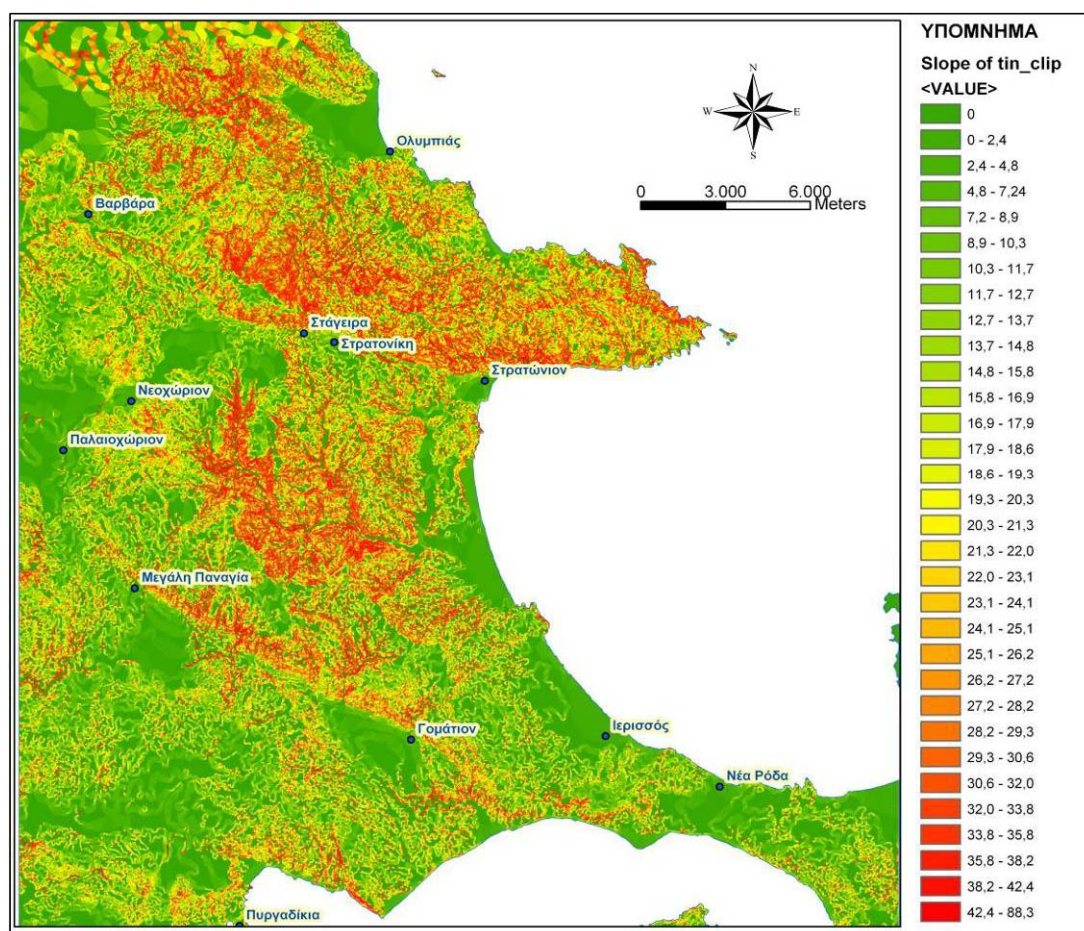
Σχήμα 69. Περιοχές με υψόμετρο 0-150 μ.



Σχήμα 70. Περιοχές με υψόμετρο 150-600 μ.



Σχήμα 71. Περιοχές με υψόμετρο 600-900 μ.



Σχήμα 72. Χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης, με το κόκκινα χρώματα είναι οι περιοχές με μεγάλες κλίσεις (από 38°-88°) ενώ με τα κιτρινοπράσινα χρώματα χαρακτηρίζονται οι ομαλές περιοχές (μικρές κλίσεις από 0°-20°).

9.2 Μορφολογικοί δείκτες

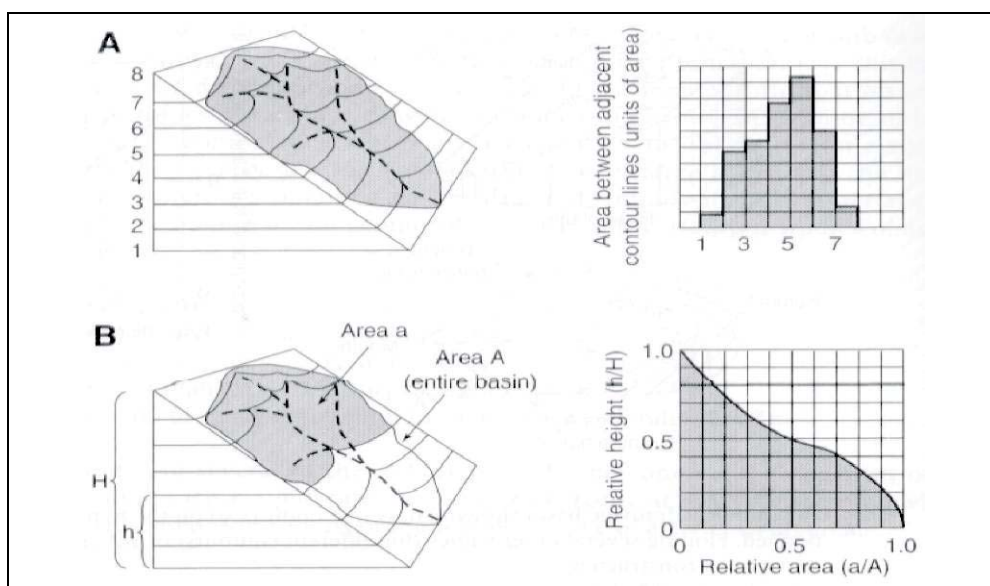
9.2.1 Υψομετρική καμπύλη και υψομετρικό ολοκλήρωμα

Η υψομετρική καμπύλη και το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι πολύ σπουδαία μορφομετρικά στοιχεία του αναγλύφου. Η υψομετρική καμπύλη εκφράζει την κατανομή των υψομέτρων σε μια περιοχή (Strahler 1952, Mayer 1990, Keller & Pinter 2000).

Στο Σχήμα 73 φαίνεται ένα διάγραμμα ορισμού της υψομετρικής καμπύλης. Σ' αυτό μια λεκάνη απορροής έχει χωριστεί σε 8 ίσα μέρη σε σχέση με το υψόμετρο h (όπου H υψομετρική διαφορά). Το ολικό εμβαδό θα είναι το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων της λεκάνης, (A), ενώ το (a) είναι το εμβαδό της λεκάνης που βρίσκεται πάνω από μια γραμμή υψόμετρου (h).

Η τιμή a/A πάντα κυμαίνεται από 1.0 στο χαμηλότερο σημείο της λεκάνης ($h/H=0.0$) έως 0 το υψηλότερο σημείο όπου ($h/H=1.0$). Η υψομετρική καμπύλη είναι ανεξάρτητη μεγέθους λεκανών, αναγλύφου και κλίμακας χάρτη.

Μια χρησιμότητα της καμπύλης αυτής είναι ότι ενδείκνυται για τη σύγκριση λεκανών διαφορετικού μεγέθους, εφόσον το υψόμετρο και το εμβαδό είναι ανάλογα προς το ολικό ποσό τους.



Σχήμα 73. Υψομετρική καμπύλη (από Keller & Pinter 2000).

Το σχήμα μιας λεκάνης απορροής καθορίζεται από το υψομετρικό ολοκλήρωμα. Αυτό υπολογίζεται με δύο τρόπους:

Ως μαθηματική έκφραση είναι το εμβαδόν της υψομετρικής καμπύλης. Ή από τον παρακάτω τύπο, όπου το ελάχιστο και το μέγιστο υψόμετρο μπορούν να υπολογιστούν απευθείας από το χάρτη.

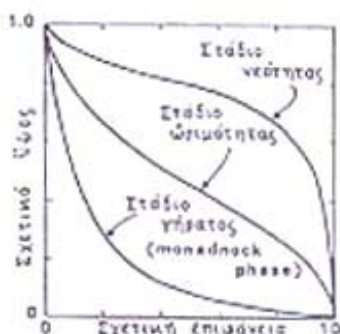
$$\frac{\text{μέσο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}{\text{μέγιστο υψόμετρο} - \text{ελάχιστο υψόμετρο}}$$

Το μέσο υψόμετρο μπορεί να υπολογιστεί είτε κατασκευάζοντας ένα δίκτυο 50 περίπου σημείων στην περιοχή και εκτιμώντας έτσι το μέσο υψόμετρο, είτε μέσω ψηφιοποιημένων χαρτών και Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου (Digital Elevation Models - DEMs) για μεγαλύτερη ευκολία.

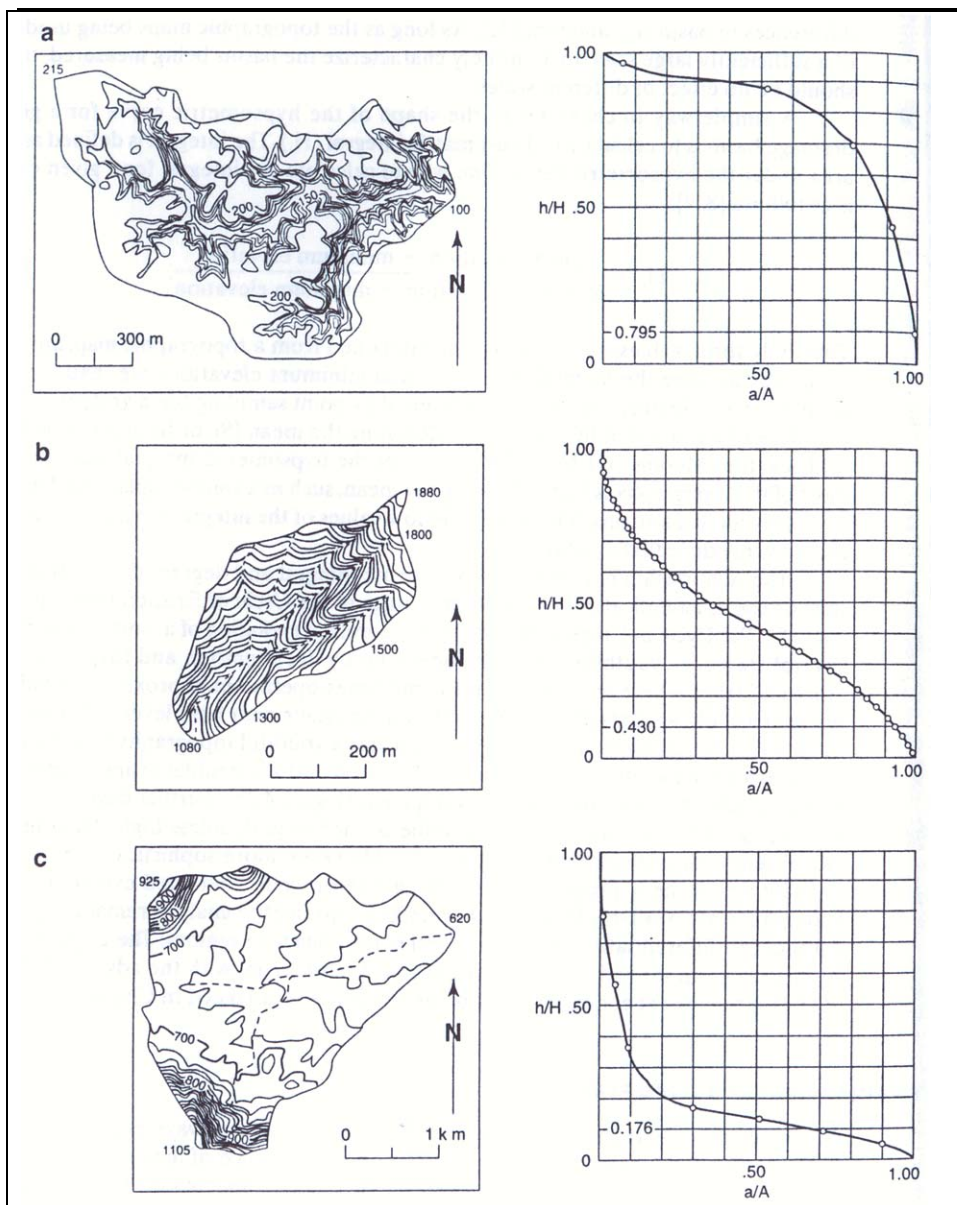
Υψηλές τιμές του ολοκληρώματος δείχνουν ότι η τοπογραφία είναι υψηλή σε σχέση με τη μέση τιμή υψομέτρου της περιοχής. Μέσες έως και χαμηλές τιμές σχετίζονται με περισσότερο ομαλές περιοχές.

Υψομετρική ανάλυση αποτελεί ένα ισχυρό δείκτη για το διαχωρισμό τεκτονικά ενεργών και μη ενεργών περιοχών.

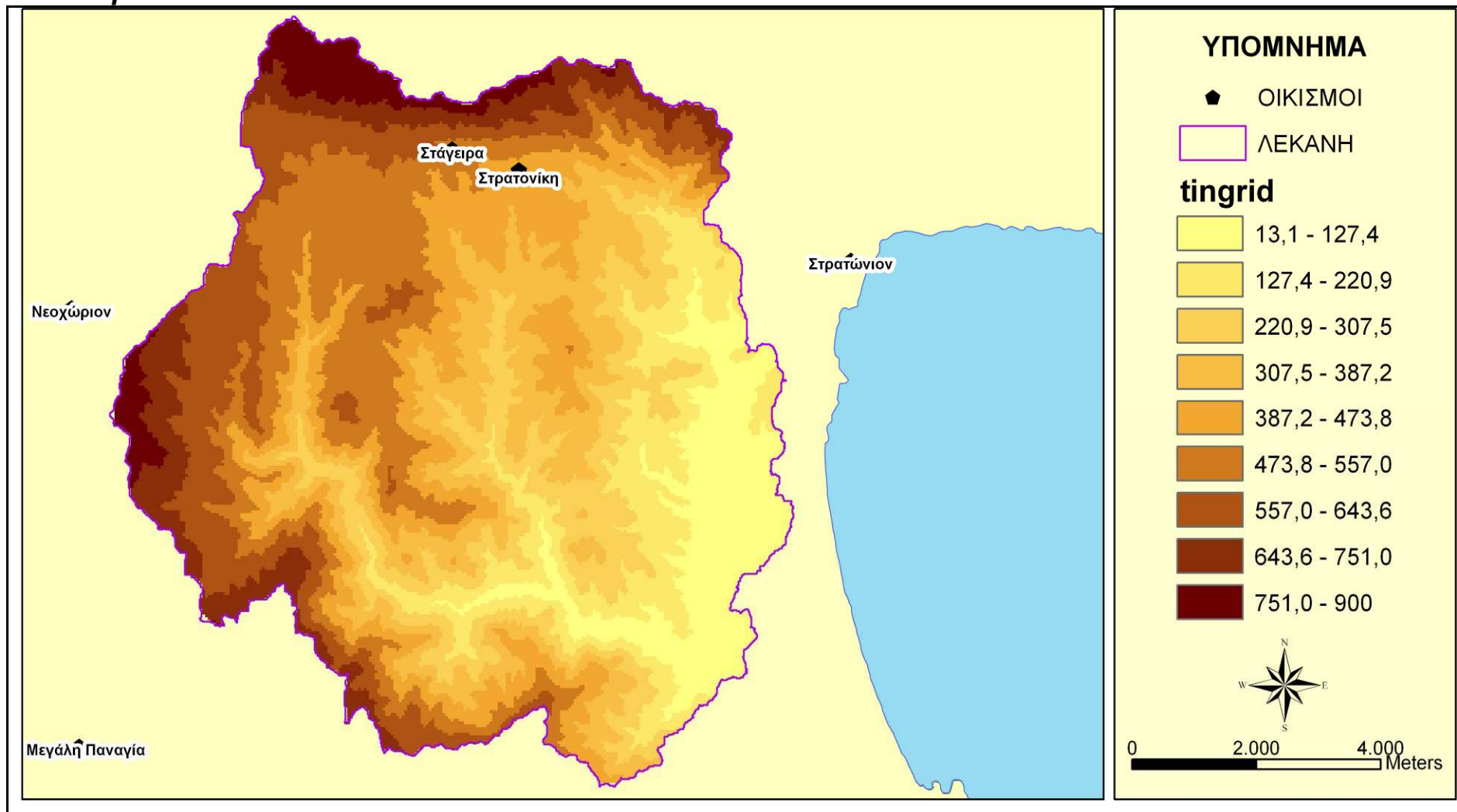
Σύμφωνα με το Strahler (1952, 1957, 1964) η μετάβαση από το «στάδιο της νεότητας» στο «στάδιο της ωριμότητας» ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση στο υψομετρικό ολοκλήρωμα, $\int=60\%$ και από το «στάδιο της ωριμότητας» στο «στάδιο του γήρατος» στο $\int=35\%$.



Σχήμα 74. Χαρακτηριστικές καμπύλες του κύκλου διαβρώσεως (από Strahler 1964).

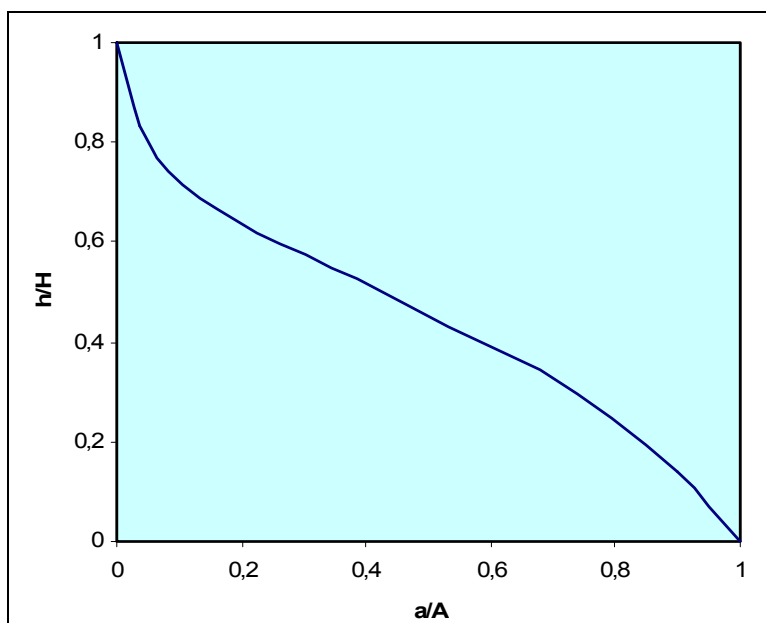


Σχήμα 75. Τρία παραδείγματα υψομετρικής καμπύλης, α. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο νεότητας, b. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο ωριμότητας, και c. η λεκάνη αριστερά και δεξιά το υψομετρική καμπύλη που δείχνει το στάδιο γήρατος .

Λεκάνη 1**Σχήμα 76.** *Tingrid (μορφή raster υψομετρικού αναγλύφου) της λεκάνης 1.*

a/A	h/H
1,00	0,00
0,90	0,14
0,79	0,25
0,68	0,34
0,53	0,43
0,39	0,53
0,23	0,62
0,10	0,72
0,04	0,83
0,00	1,00

Πίνακας 7. Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη 1.

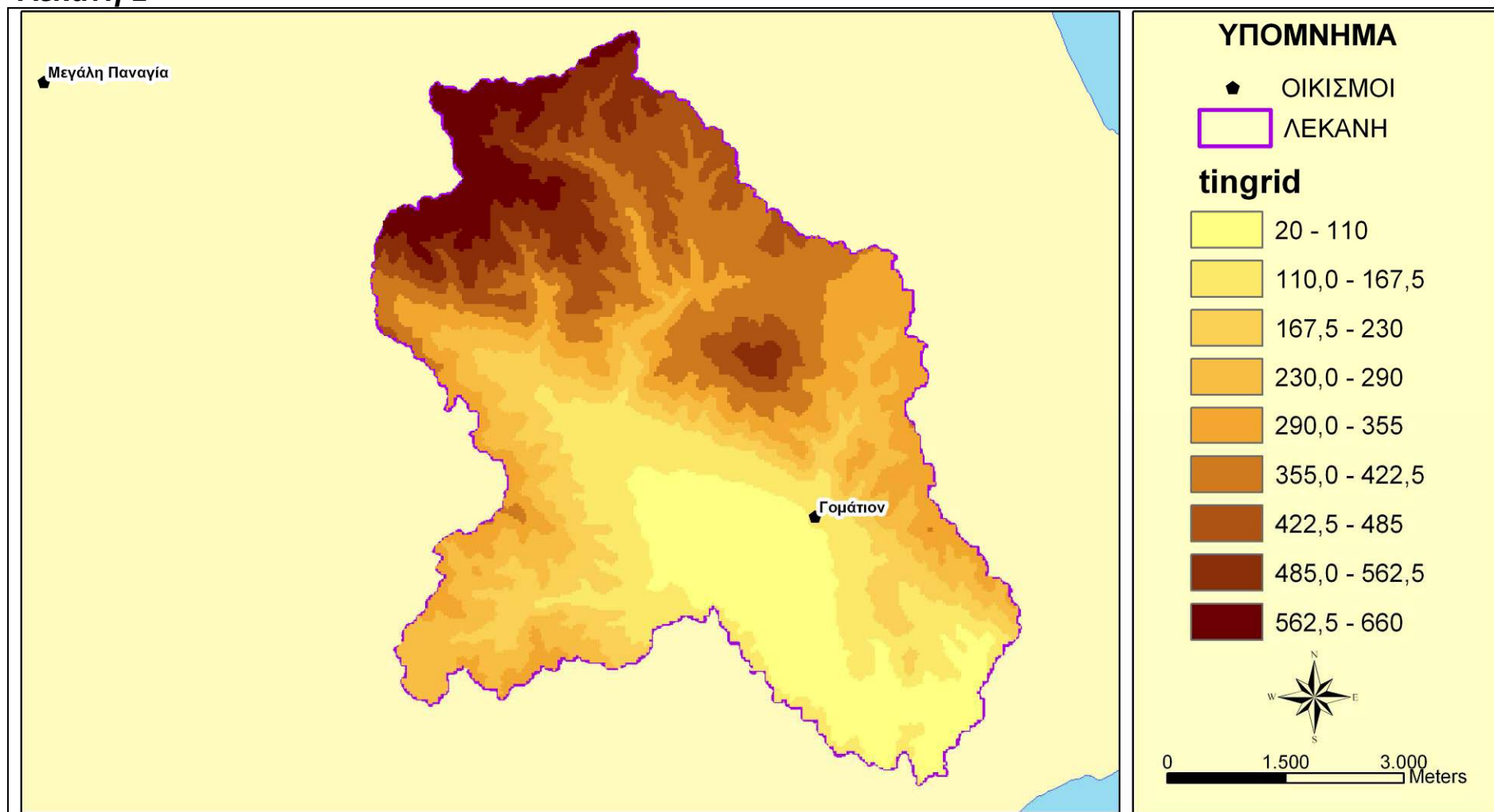


Σχήμα 77. Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης 1 και βρίσκεται στο «στάδιο της ωριμότητας».

Υψομετρικό ολοκλήρωμα:

	m
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	13.1
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	402
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	900
<u>μέσο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο</u>	<u>388.9</u>
<u>μέγιστο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο</u>	<u>886.9</u>
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ	0.4384 43.8%

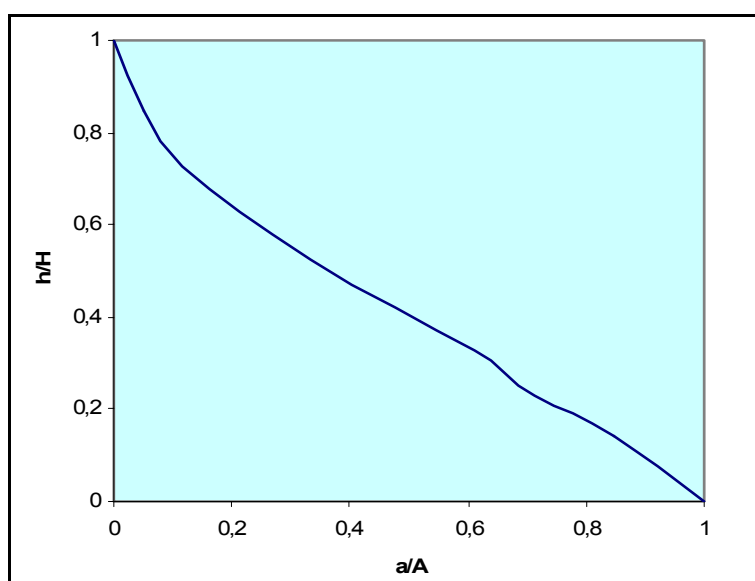
Πίνακας 8. Υψομετρικό ολοκλήρωμα της Λεκάνης 1, δείχνει το στάδιο της ωριμότητας.

Λεκάνη 2

Σχήμα 78. Tingrid (μορφή raster υψομετρικού αναγλύφου) της λεκάνης 1.

a/A	h/H
1,00	0,00
0,85	0,14
0,71	0,23
0,61	0,33
0,48	0,42
0,34	0,52
0,21	0,63
0,12	0,73
0,05	0,85
0,00	1,00

Πίνακας 9. Σχετικά εμβαδά και σχετικά υψόμετρα για τη Λεκάνη 2.

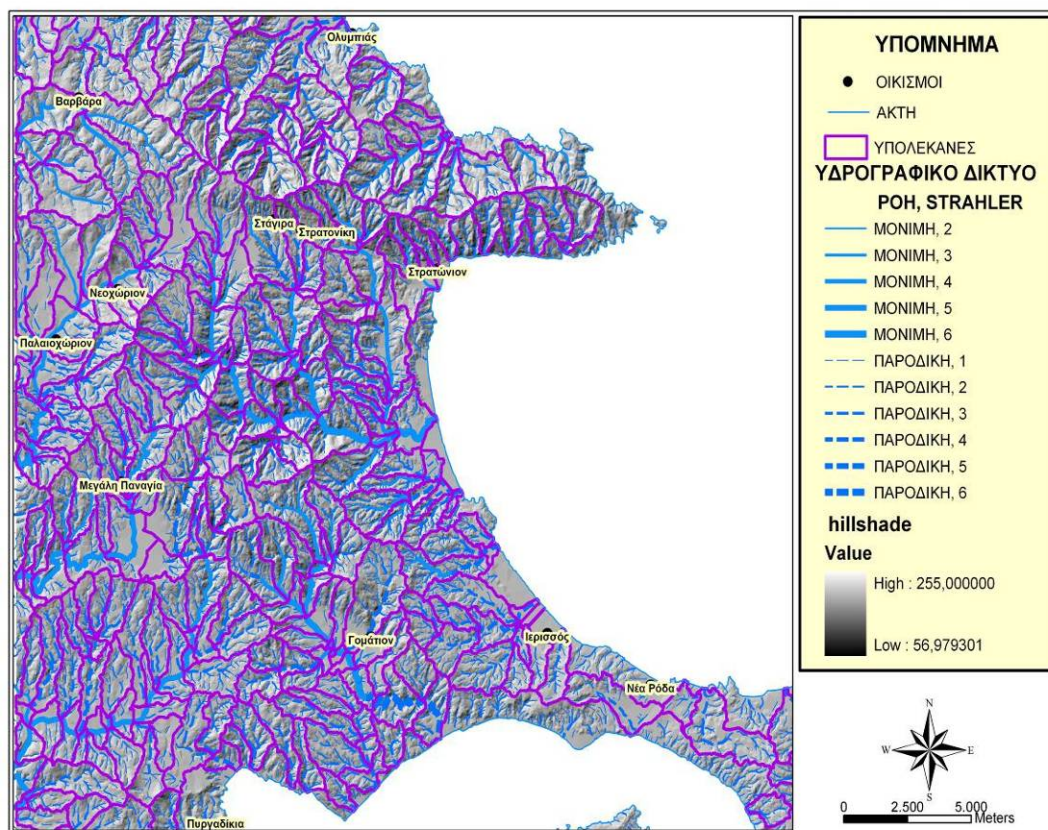
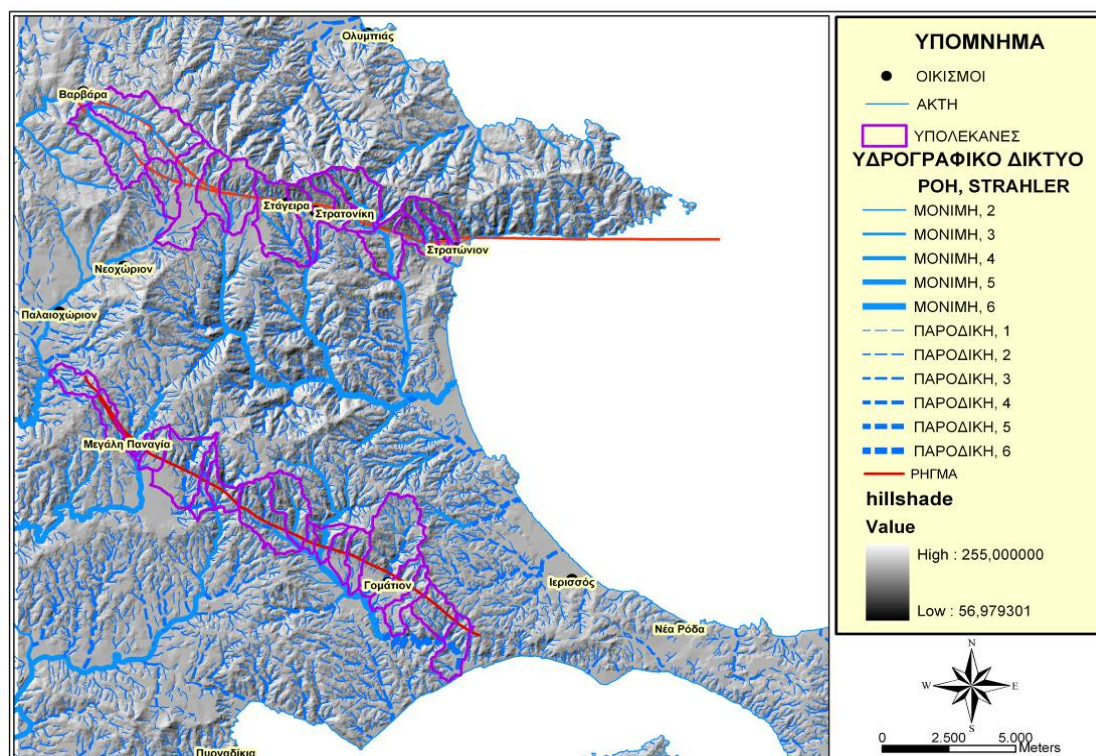


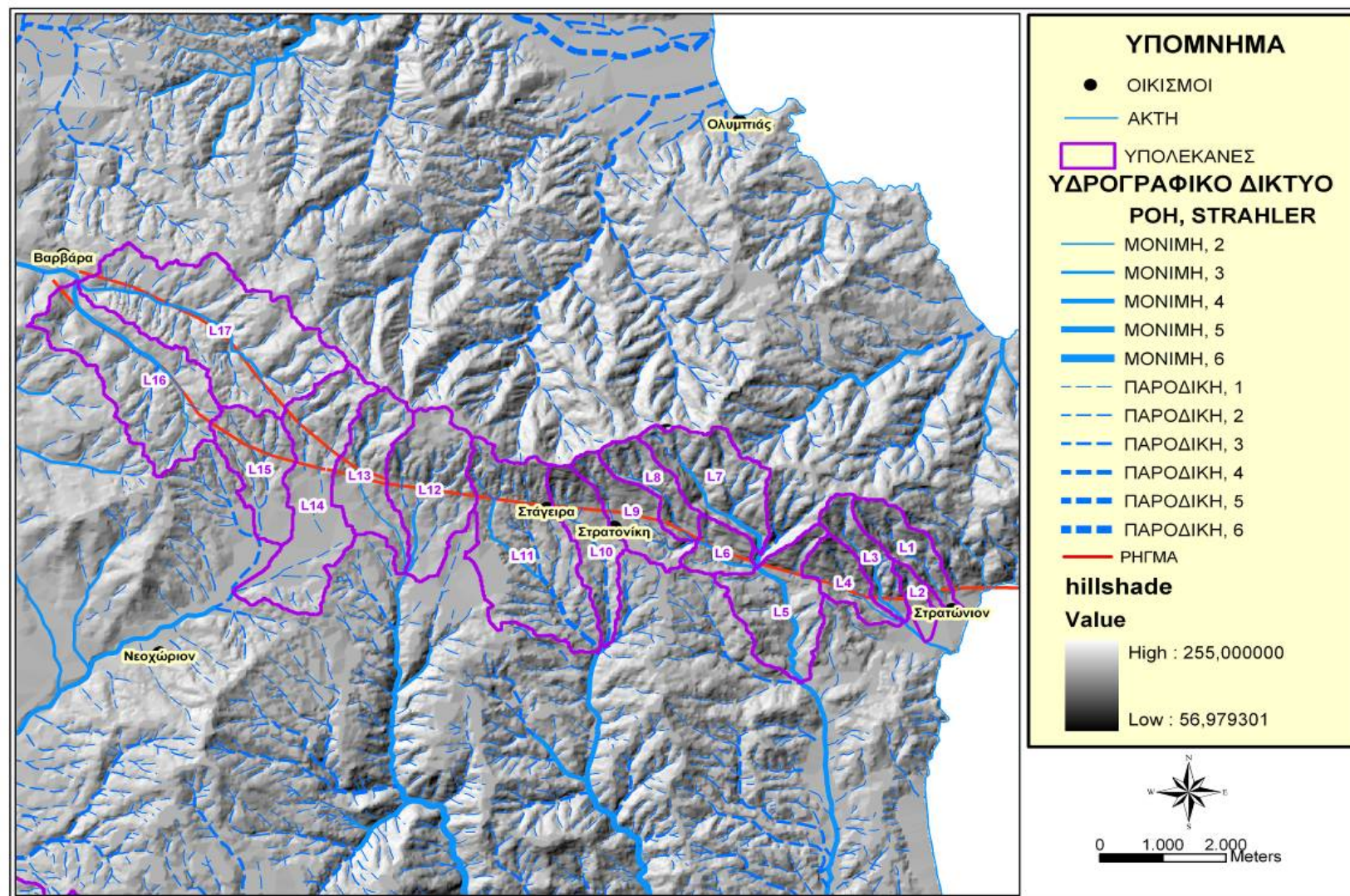
Σχήμα 79. Υψομετρική καμπύλη Λεκάνης 2 και βρίσκεται στο «στάδιο της ωριμότητας».

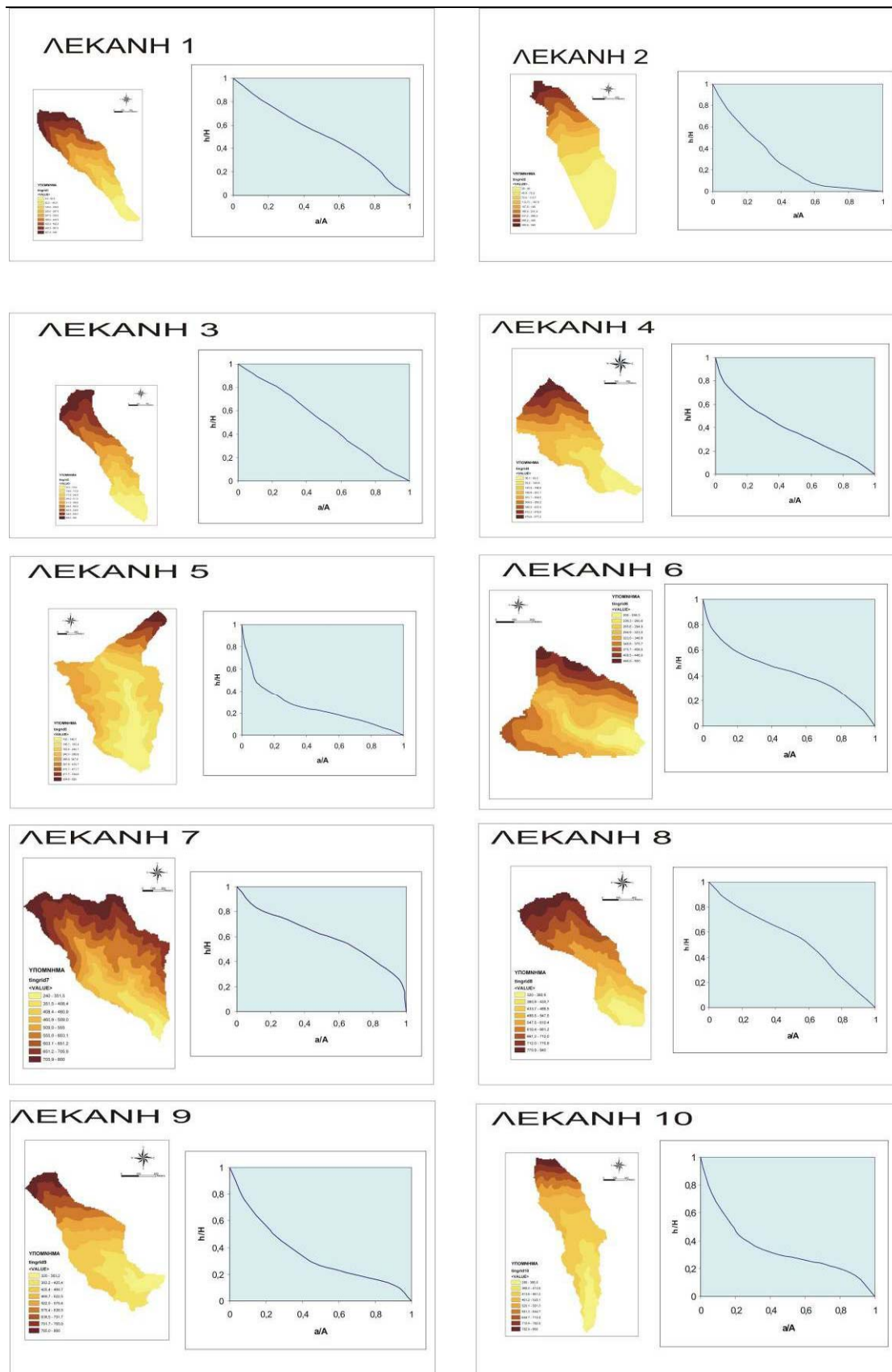
Υψομετρικό ολοκλήρωμα:

	m
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	20
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	288,4
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	660
μέσο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο	268,4
μέγιστο υψόμετρο - ελάχιστο υψόμετρο	640
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ	0,42 42,0%

Πίνακας 10. Υψομετρικό ολοκλήρωμα Λεκάνης 2 δείχνει το στάδιο της ωριμότητας.

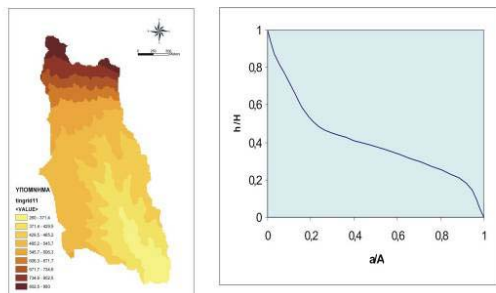
Υπολεκάνες**Σχήμα 80.** Υπολεκάνες ευρύτερης περιοχής μελέτης.**Σχήμα 81.** Υπολεκάνες μελέτης.

Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Βαρβάρας - Στρατωνίου.**Σχήμα 82.** Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Βαρβάρας - Στρατωνίου.

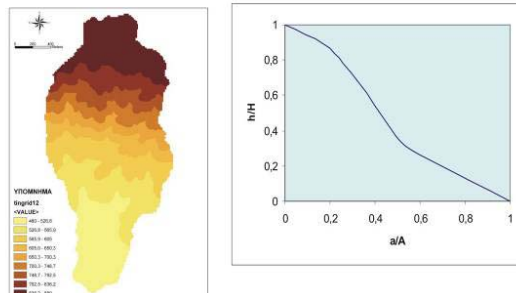


Σχήμα 83. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 1 – 10. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκεται η λεκάνη απορροής 7, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9 και 10, και οι λεκάνες απορροής 2 και 5 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».

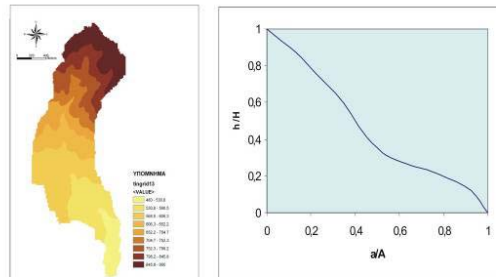
ΛΕΚΑΝΗ 11



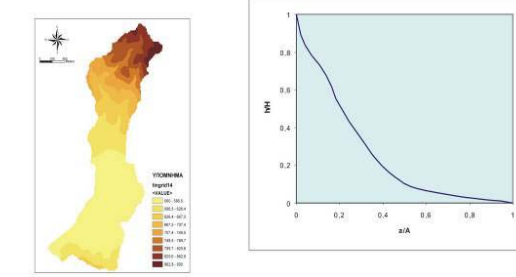
ΛΕΚΑΝΗ 12



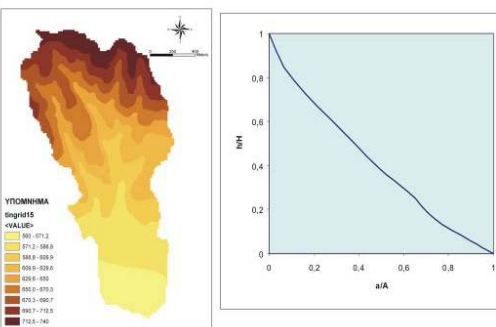
ΛΕΚΑΝΗ 13



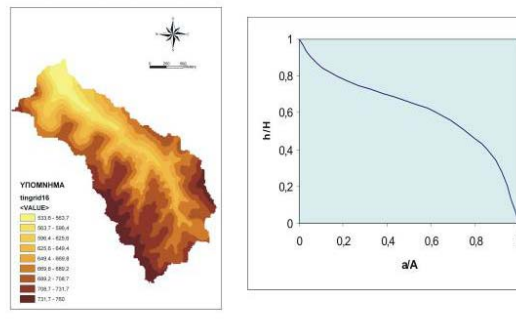
ΛΕΚΑΝΗ 14



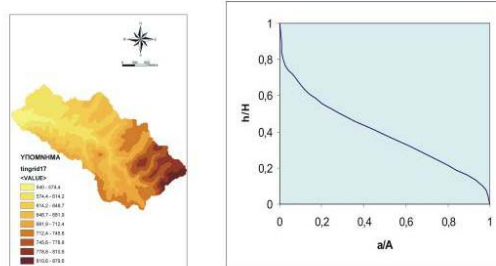
ΛΕΚΑΝΗ 15



ΛΕΚΑΝΗ 16



ΛΕΚΑΝΗ 17



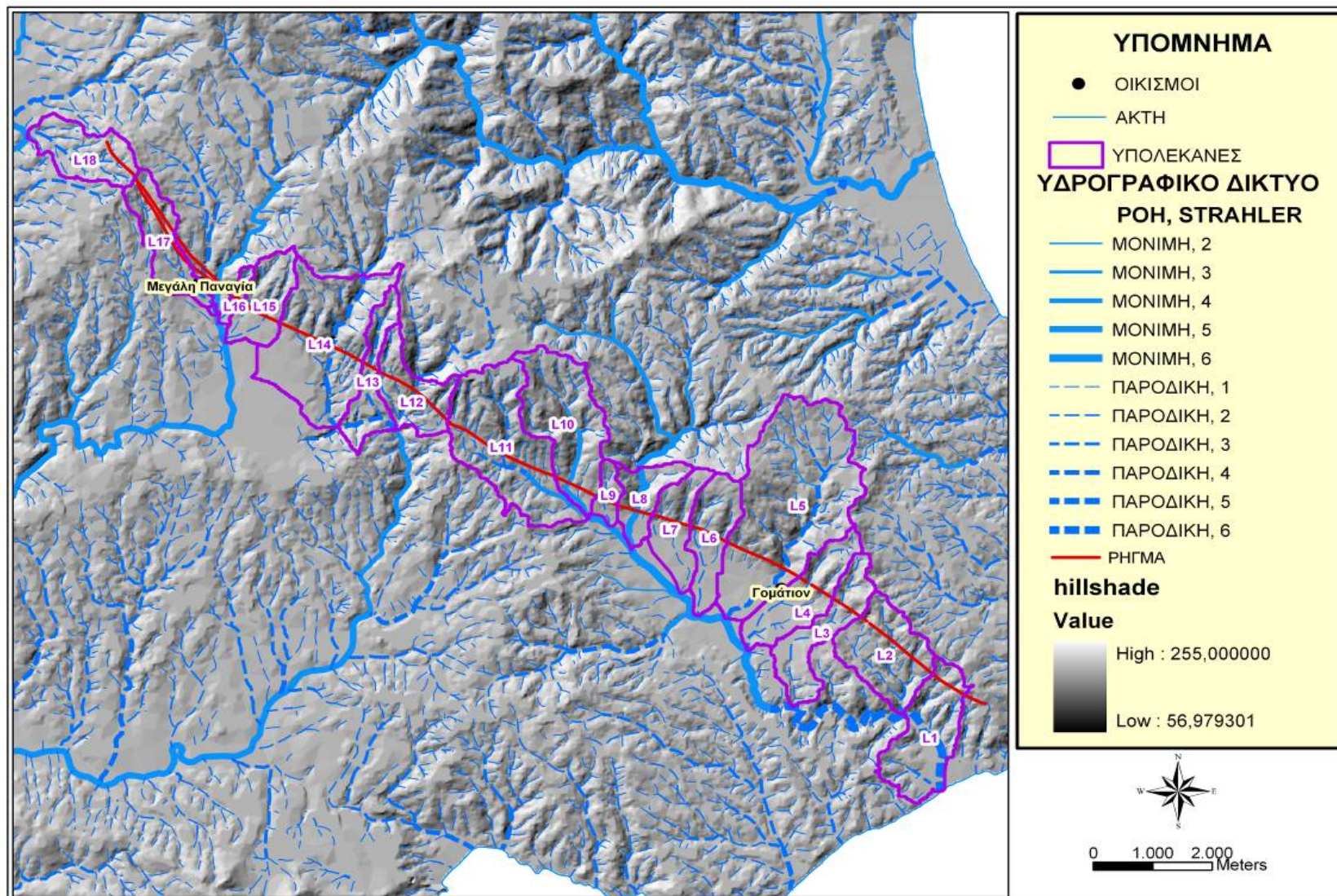
Σχήμα 84. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 11 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκεται η λεκάνη απορροής 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 11, 12, 13, 15, και 17, και η λεκάνη απορροής 14 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».

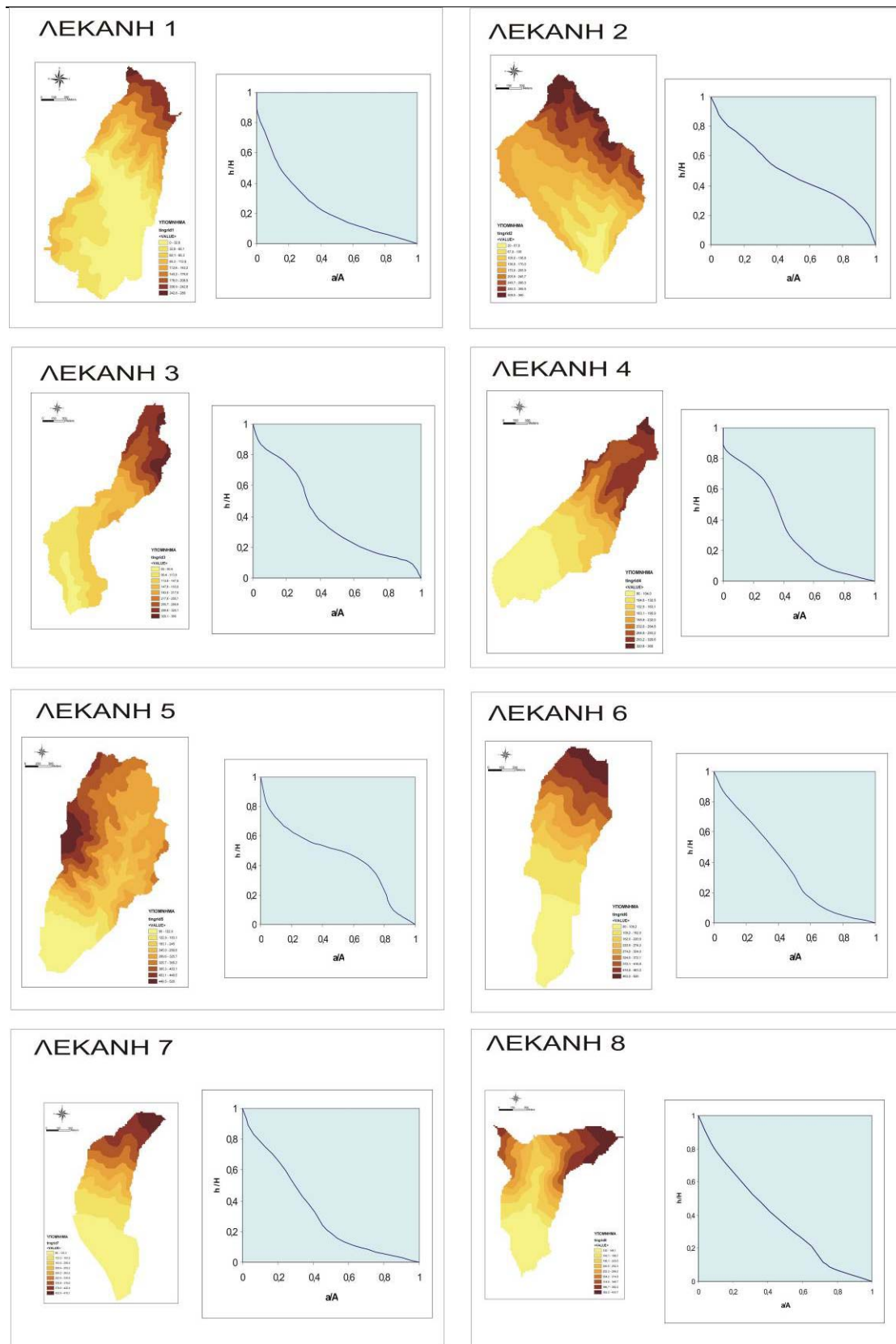
ΛΕΚΑΝΗ 1		ΛΕΚΑΝΗ 2		ΛΕΚΑΝΗ 3		ΛΕΚΑΝΗ 4		ΛΕΚΑΝΗ 5		ΛΕΚΑΝΗ 6	
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
0.49	0.10	0.58	0.11	0.55	0.15	0.64	0.16	0.55	0.24	0.65	0.47
0.35	0.23	0.43	0.20	0.29	0.25	0.44	0.25	0.39	0.31	0.52	0.53
0.29	0.34	0.58	0.30	0.23	0.35	0.33	0.34	0.29	0.39	0.45	0.59
0.25	0.45	0.57	0.38	0.20	0.46	0.27	0.44	0.58	0.47	0.35	0.65
0.16	0.55	0.45	0.48	0.14	0.57	0.28	0.53	0.33	0.56	0.24	0.70
0.12	0.66	0.35	0.60	0.13	0.68	0.20	0.62	0.47	0.66	0.12	0.75
0.08	0.77	0.21	0.73	0.10	0.79	0.16	0.71	0.27	0.76	0.10	0.82
0.10	0.87	0.26	0.87	0.15	0.90	0.11	0.83	0.17	0.86	0.06	0.89
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
ΛΕΚΑΝΗ 7		ΛΕΚΑΝΗ 8		ΛΕΚΑΝΗ 9		ΛΕΚΑΝΗ 10		ΛΕΚΑΝΗ 11		ΛΕΚΑΝΗ 12	
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
0.62	0.44	0.58	0.45	0.48	0.45	0.56	0.43	0.64	0.42	0.32	0.60
0.33	0.51	0.38	0.52	0.40	0.49	0.45	0.48	0.36	0.49	0.22	0.64
0.28	0.58	0.29	0.58	0.30	0.55	0.35	0.54	0.28	0.55	0.17	0.69
0.16	0.64	0.17	0.65	0.30	0.61	0.28	0.60	0.35	0.62	0.14	0.74
0.11	0.69	0.11	0.73	0.24	0.67	0.41	0.68	0.51	0.69	0.14	0.80
0.11	0.75	0.10	0.79	0.32	0.74	0.43	0.75	0.28	0.76	0.20	0.85
0.06	0.81	0.10	0.85	0.23	0.82	0.19	0.83	0.17	0.83	0.19	0.90
0.02	0.88	0.10	0.92	0.09	0.89	0.11	0.91	0.08	0.91	0.18	0.95
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
ΛΕΚΑΝΗ 13		ΛΕΚΑΝΗ 14		ΛΕΚΑΝΗ 15		ΛΕΚΑΝΗ 16		ΛΕΚΑΝΗ 17			
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H		
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00		
0.40	0.59	0.73	0.65	0.58	0.77	0.65	0.74	0.74	0.65		
0.29	0.63	0.48	0.70	0.41	0.80	0.49	0.78	0.50	0.70		
0.18	0.67	0.25	0.74	0.29	0.82	0.30	0.82	0.50	0.74		
0.16	0.72	0.26	0.79	0.21	0.85	0.17	0.85	0.37	0.78		
0.19	0.78	0.23	0.83	0.21	0.88	0.13	0.88	0.29	0.81		
0.28	0.84	0.20	0.88	0.16	0.91	0.07	0.91	0.22	0.85		
0.16	0.89	0.29	0.92	0.18	0.93	0.04	0.93	0.17	0.89		
0.08	0.94	0.44	0.96	0.11	0.96	0.04	0.96	0.04	0.92		
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00		

Πίνακας 11. Τα σχετικά εμβαδά και τα σχετικά υψόμετρα των υπολεκανών 1 – 17 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των υψομετρικών καμπύλων.

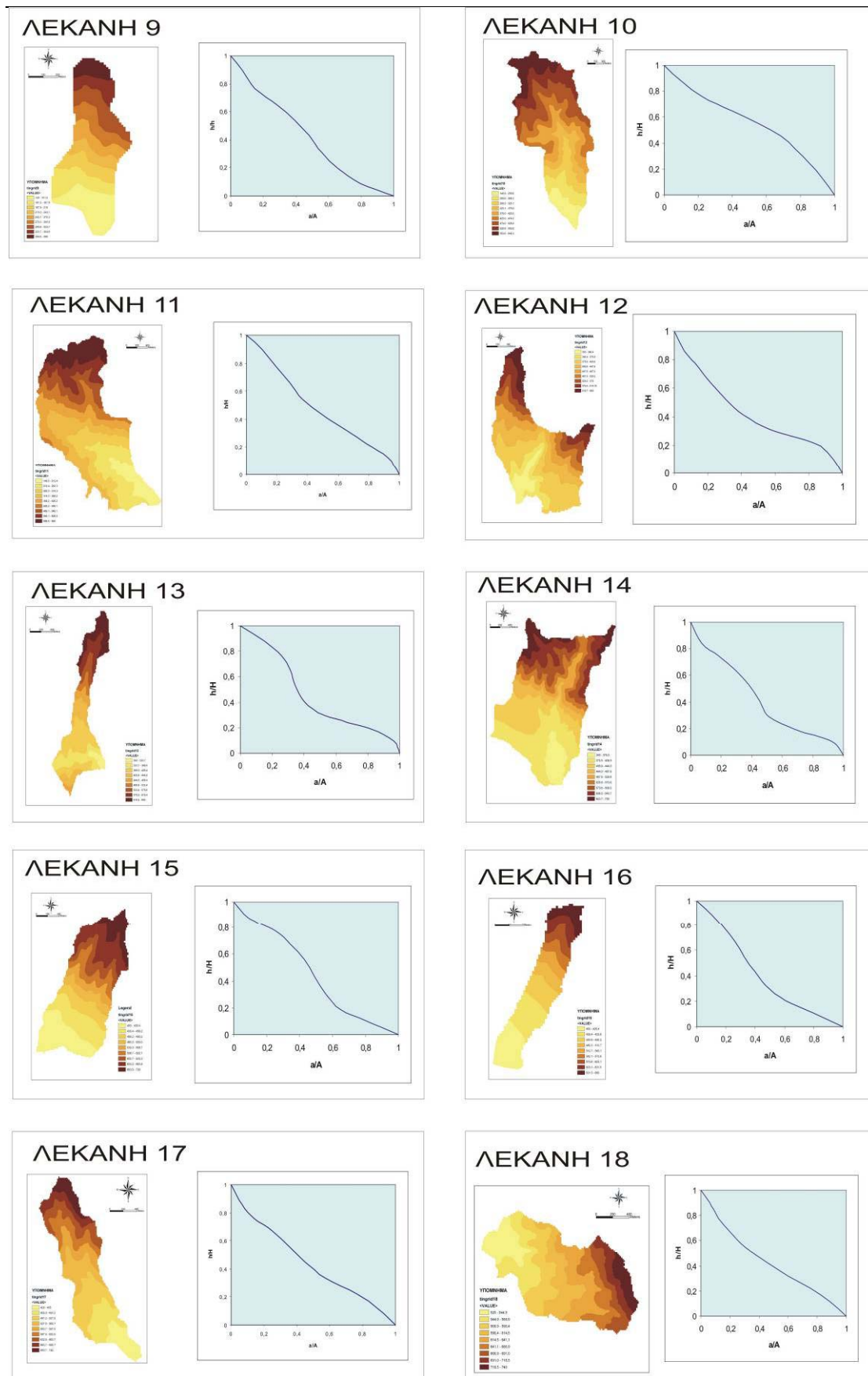
ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ
1	51,1%
2	27,3%
3	50,1%
4	38,7%
5	25,2%
6	43,6%
7	60,4%
8	53,6%
9	35,2%
10	34,4%
11	41,0%
12	46,0%
13	45,7%
14	25,0%
15	40,8%
16	62,1%
17	39,5%

Πίνακας 12. Υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 17. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17,, και οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος».

Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου.**Σχήμα 85.** Υπολεκάνες μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου.



Σχήμα 86. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 1 – 8. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 2, 3, 4, 5, 6, 7, και 8, και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».



Σχήμα 87. Υψομετρικές καμπύλες λεκανών 9 – 18. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 9 έως 18.

ΛΕΚΑΝΗ 1		ΛΕΚΑΝΗ 2		ΛΕΚΑΝΗ 3		ΛΕΚΑΝΗ 4		ΛΕΚΑΝΗ 5	
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
0.90	0.12	0.56	0.19	0.75	0.25	0.91	0.29	0.61	0.24
0.46	0.21	0.43	0.29	0.33	0.32	0.42	0.37	0.51	0.35
0.34	0.30	0.27	0.38	0.14	0.41	0.20	0.45	0.45	0.47
0.35	0.40	0.32	0.47	0.15	0.51	0.12	0.54	0.44	0.56
0.29	0.51	0.28	0.57	0.24	0.60	0.13	0.64	0.19	0.63
0.26	0.63	0.14	0.68	0.29	0.71	0.20	0.74	0.10	0.70
0.36	0.75	0.09	0.78	0.26	0.80	0.20	0.81	0.07	0.78
0.36	0.87	0.05	0.86	0.07	0.89	0.31	0.89	0.14	0.86
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
ΛΕΚΑΝΗ 6		ΛΕΚΑΝΗ 7		ΛΕΚΑΝΗ 8		ΛΕΚΑΝΗ 9		ΛΕΚΑΝΗ 10	
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
0.59	0.21	0.58	0.26	0.52	0.34	0.51	0.39	0.53	0.32
0.39	0.31	0.44	0.34	0.34	0.43	0.74	0.45	0.44	0.41
0.27	0.42	0.31	0.43	0.27	0.51	0.39	0.53	0.28	0.50
0.21	0.53	0.22	0.52	0.24	0.58	0.36	0.62	0.19	0.58
0.17	0.62	0.21	0.61	0.21	0.66	0.19	0.70	0.11	0.66
0.13	0.72	0.18	0.70	0.20	0.73	0.19	0.77	0.10	0.73
0.24	0.80	0.30	0.78	0.14	0.80	0.18	0.85	0.08	0.82
0.25	0.89	0.42	0.87	0.24	0.88	0.20	0.93	0.07	0.90
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
ΛΕΚΑΝΗ 11		ΛΕΚΑΝΗ 12		ΛΕΚΑΝΗ 13		ΛΕΚΑΝΗ 14		ΛΕΚΑΝΗ 15	
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
0.45	0.32	0.59	0.52	0.41	0.51	0.63	0.54	0.64	0.61
0.32	0.40	0.34	0.57	0.17	0.56	0.38	0.58	0.27	0.65
0.24	0.48	0.30	0.62	0.10	0.61	0.23	0.63	0.20	0.70
0.26	0.56	0.25	0.68	0.14	0.67	0.16	0.70	0.13	0.76
0.24	0.65	0.28	0.74	0.25	0.74	0.12	0.76	0.12	0.81
0.17	0.74	0.31	0.80	0.34	0.81	0.25	0.82	0.14	0.86
0.15	0.83	0.10	0.86	0.16	0.87	0.26	0.87	0.20	0.90
0.08	0.92	0.07	0.93	0.04	0.93	0.08	0.92	0.19	0.95
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
ΛΕΚΑΝΗ 16		ΛΕΚΑΝΗ 17		ΛΕΚΑΝΗ 18					
a/A	h/H	a/A	h/H	a/A	h/H				
1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00				
0.46	0.64	0.53	0.61	0.52	0.74				
0.31	0.68	0.46	0.66	0.39	0.77				
0.24	0.71	0.29	0.71	0.34	0.80				
0.23	0.76	0.20	0.76	0.33	0.83				
0.37	0.81	0.22	0.81	0.25	0.87				
0.30	0.86	0.24	0.85	0.21	0.90				
0.37	0.91	0.15	0.90	0.15	0.93				
0.34	0.96	0.10	0.94	0.11	0.97				
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00				

Πίνακας 13. Τα σχετικά εμβαδά και τα σχετικά υψόμετρα των υπολεκανών 1 – 18 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των υψομετρικών καμπύλων.

ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑ
1	25,4%
2	49,4%
3	39,6%
4	35,0%
5	45,8%
6	36,4%
7	32,9%
8	37,2%
9	41,7%
10	55,6%
11	47,7%
12	42,2%
13	45,1%
14	41,6%
15	45,0%
16	40,1%
17	44,1%
18	42,8%

Πίνακας 14. Υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 18. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 2 έως και 18 , και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».

Από τον πίνακα 11 παίρνουμε τα υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 17, στην περιοχή του ρήγματός Βαρβάρας - Στρατωνίου. Στο «στάδιο της νεότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 7 και 16, στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής 1, 3 , 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, και 17, και οι λεκάνες απορροής 2, 5 και 14 βρίσκονται «στο στάδιο του γήρατος». Και στον πίνακα 12 παίρνουμε τα υψομετρικά ολοκληρώματα υπολεκανών 1 – 18, στην περιοχή του ρήγματός Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου. Στο «στάδιο της ωριμότητας» βρίσκονται οι λεκάνες απορροής από 2 έως και 18 , και η λεκάνη απορροής 1 βρίσκεται «στο στάδιο του γήρατος».

9.2.2 Ασυμμετρία λεκάνης απορροής

Ο παράγοντας ασυμμετρίας (*Asymmetry Factor AF*) δείχνει την τεκτονική περιστροφή ή κλίση (*tilting*) μιας λεκάνης απορροής ή μιας άλλης ορισμένης (μεγαλύτερης ή μικρότερης) περιοχής (Hare & Gardner, 1985 και Cox, 1994).

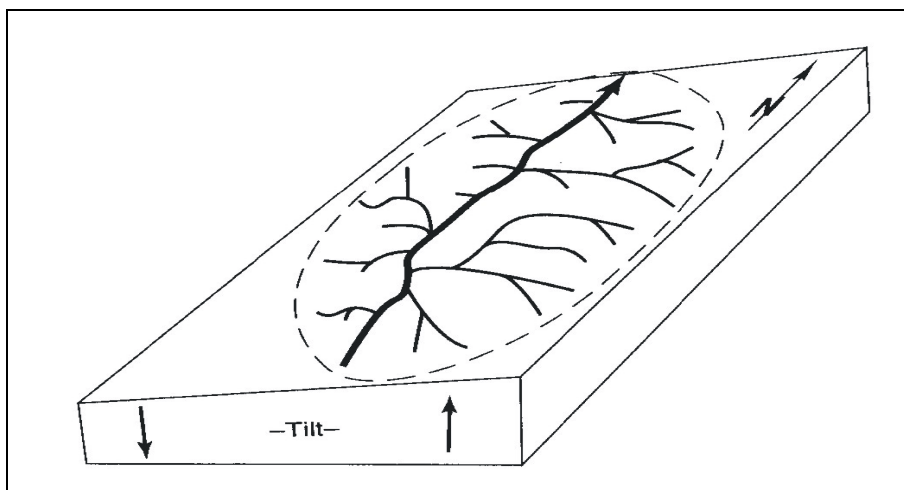
$$AF = 100 (A_r / A_t)$$

Όπου A_r : το εμβαδό της υπολεκάνης δεξιά (κοιτάζοντας προς τα κατάντη) του κυρίου ποταμού, A_t : το ολικό εμβαδό της λεκάνης (Σχήμα 88).

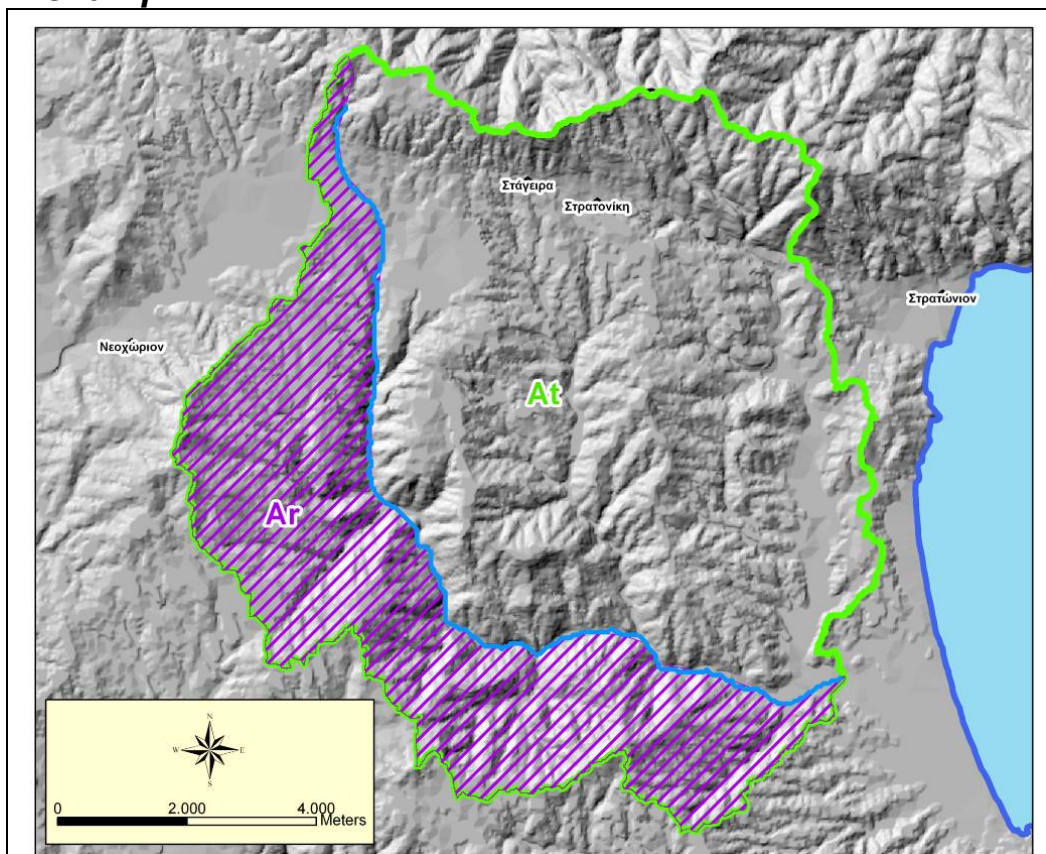
Όταν το ποτάμιο σύστημα δημιουργείται και παραμένει σε σταθερή θέση τότε ο AF είναι περίπου 50. Περιστροφή (*Tilt*) προς τα αριστερά του κύριου ποταμού δίνει τιμές μεγαλύτερες από 50.

Στο παράδειγμα του σχήματος φαίνεται ότι ο κύριος ποταμός ρέει προς τα βόρεια και η τεκτονική περιστροφή είναι προς τα δυτικά, άρα οι παραπόταμοι στη δεξιά πλευρά του κύριου ποταμού είναι μεγαλύτεροι σε μήκος σε σχέση με αυτούς στην αριστερή πλευρά. Άρα ο AF θα είναι μεγαλύτερος από 50.

Η εφαρμογή της μεθόδου προϋποθέτει ότι ούτε οι λιθολογικοί παράγοντες (όπως αλλαγή πετρώματος, κλίσεις των στρωμάτων κ.ά.) ούτε το τοπικό κλίμα μεταβάλλονται, παρά μόνο η τεκτονική περιστροφή (*tilting*) επηρεάζει την ασυμμετρία της λεκάνης.



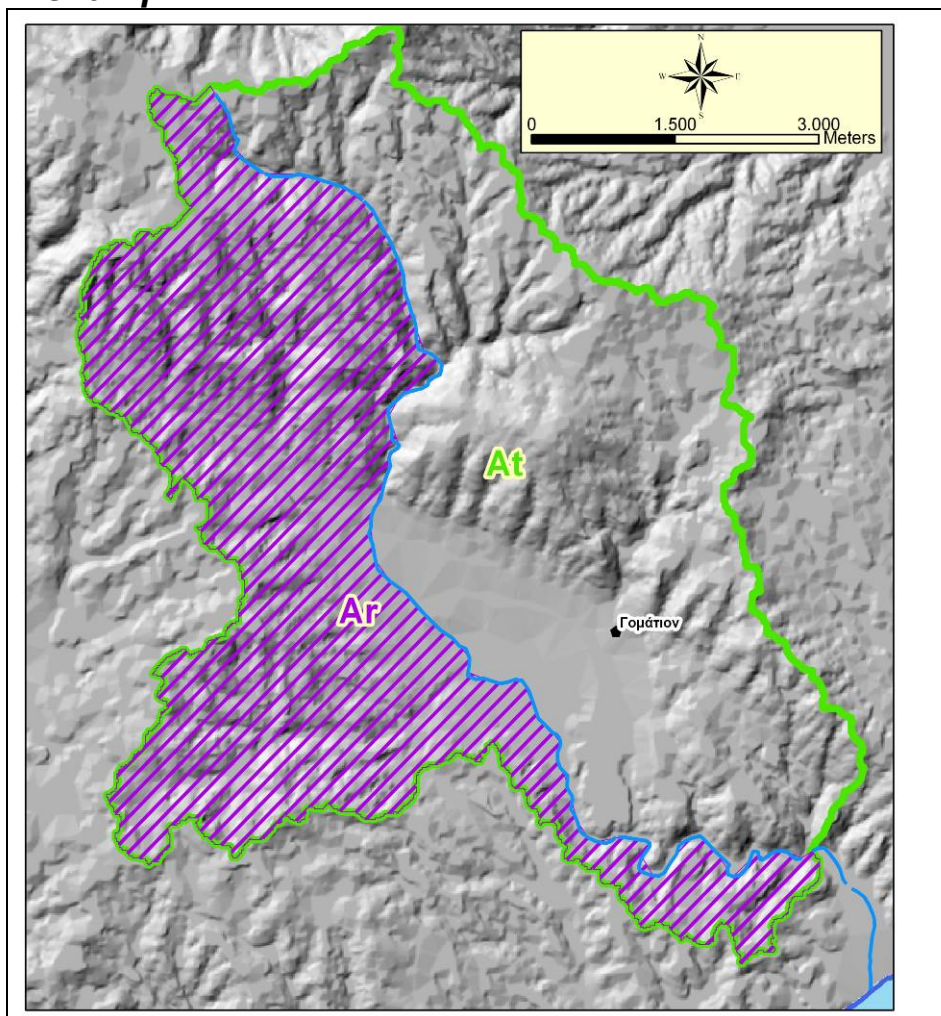
Σχήμα 88. Ασυμμετρία λεκάνης και κλίση τεκτονικού τεμάχου (από Keller & Pinter 1996).

Λεκάνη 1**Σχήμα 89.** Ασυμμετρία της λεκάνης απορροής 1.

$$AF=100*(Ar/At)$$

Ar	30302130,7
At	89616374,94
AF=	33,81

Πίνακας 15. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Δείχνει ότι λεκάνη είναι ασύμμετρη.

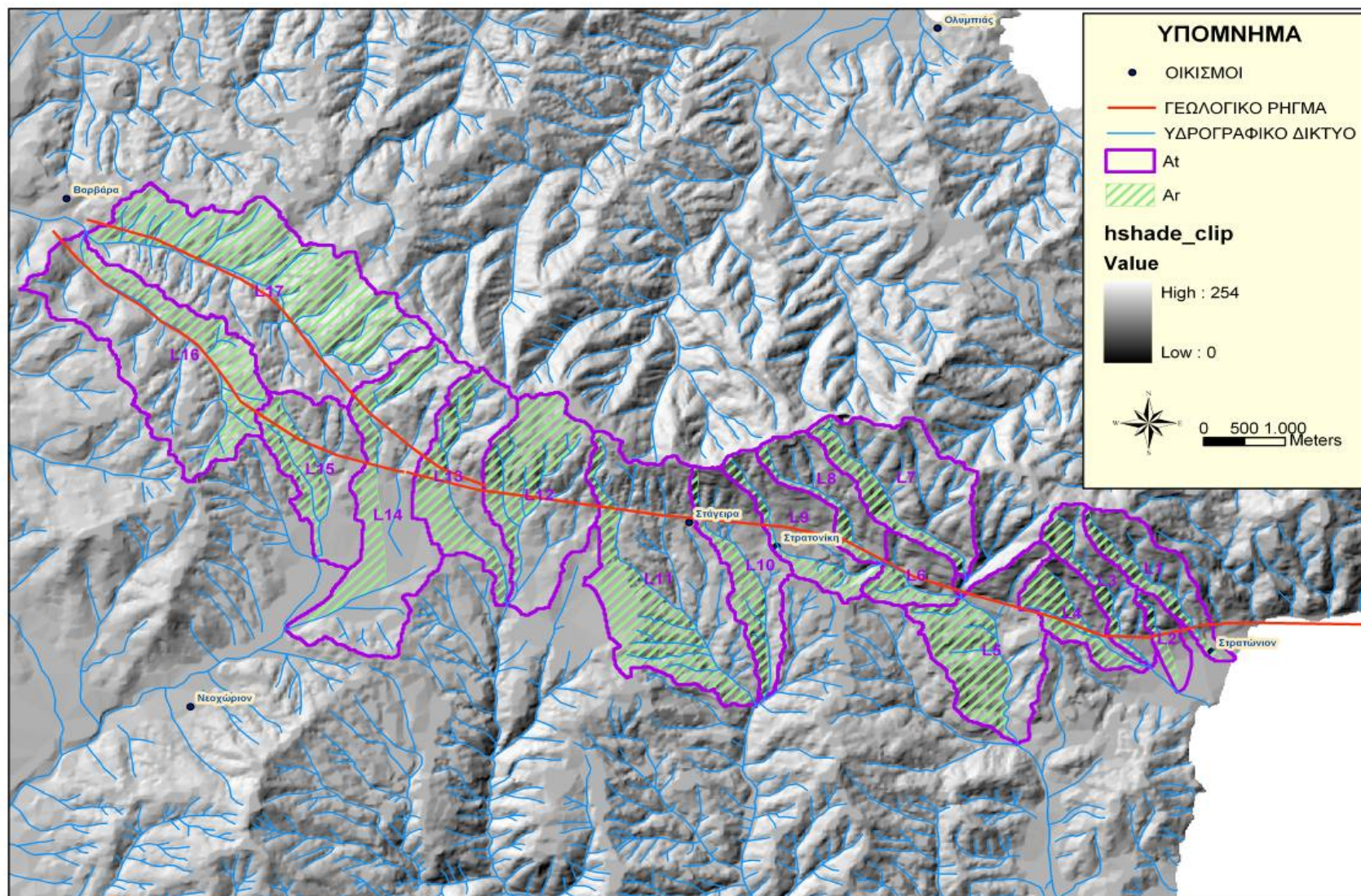
Λεκάνη 2

Σχήμα 90. Ασυμμετρία λεκάνης απορροής 2.

$$AF=100*(Ar/At)$$

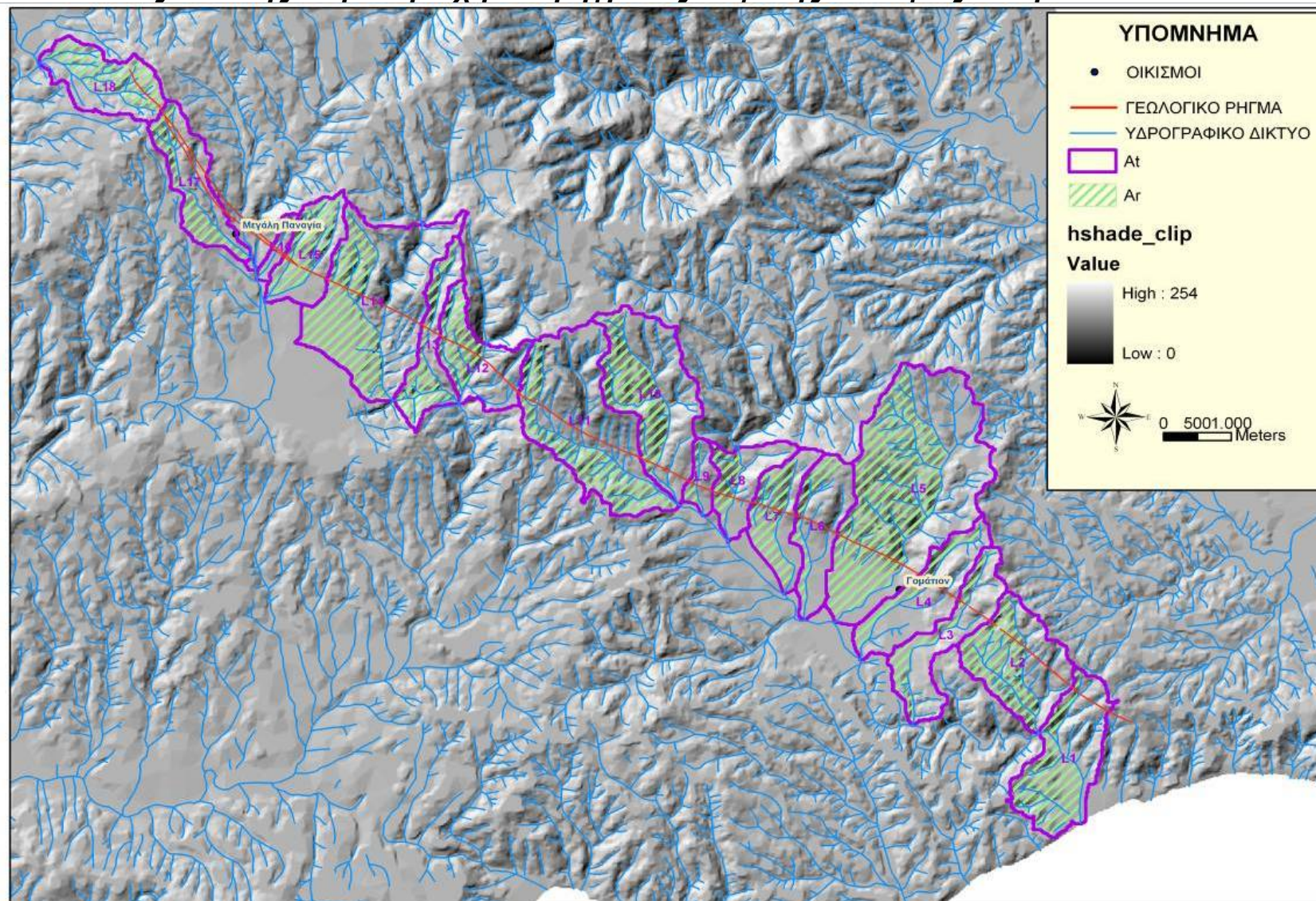
Ar	21290292,31
At	45066600,24
AF=	47,24

Πίνακας 16. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Δείχνει ότι λεκάνη είναι συμμετρική.

Υπολεκάνες Μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Βαρβάρας - Στρατωνίου.**Σχήμα 91.** Ασυμμετρία λεκανών απορροής.

AF=100*(Ar/At)			
1		10	
Ar	403708,8	Ar	670080,7
At	1203525,0	At	1746449,9
AF=	33,5	AF=	38,4
2		11	
Ar	147540,0	Ar	1923811,6
At	418960,1	At	4614975,3
AF=	35,2	AF=	41,7
3		12	
Ar	392499,7	Ar	1469194,9
At	1040175,0	At	2842425,0
AF=	37,7	AF=	51,7
4		13	
Ar	639884,9	Ar	1146153,7
At	1008000,0	At	2161800,2
AF=	63,5	AF=	53,0
5		14	
Ar	1278914,6	Ar	1249121,9
At	2497950,2	At	3885074,8
AF=	51,2	AF=	32,2
6		15	
Ar	319582,8	Ar	747513,7
At	785475,0	At	1951650,0
AF=	40,7	AF=	38,3
7		16	
Ar	588159,2	Ar	1410317,6
At	2327850,1	At	4162275,1
AF=	25,3	AF=	33,9
8		17	
Ar	279274,3	Ar	3420265,8
At	1109024,8	At	6040125,1
AF=	25,2	AF=	56,6
9			
Ar	505637,1		
At	1469474,9		
AF=	34,4		

Πίνακας 17. Παράγοντας ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-17. Οι υπολεκάνες 5, 12, 13 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 1 - 3, 6 - 16 παρατηρείτε μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείτε στην υπολεκάνη 4.

Υπολεκάνες Μελέτης στην περιοχή του ρήγματος Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου.**Σχήμα 92.** Ασυμμετρία λεκανών απορροής.

AF=100*(Ar/At)			
1		10	
Ar	1278831,8	Ar	1284144,7
At	2171025,1	At	2752650,1
AF=	58,9	AF=	46,7
2		11	
Ar	1192418,6	Ar	1436047,4
At	2067075,1	At	3547800,3
AF=	57,7	AF=	40,5
3		12	
Ar	573702,4	Ar	693852,8
At	1584450,1	At	1388025,1
AF=	36,2	AF=	50,0
4		13	
Ar	503307,1	Ar	760224,6
At	1687049,9	At	1166625,0
AF=	29,8	AF=	65,2
5		14	
Ar	3578368,9	Ar	1861744,7
At	6013575,1	At	4003199,8
AF=	59,5	AF=	46,5
6		15	
Ar	464442,1	Ar	799917,8
At	1418175,2	At	1221075,1
AF=	32,7	AF=	65,5
7		16	
Ar	759686,9	Ar	80079,4
At	1227451,8	At	231913,3
AF=	61,9	AF=	34,5
8		17	
Ar	372796,2	Ar	668787,5
At	979650,0	At	1368674,8
AF=	38,1	AF=	48,9
9		18	
Ar	146359,2	Ar	972426,9
At	377911,7	At	1445400,0
AF=	38,7	AF=	67,3

Πίνακας 18. Παράγοντας ασυμμετρίας AF. Οι υπολεκάνες 12 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 2 – 4, 6, 8 – 11, και 13 - 16 παρατηρείται μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείται στις υπολεκάνες 1, 5, 7 και 18.

Ο παράγοντας ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-17, στην περιοχή του ρήγματός Βαρβάρας – Στρατωνίου (Πίνακας 15). Οι υπολεκάνες 5, 12, 13 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 1 - 3, 6 – 16 παρατηρείται μια

περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείτε στην υπολεκάνη 4.

Ο παράγοντας ασυμμετρίας AF για τις υπολεκάνες 1-18, στην περιοχή του ρήγματός Μεγάλης Παναγίας – Γοματίου (Πίνακας 16). Οι υπολεκάνες 12 και 17 είναι συμμετρικές ενώ στις υπολεκάνες 2 – 4, 6, 8 – 11. και 13 - 16 παρατηρείτε μια περιστροφή προς τα δεξιά του κύριου ποταμού και μια μικρή περιστροφή προς τα αριστερά παρατηρείτε στις υπολεκάνες 1, 5, 7 και 18.

9.2.3 Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών

Η δαντέλωση (Bull, 1977, 1978) εκφράζεται με τη σχέση:

$$S=L/I$$

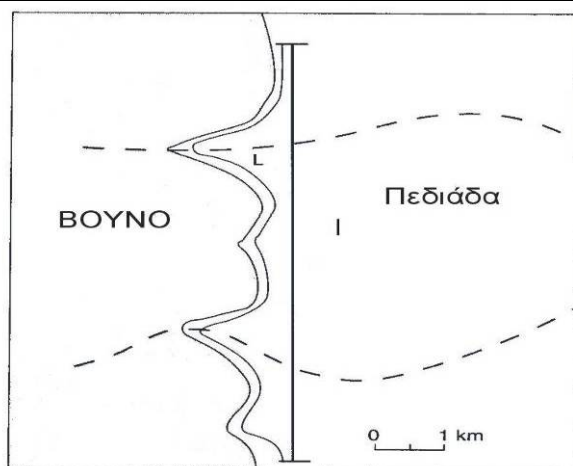
όπου, L : είναι το μήκος ακολουθώντας τους πρόποδες του βουνού συγκεκριμένες ισοϋψείς, και I : είναι το μήκος της ευθείας γραμμής στους πρόποδες (Σχήμα 93).

Πρόκειται για το δείκτη που αντανακλά την ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις διάβρωσης και τις τεκτονικές δυνάμεις.

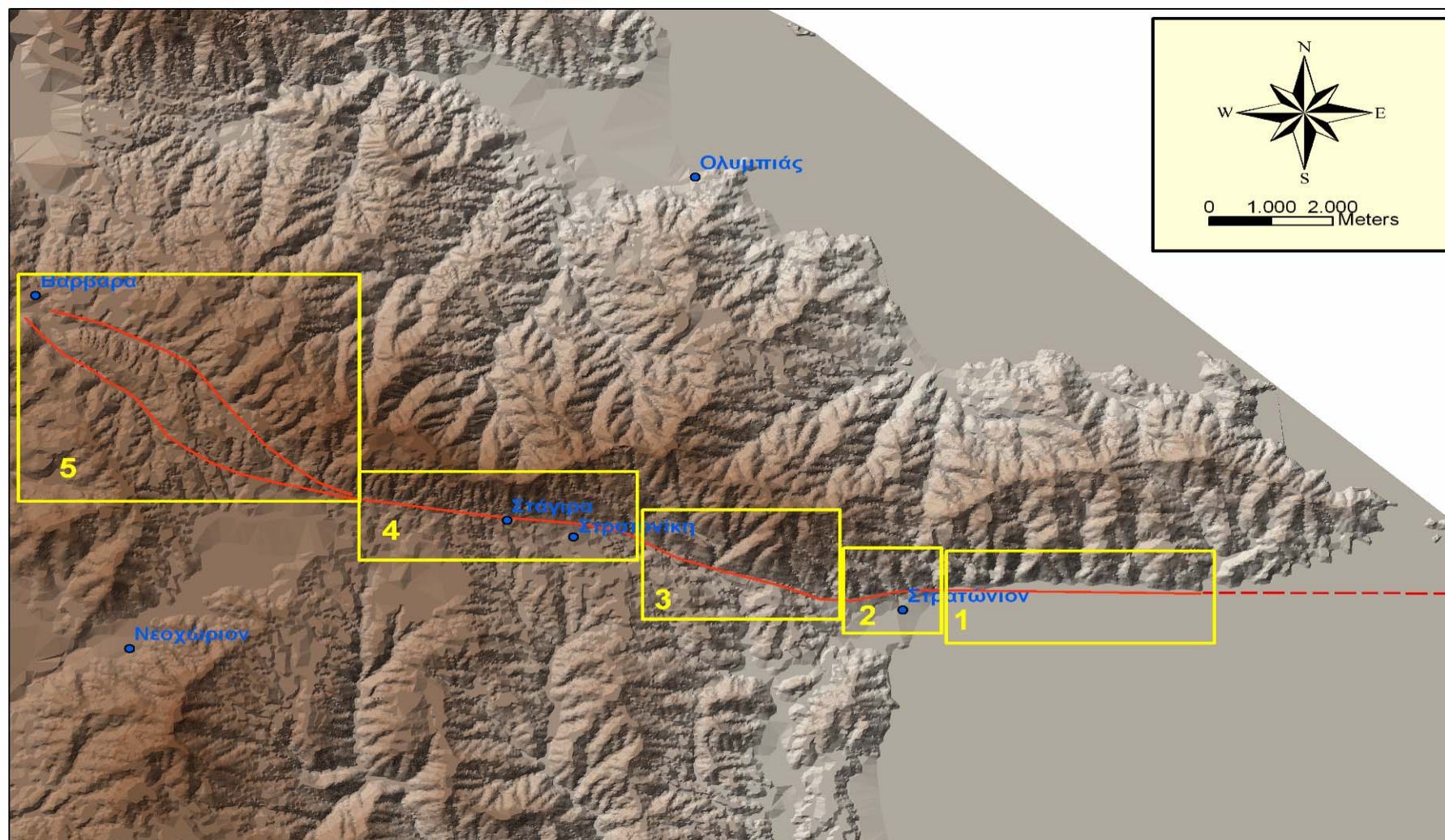
Πρόποδες βουνών που δημιουργήθηκαν από ρήγματα με ενεργό δράση και ανύψωση είναι σχετικά ευθείς και έχουν χαμηλές τιμές του S . Αν η ανύψωση μειώνεται (μικρός ρυθμός ανύψωσης) ή σταματά τότε οι διεργασίες διάβρωσης δημιουργούν μια περισσότερο ανώμαλη όψη στους πρόποδες και ο S αυξάνεται.

Στην πράξη, οι τιμές του S υπολογίζονται από τοπογραφικούς χάρτες ή αεροφωτογραφίες. Οι τιμές του S εξαρτώνται από την κλίμακα παρατήρησης. Μικρής κλίμακας τοπογραφικοί χάρτες (1:250.000) δεν δίνουν σαφή αποτελέσματα.

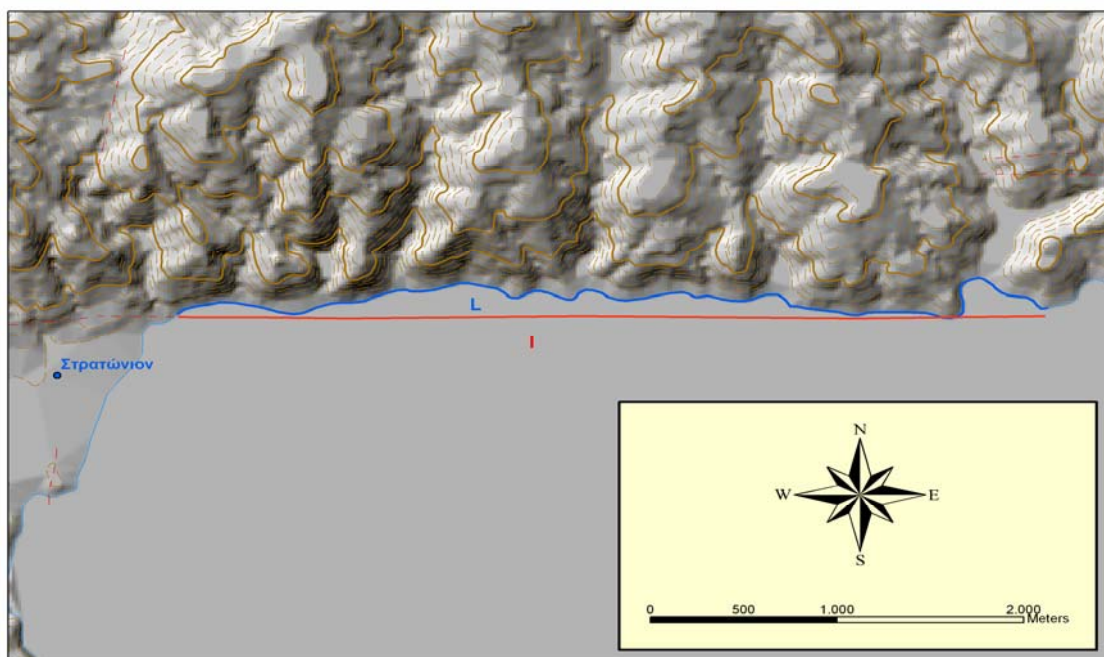
Διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα ενεργά πρηνή βουνών έχουν μικρές τιμές του S που κυμαίνονται ανάμεσα στο 1.0 και 1.6, εκείνα με μικρότερη ενεργό δράση τιμές από 1.4-3.0 και τα μη ενεργά τιμές από 1.8 μέχρι και μεγαλύτερες από 5.0. Η δαντέλωση αποτελεί ένα πολύ καλό κριτήριο για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων.



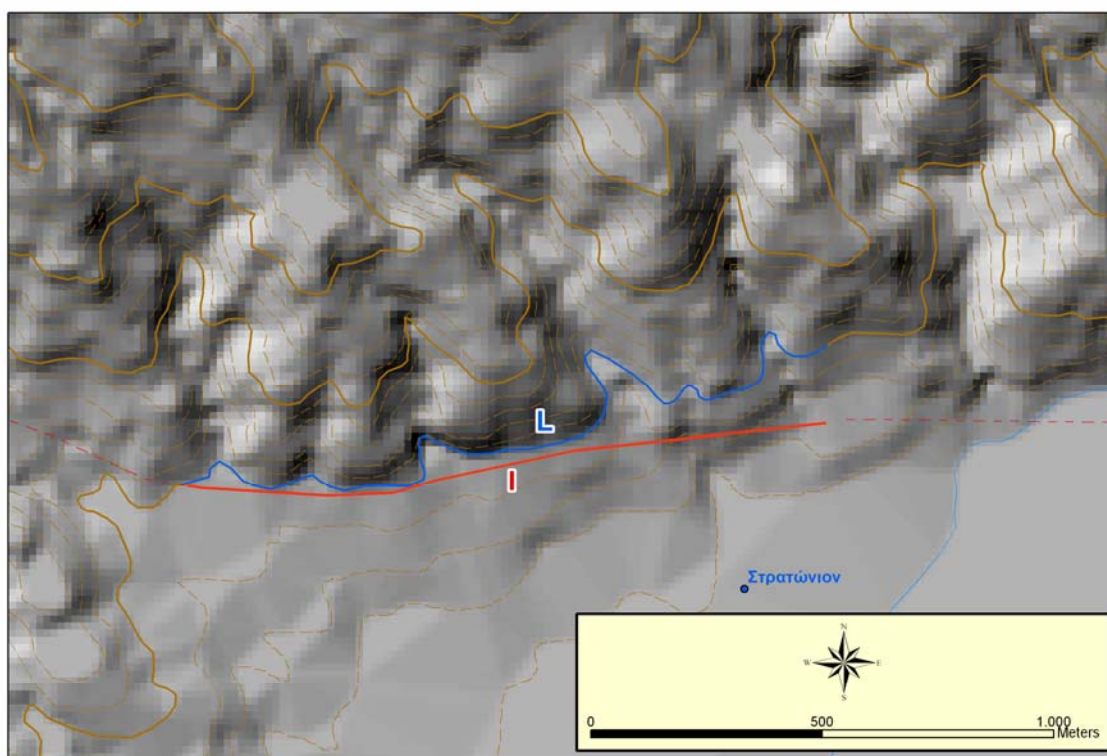
Σχήμα 93. Δαντέλωση σε πρόποδες βουνών (από Keller & Pinter 1996 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).

Ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας

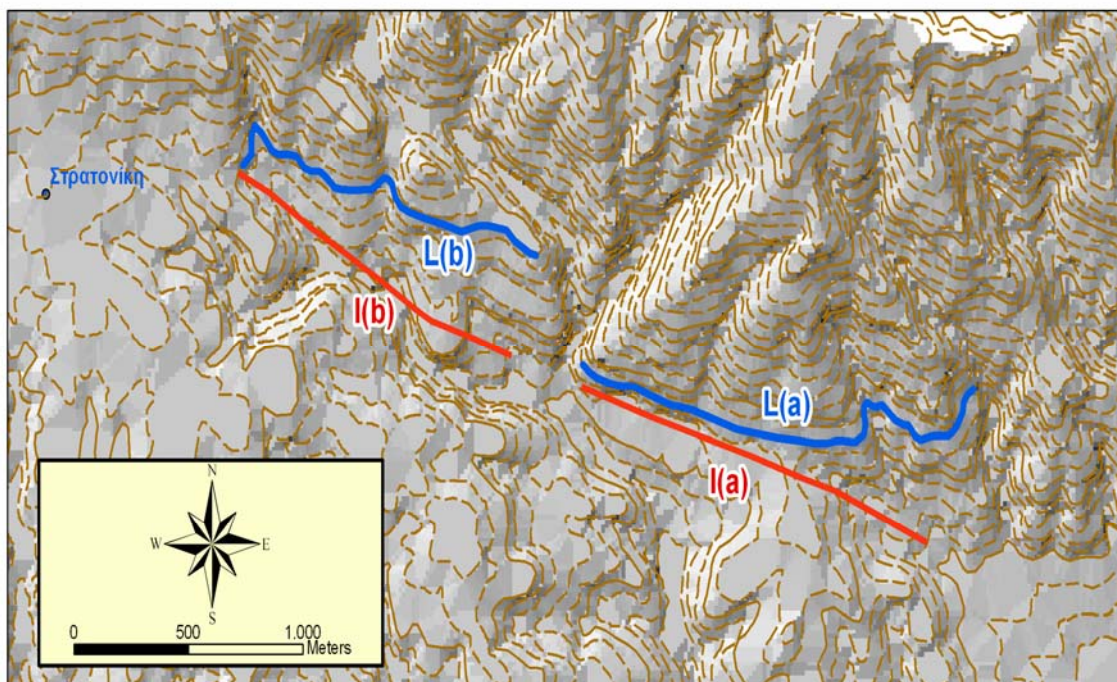
Σχήμα 94. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας και οι αντίστοιχες περιοχές μελέτης.



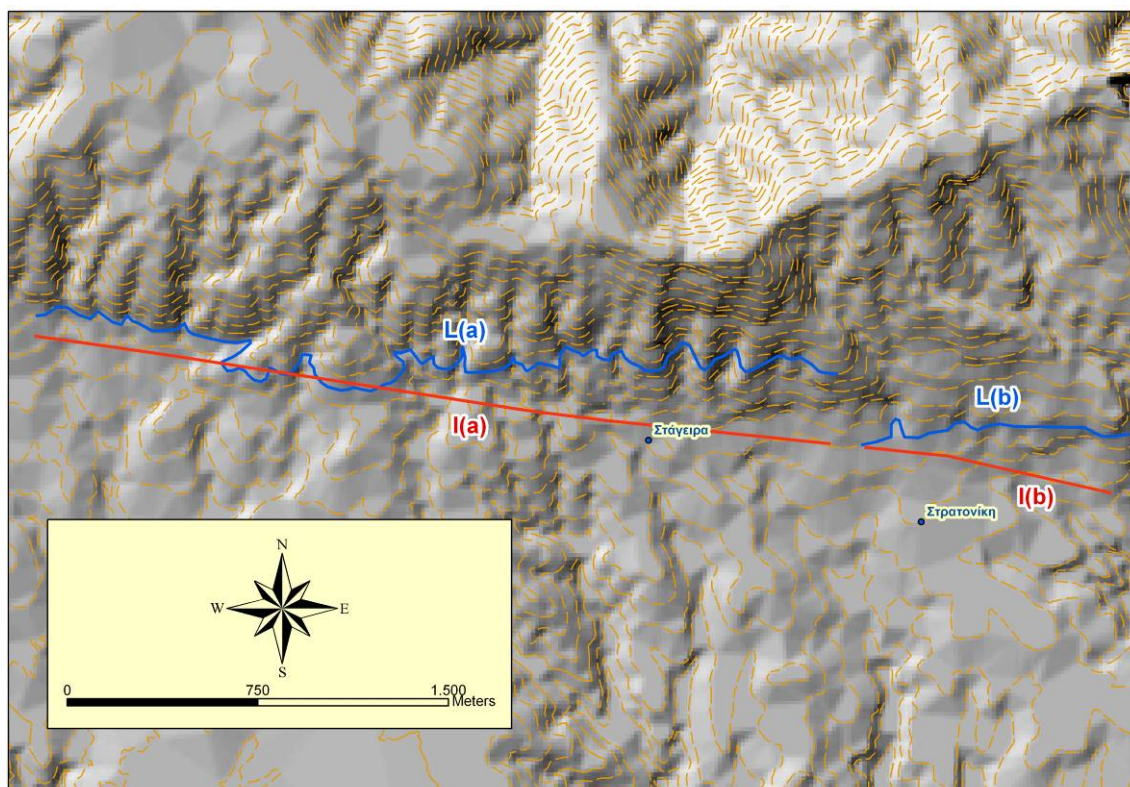
Σχήμα 95. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 1. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,11.



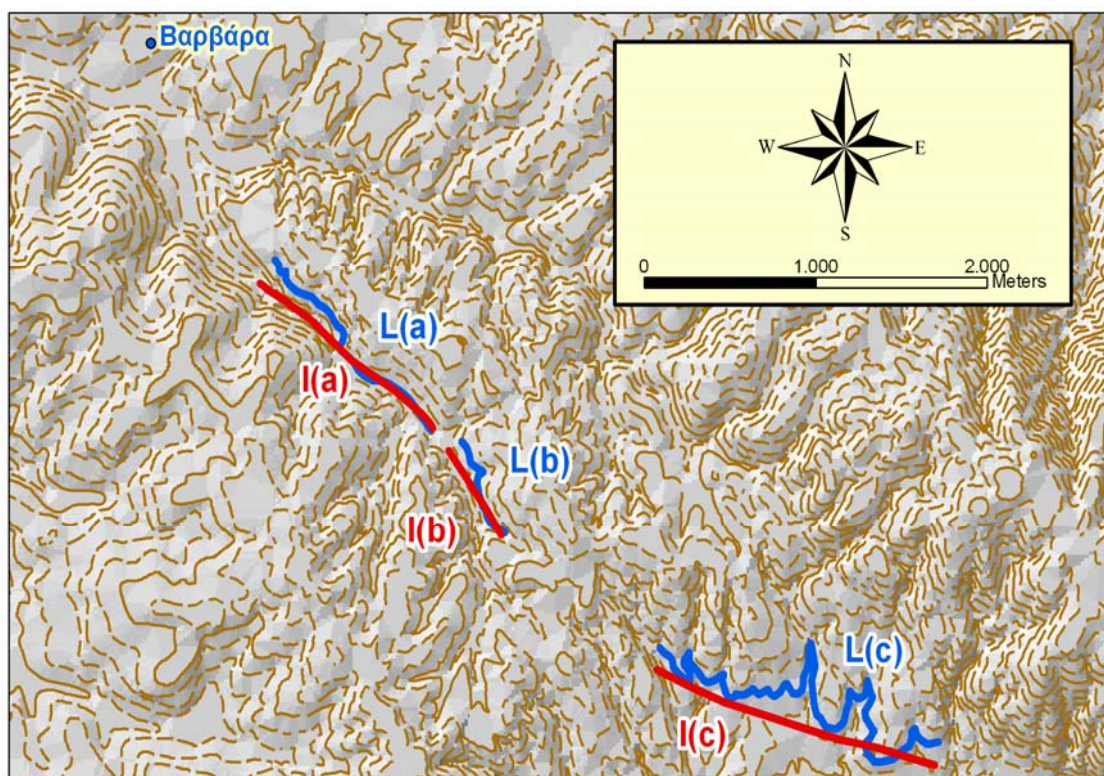
Σχήμα 96. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 2. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,43.



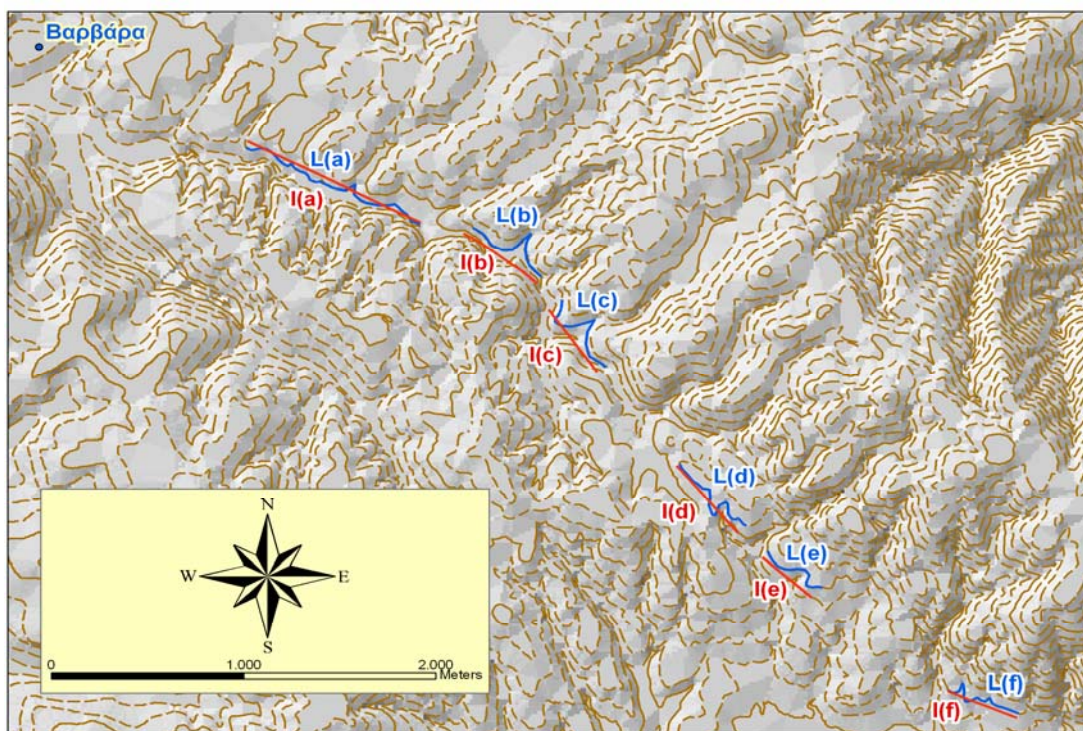
Σχήμα 97. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 3. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,25 και 1,17.



Σχήμα 98. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 4. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,45 και 1,22.



Σχήμα 99. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 5α. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,11 1,14 και 2,13.



Σχήμα 100. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 5β. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,13, 1,38, 1,54, 1,37, 1,26 και 1,36.

1	<i>m</i>
<i>L</i>	5142,60
<i>I</i>	4652,69
<i>S</i>	1,11

Πίνακας 19. Δείκτης *S* στην περιοχή 1.

2	<i>m</i>
<i>L</i>	1993,66
<i>I</i>	1396,17
<i>S</i>	1,43

Πίνακας 20. Δείκτης *S* στην περιοχή 2.

3	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	1988,78
<i>I(a)</i>	1596,37
<i>S</i>	1,25
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	1567,86
<i>I(b)</i>	1339,84
<i>S</i>	1,17

Πίνακας 21. Δείκτης *S* στην περιοχή 3.

4	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	4599,84
<i>I(a)</i>	3167,12
<i>S</i>	1,45
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	1208,14
<i>I(b)</i>	994,62
<i>S</i>	1,22

Πίνακας 22. Δείκτης *S* στην περιοχή 4.

5α	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	1398,91
<i>I(a)</i>	1266,77
<i>S</i>	1,10
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	612,46
<i>I(b)</i>	539,61
<i>S</i>	1,14

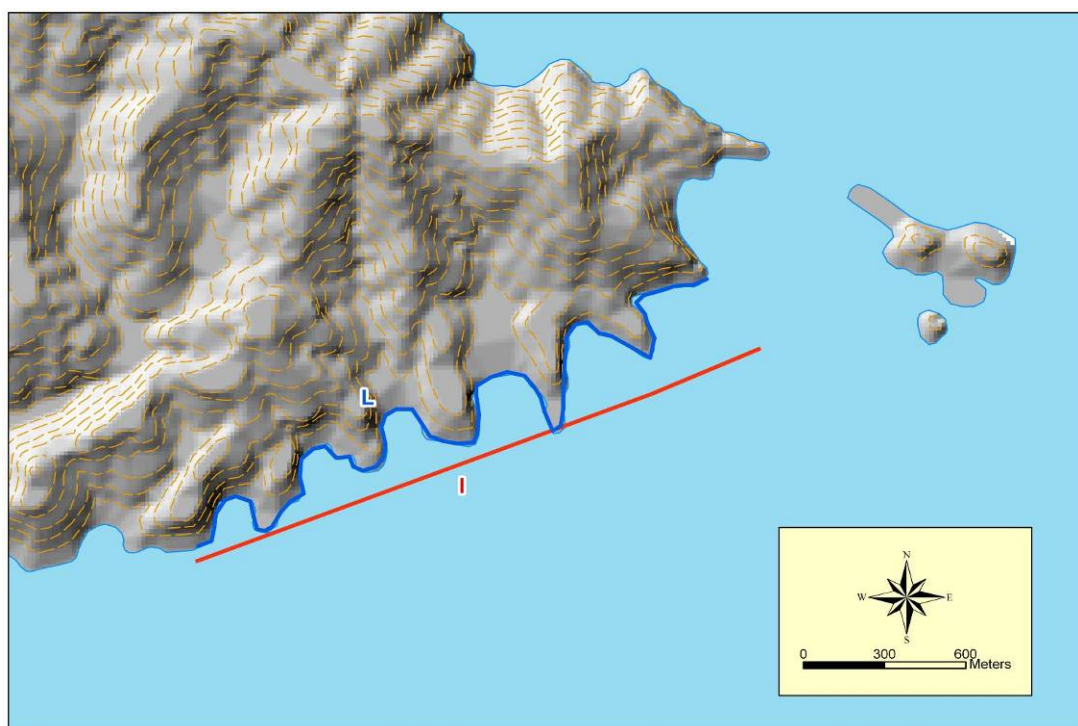
	<i>m</i>
<i>L(c)</i>	3621,57
<i>I(c)</i>	1700,04
<i>S</i>	2,13

Πίνακας 23. Δείκτης *S* στην περιοχή 5α.

5β	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	1151,36
<i>I(a)</i>	1017,23
<i>S</i>	1,13
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	668,12
<i>I(b)</i>	483,23
<i>S</i>	1,38
	<i>m</i>
<i>L(c)</i>	672,98
<i>I(c)</i>	436,70
<i>S</i>	1,54
	<i>m</i>
<i>L(d)</i>	691,29
<i>I(d)</i>	503,72
<i>S</i>	1,37
	<i>m</i>
<i>L(e)</i>	432,44
<i>I(e)</i>	342,92
<i>S</i>	1,26
	<i>m</i>
<i>L(f)</i>	532,48
<i>I(f)</i>	393,08
<i>S</i>	1,36

Πίνακας 24. Δείκτης *S* στην περιοχή 5β.

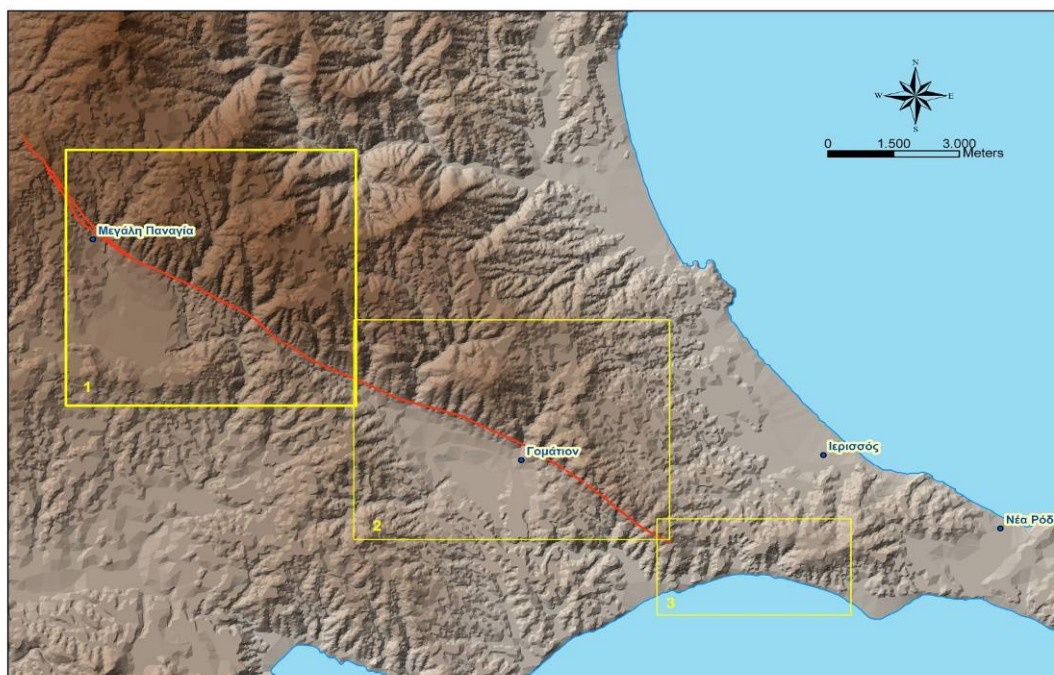
Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών μη τεκτονικών περιοχών.



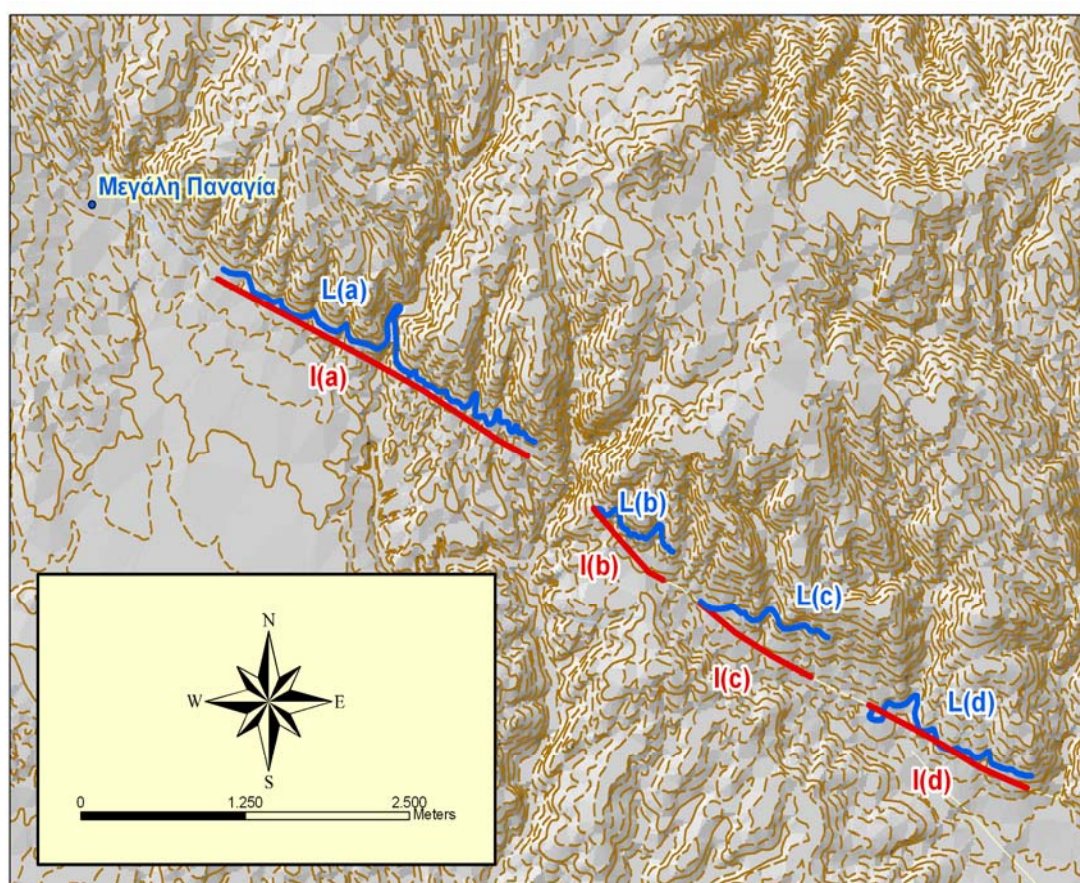
Σχήμα 101. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών μη τεκτονικών περιοχών.

	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	3685,40
<i>I(a)</i>	2242,60
<i>S</i>	1,64

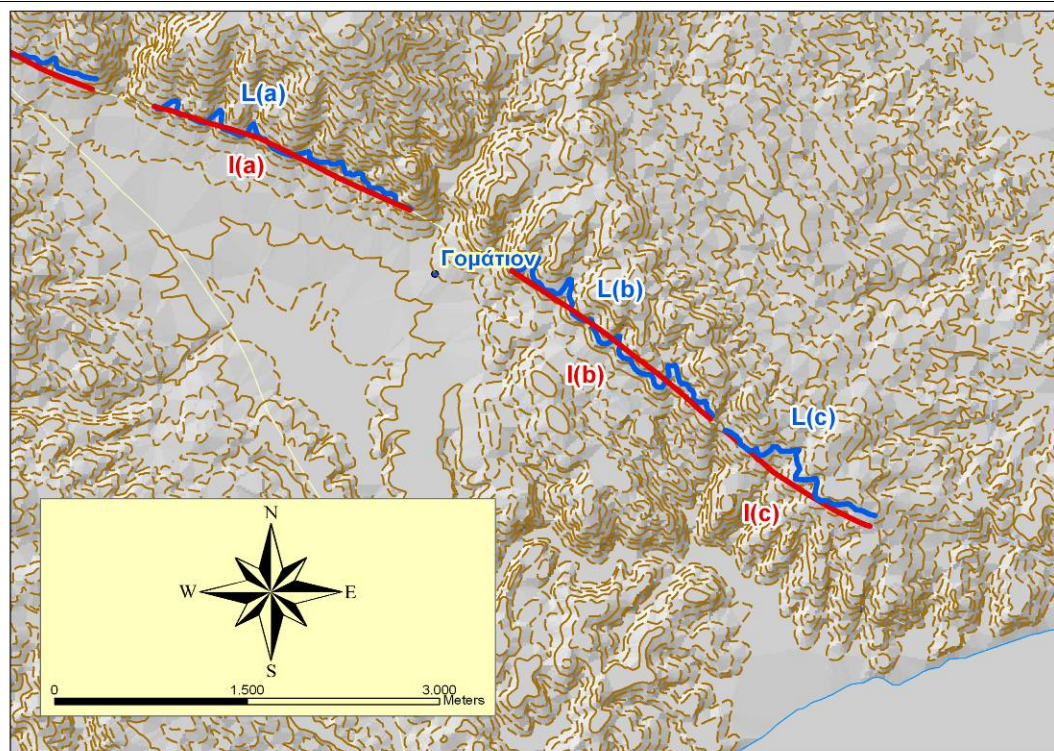
Πίνακας 25. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών μη τεκτονικών περιοχών.

Ρήγμα Γοματίου

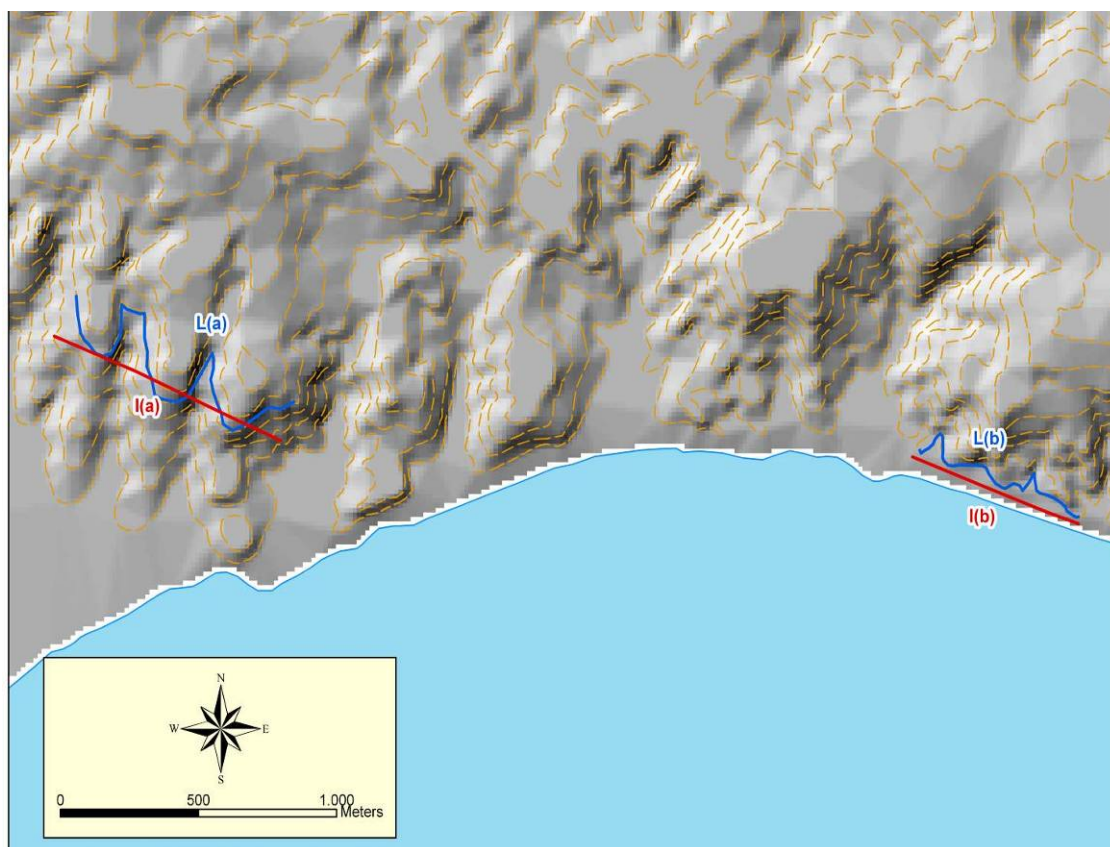
Σχήμα 102. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για το ρήγμα Γοματίου – Μ. Παναγίας και οι αντίστοιχες περιοχές μελέτης.



Σχήμα 103. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 1. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,53, 1,31, 1,17 και 1,42.



Σχήμα 104. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 2. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,31, 1,59 και 1,32.



Σχήμα 105. Δαντέλωση στους πρόποδες βουνών για την περιοχή μελέτης 3. Ο δείκτης S έχει τιμή 1,35 και 1,85.

1	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	4056,73
<i>I(a)</i>	2659,49
<i>S</i>	1,53
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	952,02
<i>I(b)</i>	728,72
<i>S</i>	1,31
	<i>m</i>
<i>L(c)</i>	1165,40
<i>I(c)</i>	993,57
<i>S</i>	1,17
	<i>m</i>
<i>L(d)</i>	1899,17
<i>I(d)</i>	1335,97
<i>S</i>	1,42

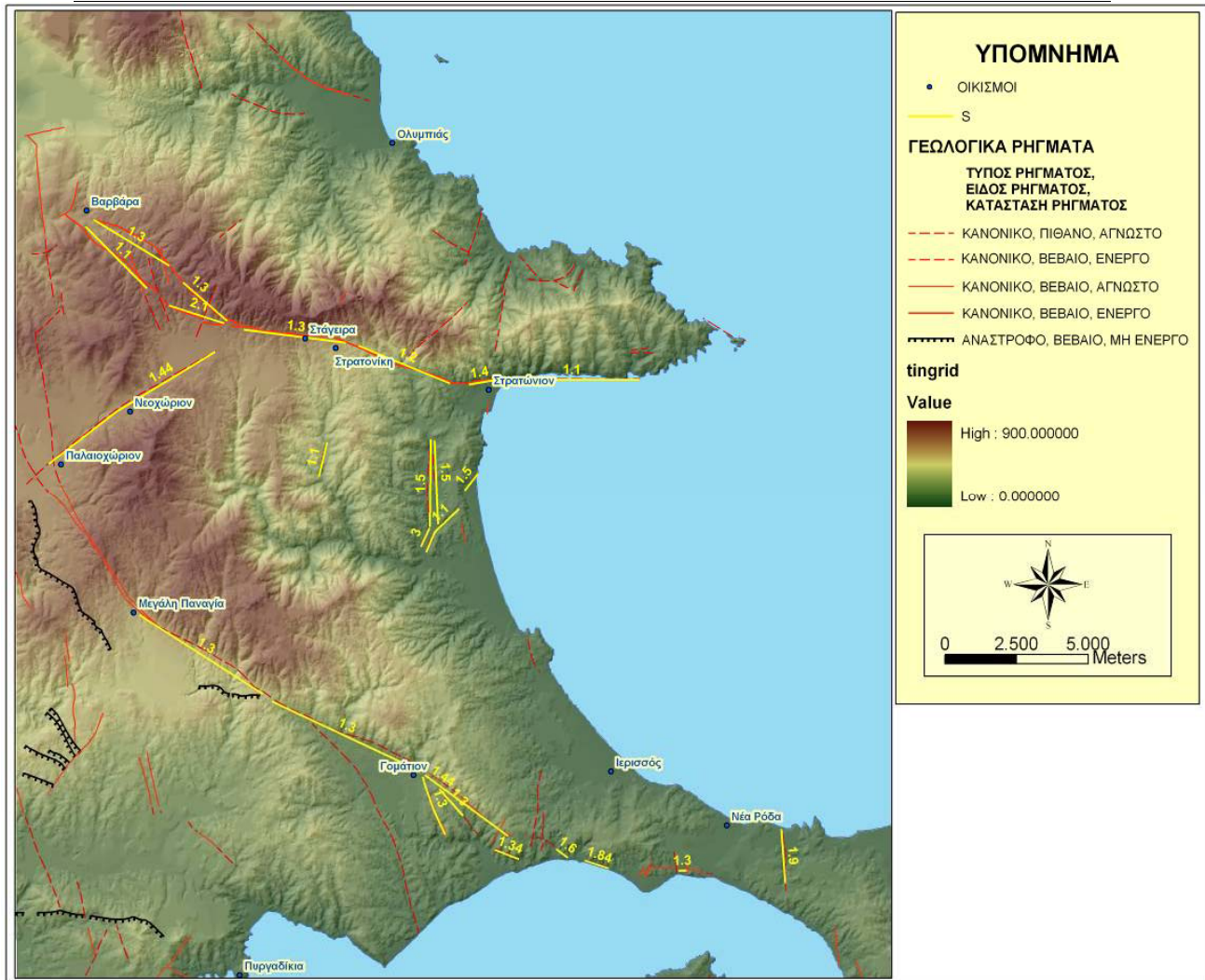
Πίνακας 26. Δείκτης *S* στην περιοχή 1.

2	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	2834,13
<i>I(a)</i>	2168,50
<i>S</i>	1,31
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	3119,85
<i>I(b)</i>	1962,80
<i>S</i>	1,59
	<i>m</i>
<i>L(c)</i>	1820,33
<i>I(c)</i>	1380,82
<i>S</i>	1,32

Πίνακας 27. Δείκτης *S* στην περιοχή 2.

3	<i>m</i>
<i>L(a)</i>	863,20
<i>I(a)</i>	639,60
<i>S</i>	1,35
	<i>m</i>
<i>L(b)</i>	1640,80
<i>I(b)</i>	888,90
<i>S</i>	1,85

Πίνακας 28. Δείκτης *S* στην περιοχή 3.



Σχήμα 106. Δείκτης S (δαντέλωση στους πρόποδες βουνών) για την περιοχή μελέτης.

Η μέτρηση της δαντέλωσης στην υπό μελέτη περιοχή δεν ήταν εφικτή σε όλα τα ρήγματα, λόγω της θέσης τους (μακριά από πρόποδες βουνών) και αφετέρου του μεγέθους τους (για τη πρωτογενή κλίμακα χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν – 1:50.000). Τα αποτελέσματα του δείκτη της δαντέλωσης τοποθετήθηκαν στο χάρτη του σχήματος (Σχήμα 106).

9.2.4 Μήκος ρέματος (κλάδος υδρογραφικού δικτύου – δείκτης κλίσης)

Η σχέση (Hack, 1973 (από Keller & Pinter 2002)):

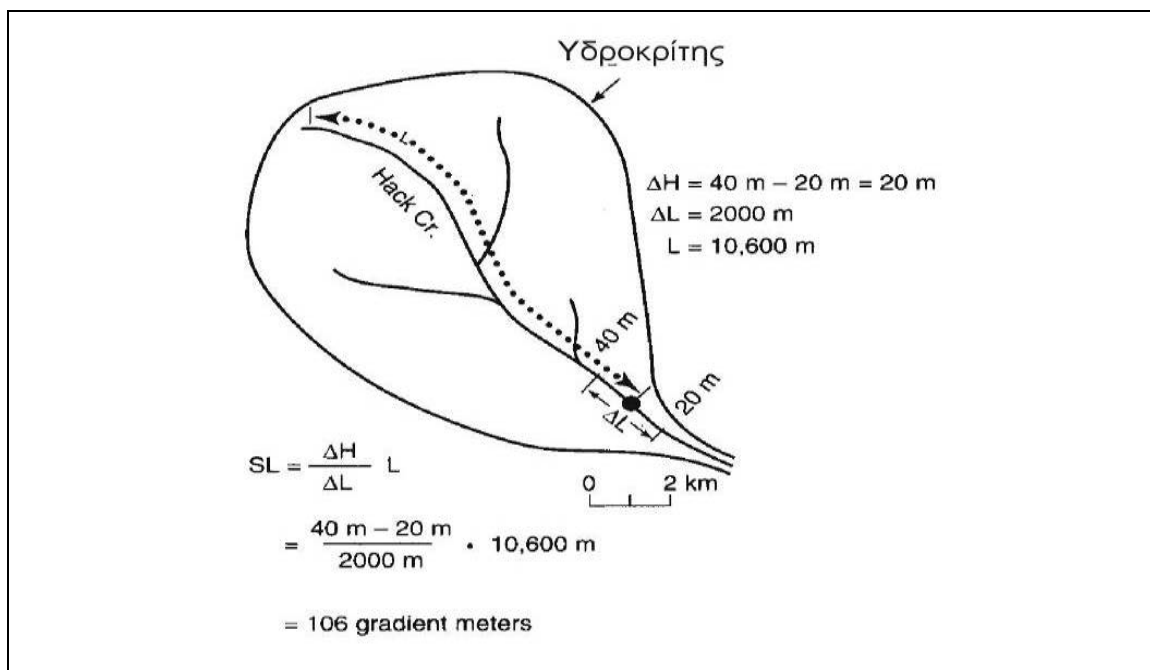
$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \cdot L$$

όπου $\Delta H/\Delta L$: είναι η κλίση του ρέματος, (ΔH είναι η υψομετρική διαφορά και ΔL είναι το αντίστοιχο μήκος του), και το L : είναι το συνολικό μήκος του ποταμού από το σημείο που μας ενδιαφέρει, προς τα ανάντι, εκφράζει το λόγο του μήκους ενός υδρογραφικού κλάδου ως προς το μήκος του (Σχήμα 107).

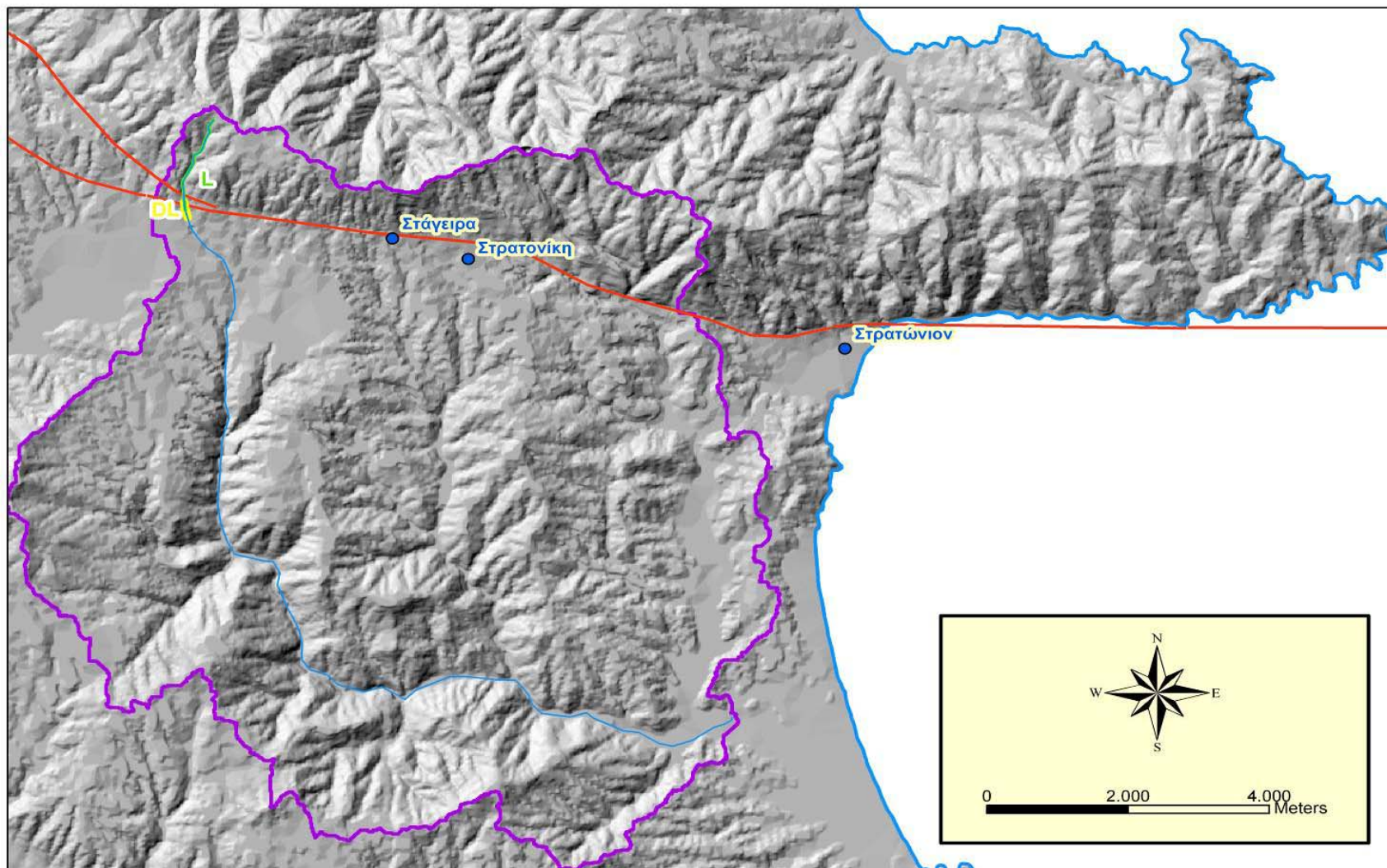
Η κλίση της επιφάνειας του νερού γενικά συσχετίζεται με την κλίση της κοίτης ενός ποταμού και υπάρχει και συσχετισμός της εκφόρτωσης με το μήκος του ποταμού. Άρα, εφόσον η ολική δύναμη διάβρωσης του ρέματος είναι ανάλογη της κλίσης της επιφάνειας του νερού και της εκφόρτωσης τότε και ο SL θα συσχετίζεται με τη δύναμη του ρέματος να διαβρώνει το υπόβαθρο και να μεταφέρει ιζήματα.

Έτσι ο SL είναι ευαίσθητος στις αλλαγές της κλίσης της κοίτης και αυτό επιτρέπει την εκτίμηση για πιθανή τεκτονική δράση (ανυψώσεις-καταβυθίσεις) π.χ. ύπαρξη νέου ρήγματος που επηρεάζει τοπικά την κλίση της κοίτης.

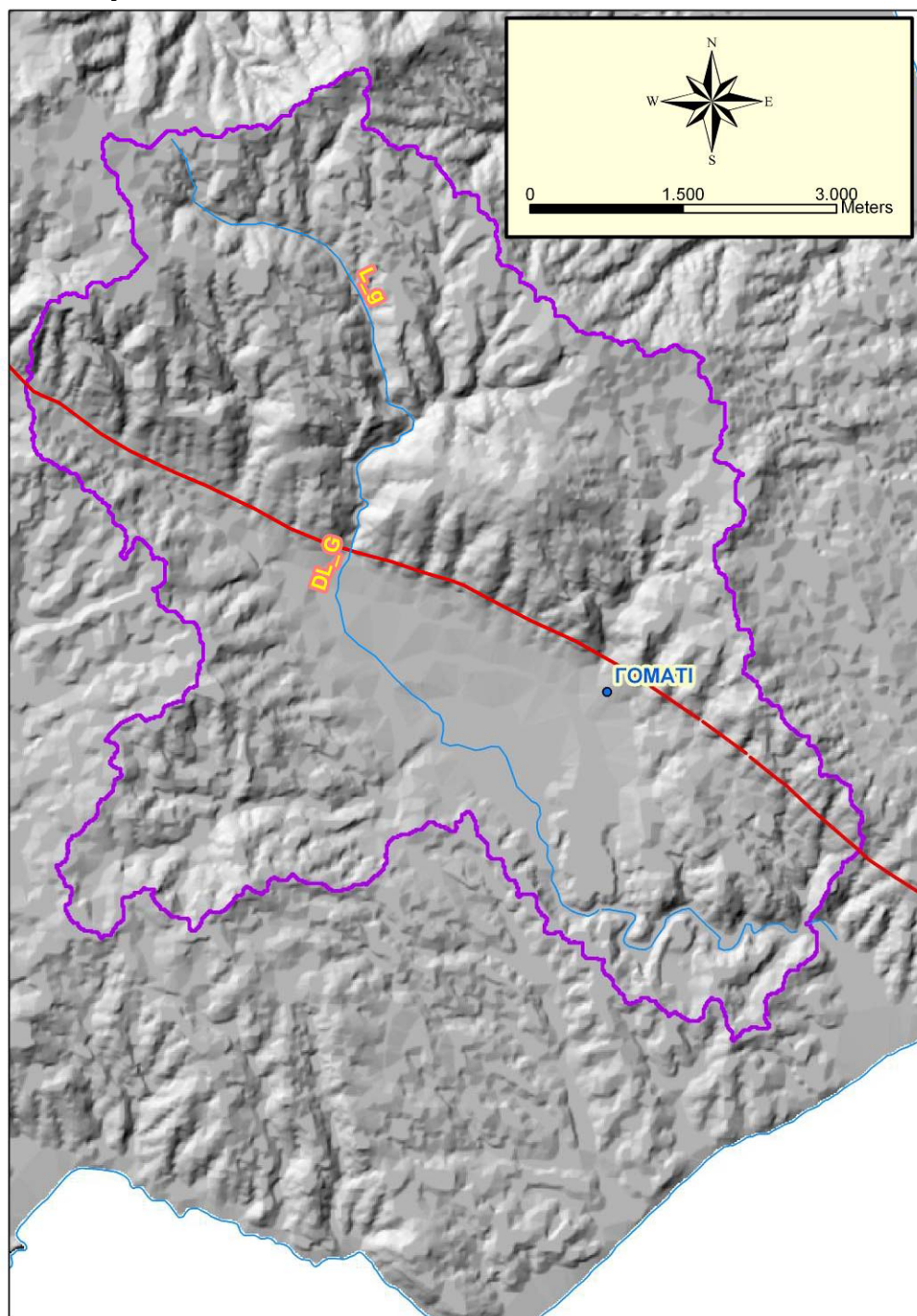
Ο SL χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα ανιχνεύοντας ανώμαλα υψηλές ή και χαμηλές τιμές (π.χ. κατά μήκος γραμμικής κοιλάδας, λόγω ύπαρξης οριζόντιας μετατόπισης ρήγματος) σ' ένα συγκεκριμένο τύπο πετρώματος.



Σχήμα 107. Παράδειγμα κλίσης (SL) υδρογραφικού κλάδου (από Keller & Pinter 2002 τροποποιημένο από Παυλίδης 2003).

Λεκάνη 1

Σχήμα 108. Δείκτης κλίσης (SL).

Λεκάνη 2**Σχήμα 109.** Δείκτης κλίσης (SL).

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \cdot L$$

Λεκάνη 1

$$\Delta H = 600\text{m} - 580\text{m} = 20\text{m}$$

$$\Delta L = 243,97\text{m}$$

$$L = 1565,81\text{m}$$

$$SL = 128,35$$

Λεκάνη 2

$$\Delta H = 140\text{m} - 120\text{m} = 20\text{m}$$

$$\Delta L = 472,18\text{m}$$

$$L = 5992,61\text{m}$$

$$SL = 253,82$$

9.2.5 Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας

Ο παράγοντας εγκάρσιας τοπογραφικής συμμετρίας δίνεται από τη σχέση (από Keller & Pinter 2002):

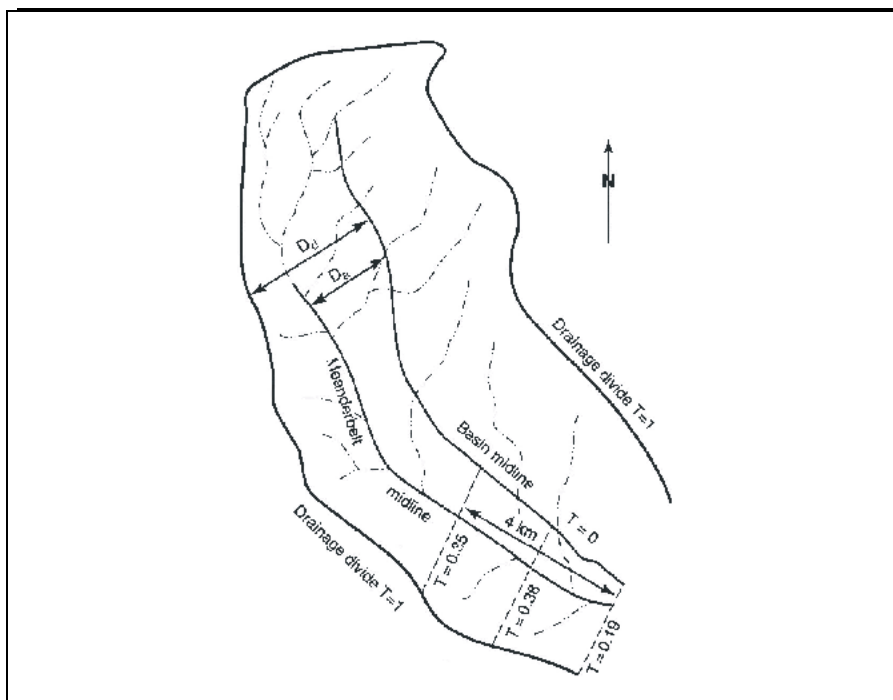
$$T = \left(\frac{Da}{Dd} \right)$$

Όπου **Da**: η απόσταση, από τη (μέση) γραμμή που χωρίζει τη λεκάνη σε δύο ίσα μέρη έως την αντίστοιχη μέση γραμμή που χωρίζει σε ίσα μέρη τη ζώνη του ενεργού μαιανδρισμού (ουσιαστικά ίδιος ο ποταμός), και **Dd**: η απόσταση από τη μέση γραμμή της λεκάνης έως τον υδροκρίτη (Σχήμα 110).

Για ιδανική συμμετρία προκύπτει, $T=0.0$

Όσο η ασυμμετρία αυξάνει, το T πλησιάζει την τιμή 1.0

Η ανάλυση αυτή είναι κατάλληλη για τον δενδροειδή τύπο ανάπτυξης υδρογραφικού δικτύου, όπου η εκτίμηση των κοιλάδων επιτρέπει τη διακύμανση του T . Αυτή η μέθοδος, όπως και του προηγούμενου μορφοτεκτονικού δείκτη ασυμμετρίας AF δεν δίνει μονοσήμαντα αποτελέσματα για την εδαφική περιστροφή, αλλά μόνο για την αναγνώριση πρόσφατης πιθανής τεκτονικής περιστροφής (tilt) και κατά συνέπεια ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων. Η ασυμμετρία αυτή της λεκάνης, αν δεν οφείλεται σε άλλους παράγοντες (π.χ. διαφορετική λιθολογία στη λεκάνη απορροής) αποτελεί σοβαρή ένδειξη για την ύπαρξη ρήγματος.

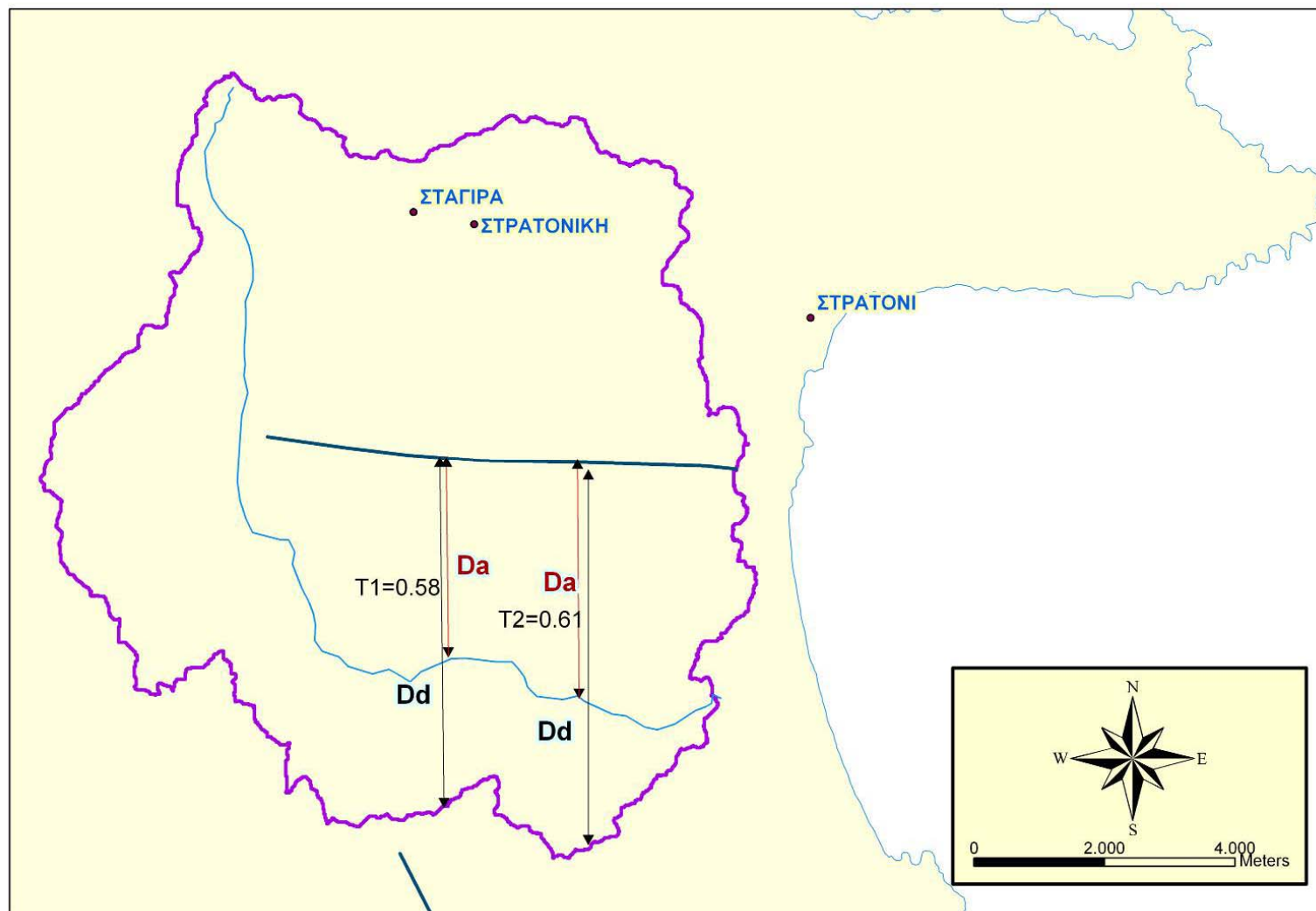


Σχήμα 110. Τοπογραφική συμμετρία (από Keller & Pinter 1996).

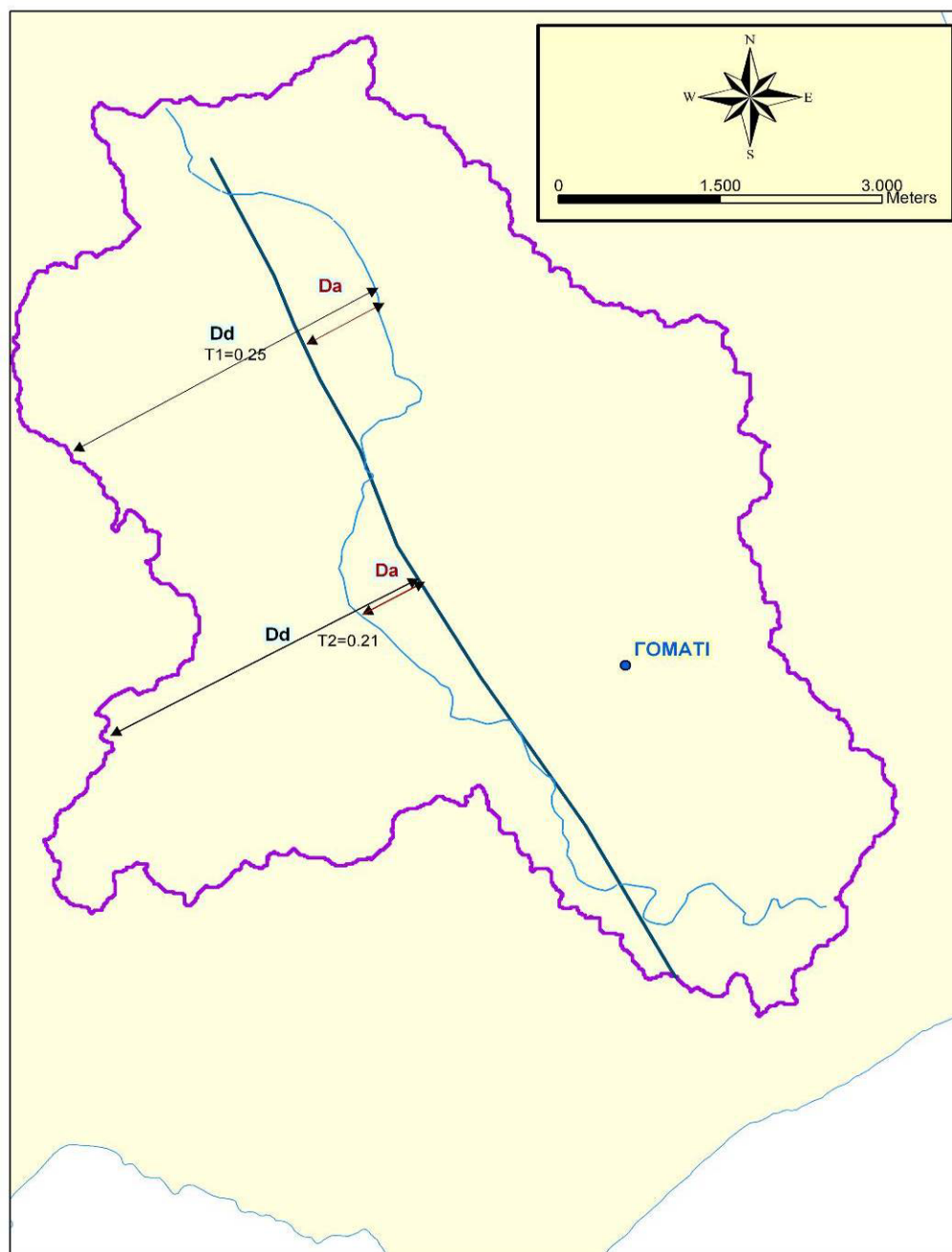
Λεκάνη 1

<i>Dd</i>	5322
<i>Da</i>	3114
<i>T1</i>	0,59
<i>Dd</i>	5991
<i>Da</i>	3648
<i>T2</i>	0,61

Πίνακας 29. Τοπογραφική ασυμμετρία της λεκάνης 1.



Σχήμα 111. Τοπογραφική συμμετρία της λεκάνης 1.

Λεκάνη 2**Σχήμα 112.** Τοπογραφική συμμετρία της λεκάνης 2.

<i>Dd</i>	3260
<i>Da</i>	800
<i>T1</i>	0,25
<i>Dd</i>	3186
<i>Da</i>	670
<i>T2</i>	0,21

Πίνακας 30. Τοπογραφική συμμετρία.

9.2.6 Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος

Ο λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος δίνεται από τη σχέση (από Keller & Pinter 2002):

$$Vf = \frac{2\pi}{(h_1 - h_3) + (h_2 - h_3)}$$

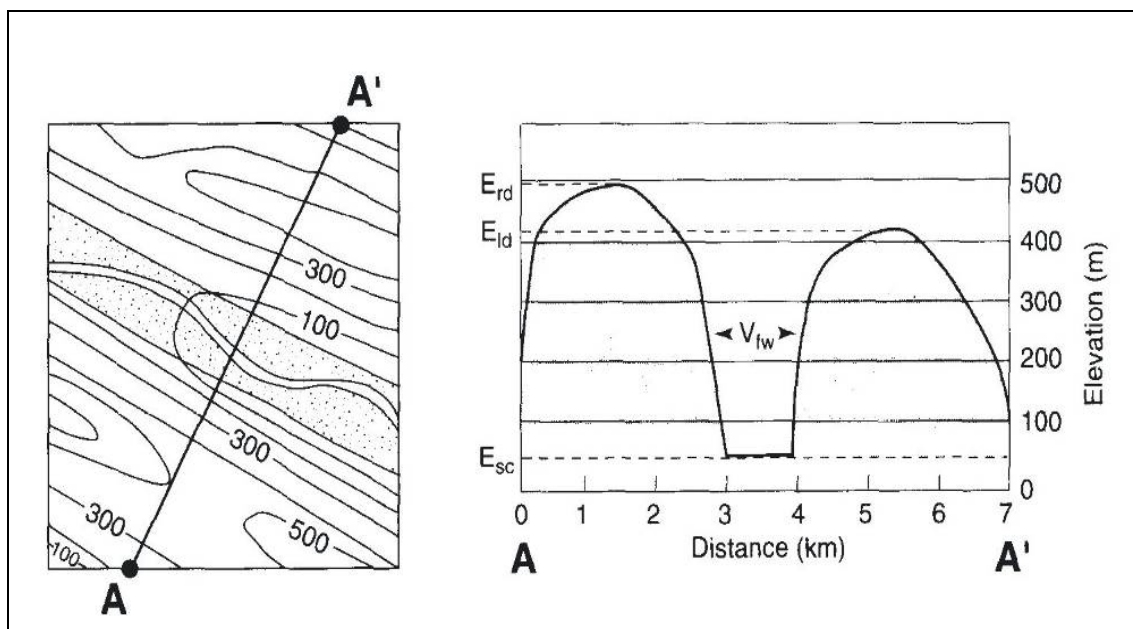
Όπου π : πλάτος κοιλάδας,

h_1, h_2 : τα υψόμετρα του αριστερού και δεξιού υδροκρίτη,

h_3 : το υψόμετρο της κοιλάδας

Αυτός ο δείκτης διαφοροποιεί τα μεγάλα σε πλάτος φαράγγια (canyons) δίνοντας σχετικά υψηλές τιμές, από τις κοιλάδες σχήματος V με χαμηλές τιμές όπου εκεί παρατηρούμε και ανύψωση (έντονη διάβρωση σε ενεργά τεκτονικές περιοχές). Οι τομές σε κάθε λεκάνη, με τη βοήθεια των οποίων μετρήθηκαν οι δείκτες **Vf**, επιλέχθηκαν (όπου ήταν δυνατόν) σε τοπογραφικά ανώτερες θέσεις από αυτές των ρηγμάτων.

Η πιθανότητα σφάλματος είναι μεγάλη του δείκτη **Vf**, λόγω έλλειψης πληροφοριών που οφείλεται στην κλίμακα του πρωτογενούς χάρτη (1:50.000). τα αποτελέσματα του δείκτη **Vf** δίνονται στους Πίνακες 31 και Πίνακας 32.



Σχήμα 113. Αριστερά: παράδειγμα τοπογραφικού χάρτη με βαθιά κοιλάδα. Δεξιά: τοπογραφική τομή AB (από Keller & Pinter 1996).

Αριθμός λεκάνης	Υψόμετρο αριστερού υδροκρίτη	Υψόμετρο δεξιού υδροκρίτη	Πλάτος λεκάνης	Υψόμετρο μισγάγγειας	Vf
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 31. Ο δείκτης Vf στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας.

Αριθμός λεκάνης	Υψόμετρο αριστερού υδροκρίτη	Υψόμετρο δεξιού υδροκρίτη	Πλάτος λεκάνης	Υψόμετρο μισγάγγειας	Vf
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

Πίνακας 32. Ο δείκτης Vf στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας.

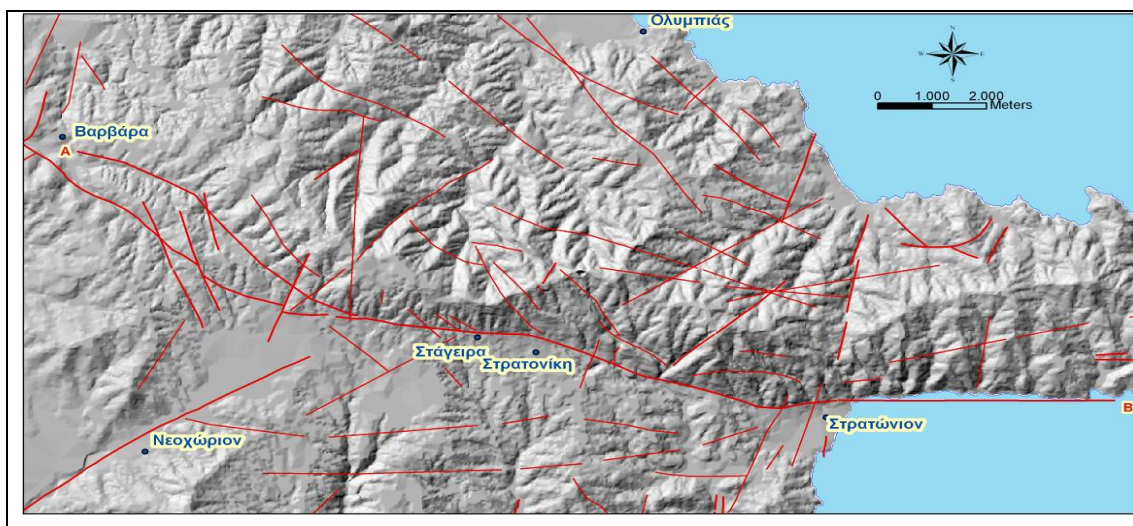
Οι πολύ μικρές τιμές που παρατηρούνται στις υπολεκάνες Στρατωνίου – Βαρβάρας 8, 13, 16 και 17 και στις υπολεκάνες Γοματίου – Μεγάλης Παναγίας 12 και 14 δείχνουν μια μεγάλη κατά βάθος διάβρωση λόγω ανύψωσης (uplift).

9.2.7 Μορφοτεκτονική του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας

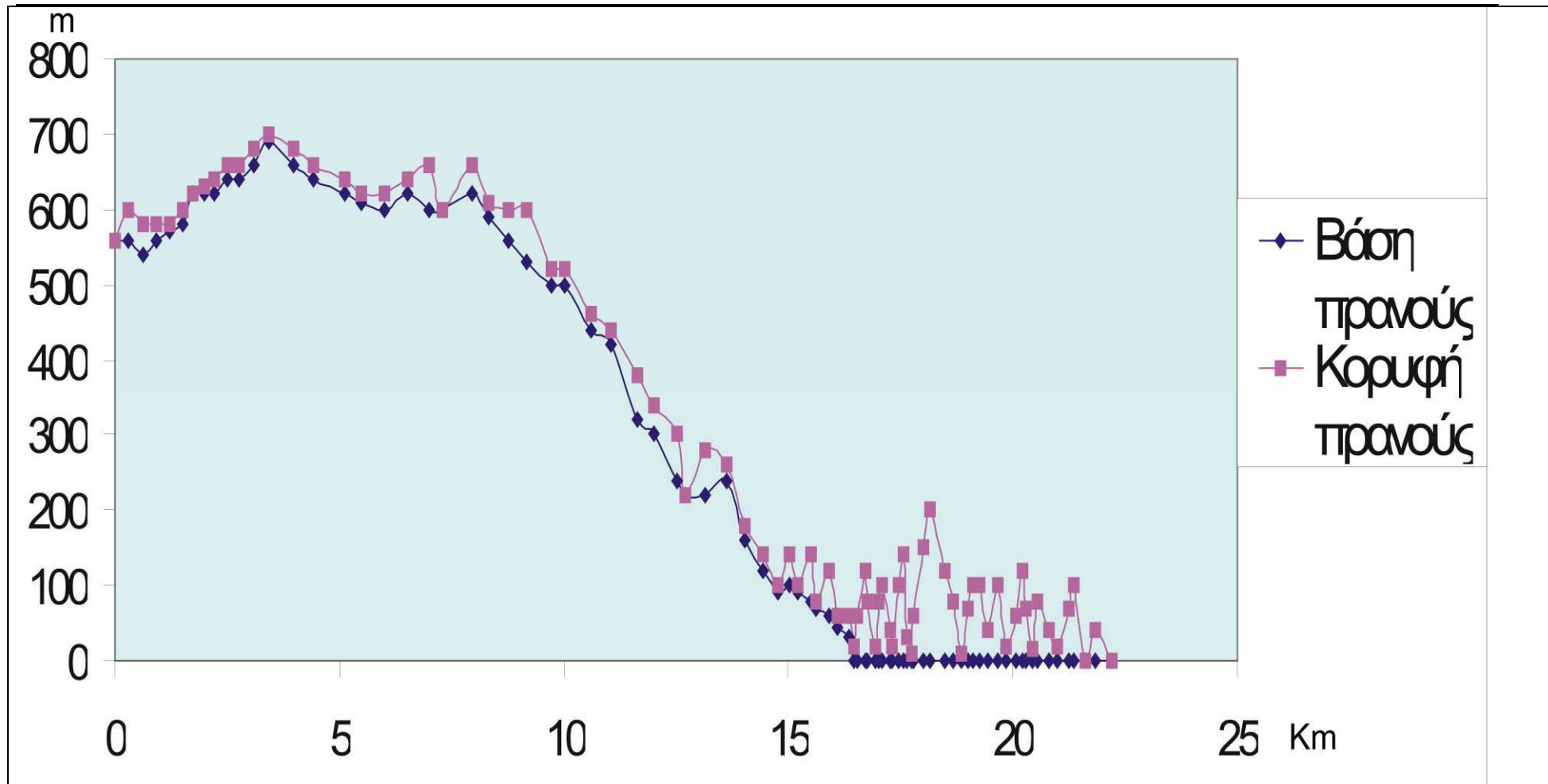
Το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 24 km. Ωστόσο, το ύψος του πρηνούς δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του, πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation).

Το Σχήμα 115 δίνει τη μορφολογία του ρηξιγενούς πρηνούς σε απόλυτα υψόμετρα παράλληλα με την παράταξη του ρήγματος, από το σημείο Α έως το σημείο Β όπως φαίνεται στο Σχήμα 114, ενώ στο Σχήμα 116 το καθαρό ύψος του πρηνούς. Οι θεωρητικές μορφολογίες των πρηνών σημειώνονται στο Σχήμα 116 ως τόξα έλλειψης (Hancock, 19**, Peacock & Sanderson 1991).

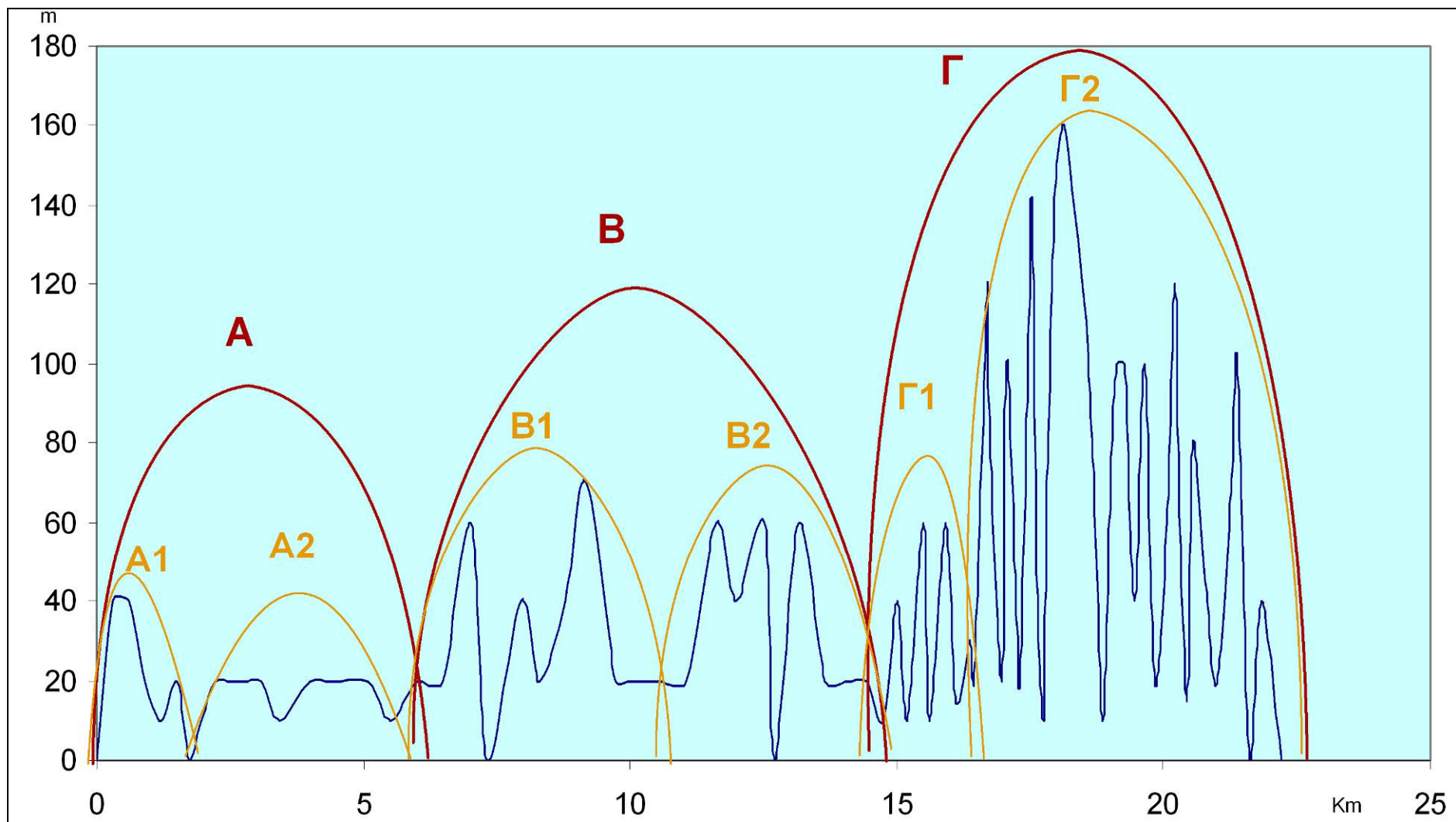
Χωρίζουμε το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας σε τρία τμήματα (segment) σύμφωνα με το Σχήμα 116. Τα τμήματα (segment) Α, Β και Γ, όπου το καθένα από αυτά μπορεί να χωριστεί σε άλλα δυο μικρότερα τμήματα (segment). Έτσι για το Α τμήμα (segment) παίρνουμε άλλα δυο το Α1 και το Α2 τμήμα (segment) που ανήκουν στο ρήγμα της Βαρβάρας. Αντίστοιχα για το Β τμήμα (segment) παίρνουμε άλλα δυο το Β1 και το Β2 τμήμα (segment) και για το Γ τμήμα (segment) τα Γ1 και Γ2 τμήμα (segment). Το Β είναι η συνέχεια του ρήγματος της Βαρβάρας έως το Στρατώνι και το τμήμα (segment) Γ είναι το τμήμα του ρήγματος του Στρατωνίου που ξεκινάει από το οικισμό Στρατώνι και συνεχίζει υποθαλάσσια.



Σχήμα 114.



Σχήμα 115. Μορφολογία του ρήγματος Βαρβάρας - Στρατωνίου. Στο διογκωμένο διάγραμμα έχουν σχεδιαστεί η βάση και η κορυφή του ρηξιγενούς πρανούς του ρήγματος. Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος αντιστοιχεί το βορειοδυτικό άκρο του πρανούς. Στον άξονα ψ έχουμε το απόλυτο υψόμετρο σε m και στον άξονα χ είναι η απόσταση από την αρχή του ρήγματος σε Km.



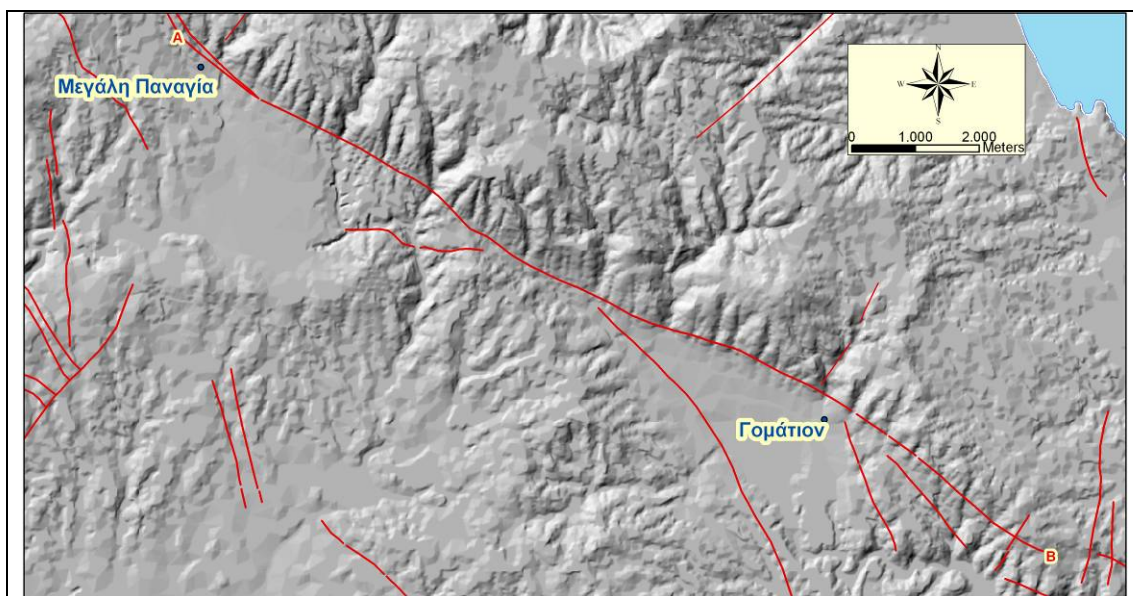
Σχήμα 116. Ύψος του ρηξιγενούς πρανούς Βαρβάρας - Στρατωνίου και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων.

9.2.8 Μορφοτεκτονική του ρήγματος Γοματίου

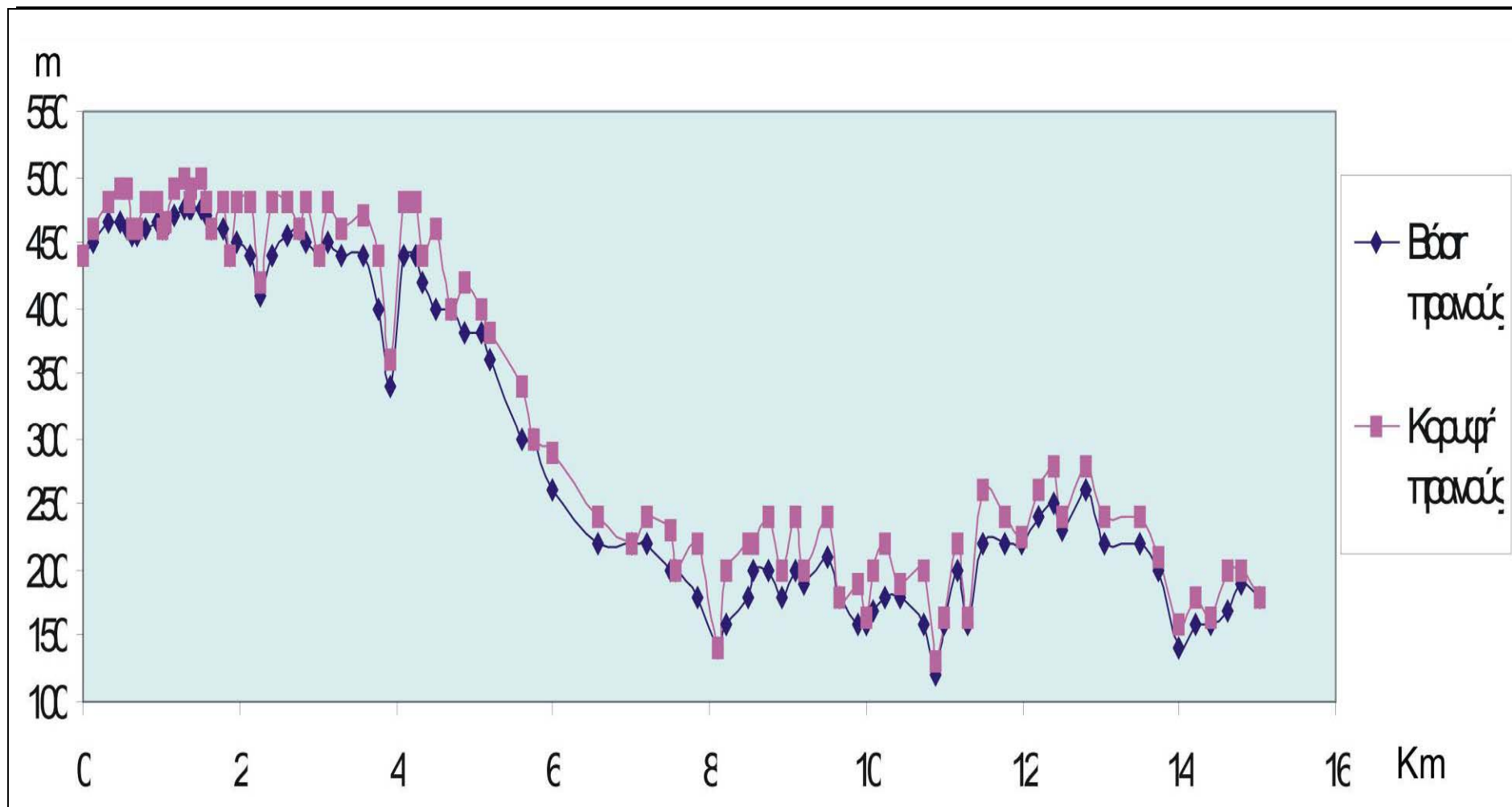
Το ρήγμα Μεγάλης Παναγίας - Γομάτι έχει συνολικό μήκος περίπου 15,5 km. Ωστόσο, το ύψος του πρानούς δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του, πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation).

Το Σχήμα 118 δίνει τη μορφολογία του ρηξιγενούς πρानούς σε απόλυτα υψόμετρα παράλληλα με την παράταξη του ρήγματος, από το σημείο Α έως το σημείο Β όπως φαίνεται στο Σχήμα 117 ενώ το Σχήμα 119 το καθαρό ύψος του πρानούς. Οι θεωρητικές μορφολογίες των πρανών σημειώνονται στο Σχήμα 119 ως τόξα έλλειψης (Hancock, 19**, Peacock & Sanderson 1991).

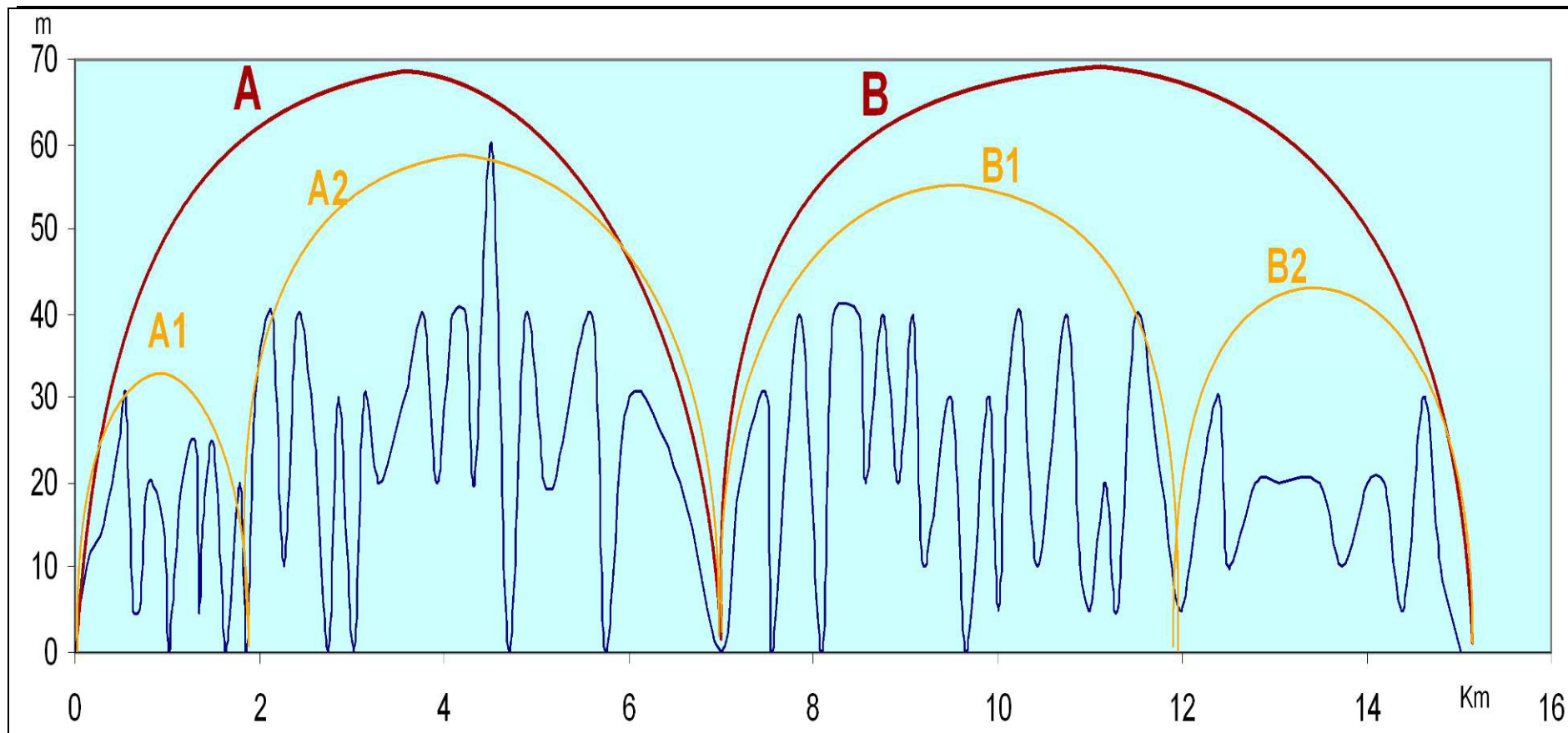
Χωρίζουμε το ρήγμα Μεγάλης Παναγίας - Γομάτι σε δύο τμήματα (segment) σύμφωνα με το Σχήμα 119. Το τμήμα (segment) Α που ξεκινάει από την Μεγάλη Παναγία και έχει μήκος περίπου 7 km και το τμήμα (segment) Β είναι το τμήμα του ρήγματος του Γοματίου με μήκος περίπου 8,5 km. Τα τμήματα (segment) Α, και Β, μπορούν να χωριστούν σε άλλα δυο μικρότερα τα Α1, Α2 και Β1, Β2 τμήματα (segment) αντίστοιχα (Σχήμα 119).



Σχήμα 117.

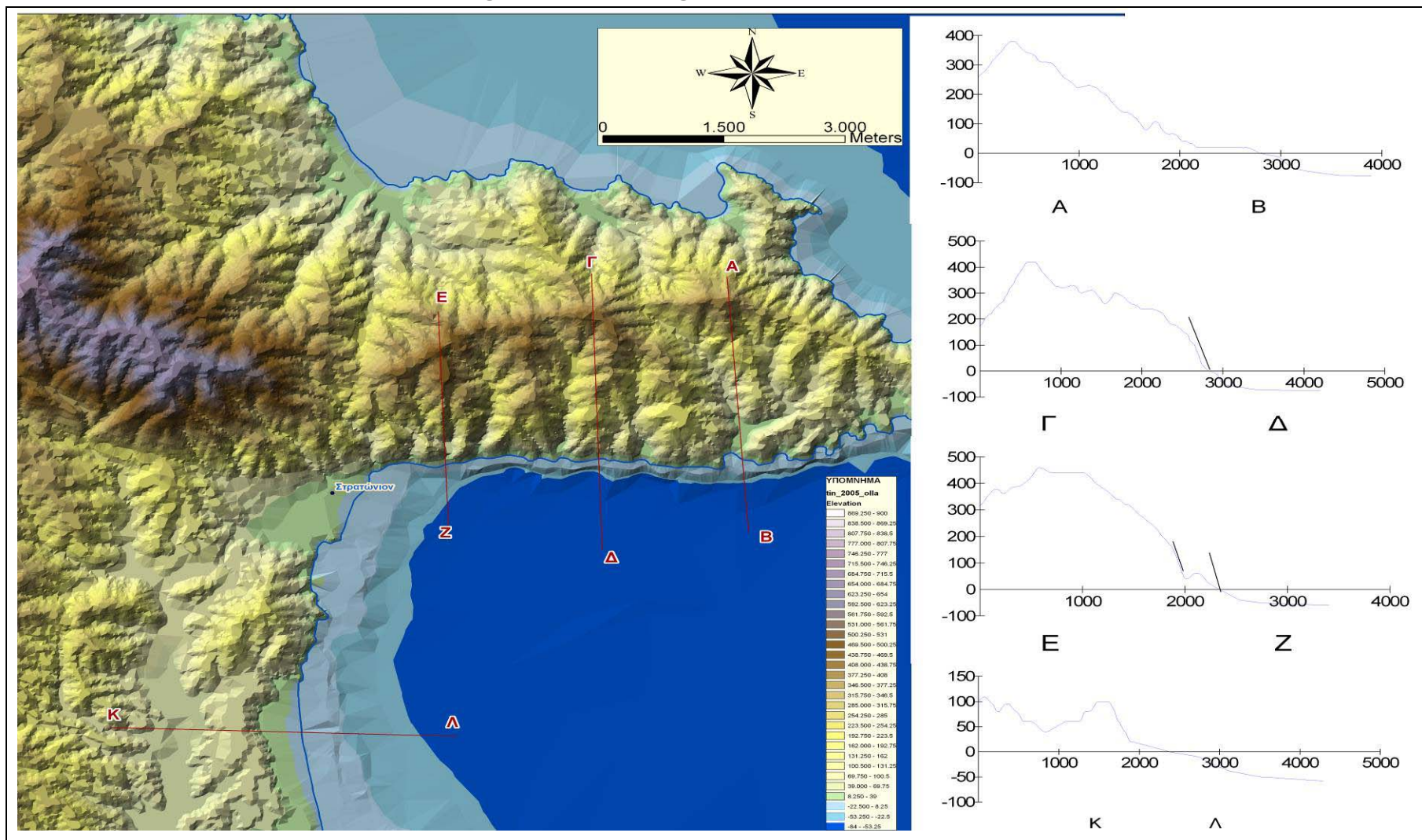


Σχήμα 118. Μορφολογία του ρήγματος Μεγάλη Παναγία - Γοματίου. Στο διογκωμένο διάγραμμα έχουν σχεδιαστεί η βάση και η κορυφή του ρηξιγενούς πρاناούς του ρήγματος. Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος αντιστοιχεί το βορειοδυτικό άκρο του πρاناούς. Στον άξονα ψ έχουμε το απόλυτο υψόμετρο σε μ. και στον άξονα χ είναι η απόσταση από την αρχή του ρήγματος σε Km.

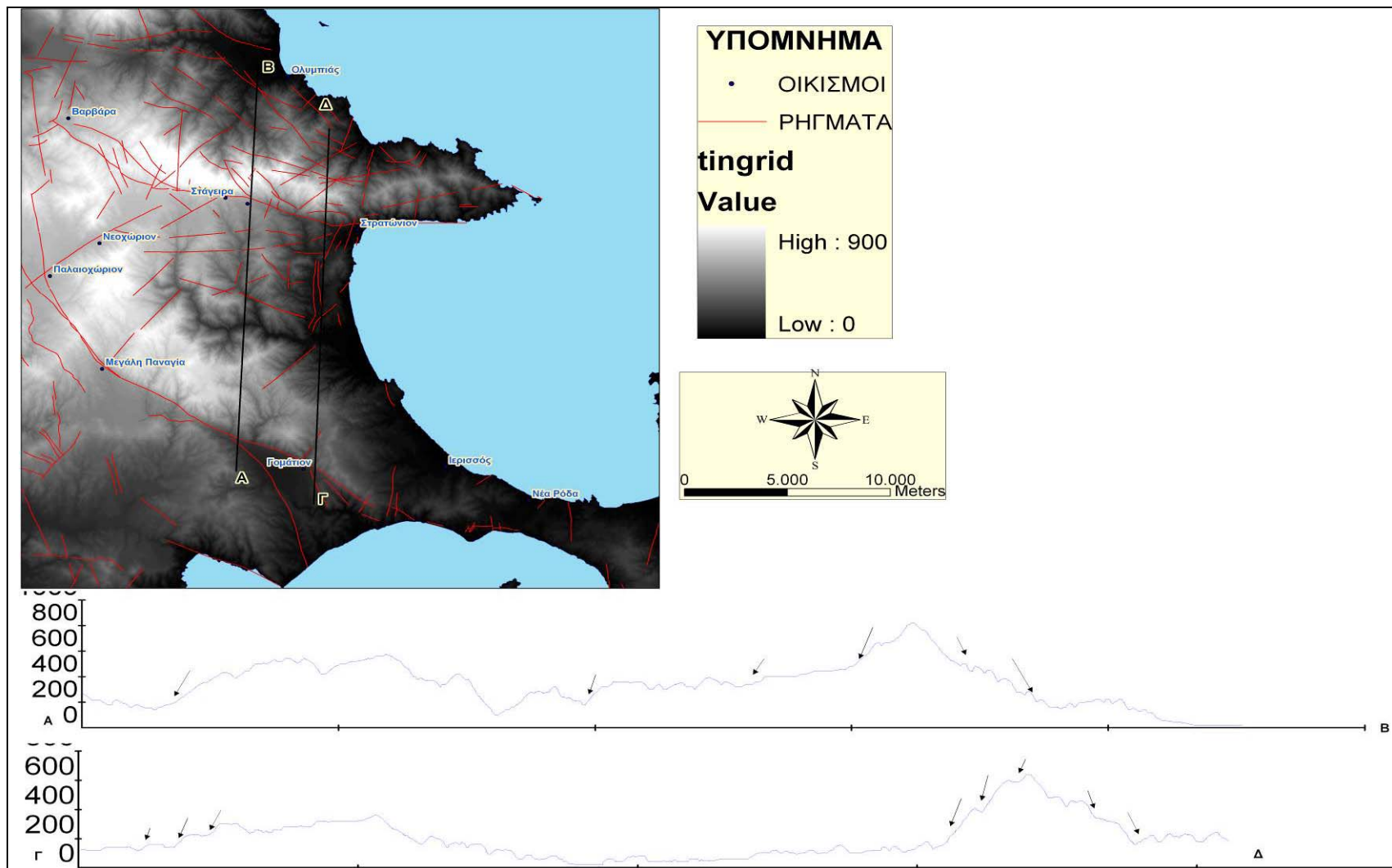


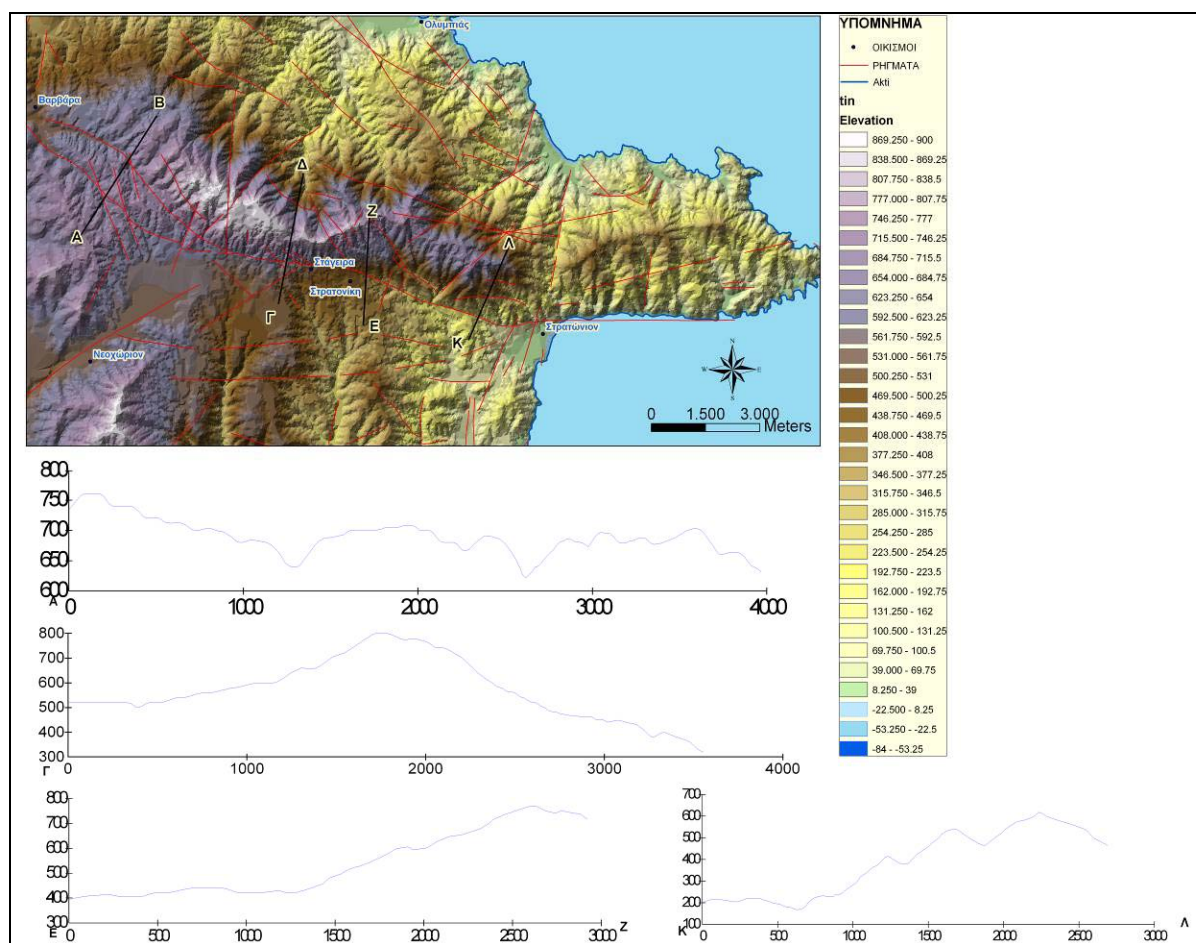
Σχήμα 119. Ύψος του ρηξιγενούς πρανούς Μεγάλη Παναγία - Γοματίου και η αντίστοιχη θεωρητική μορφή του πρανούς, όπως προκύπτει από τα μοντέλα ενεργοποίησης των κανονικών ρηγμάτων.

10 Παράρτημα - Παρατηρήσεις – μετρήσεις υπαίθρου

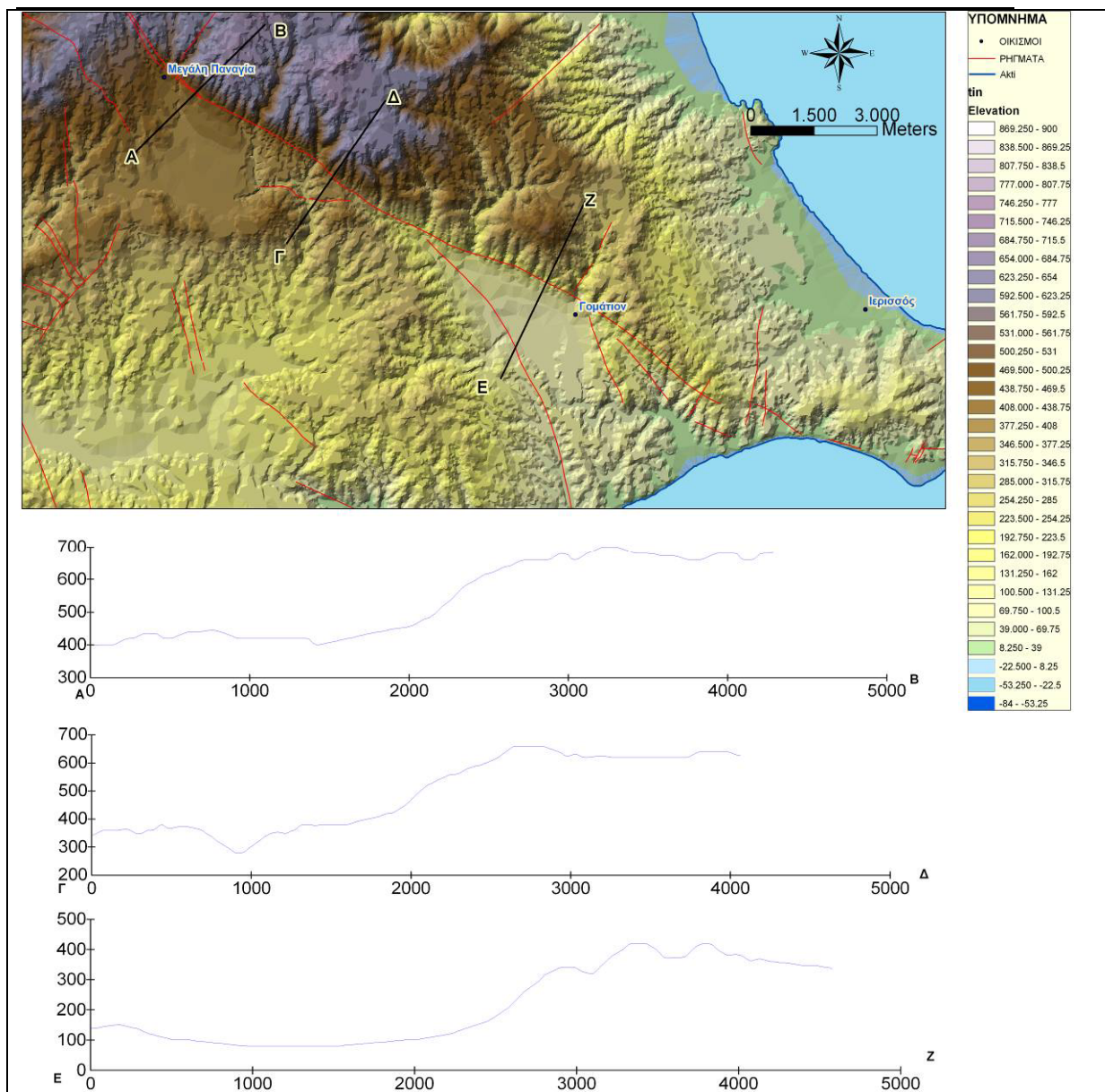


Σχήμα 120. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (ΤΙΝ) και τοπογραφικές τομές.



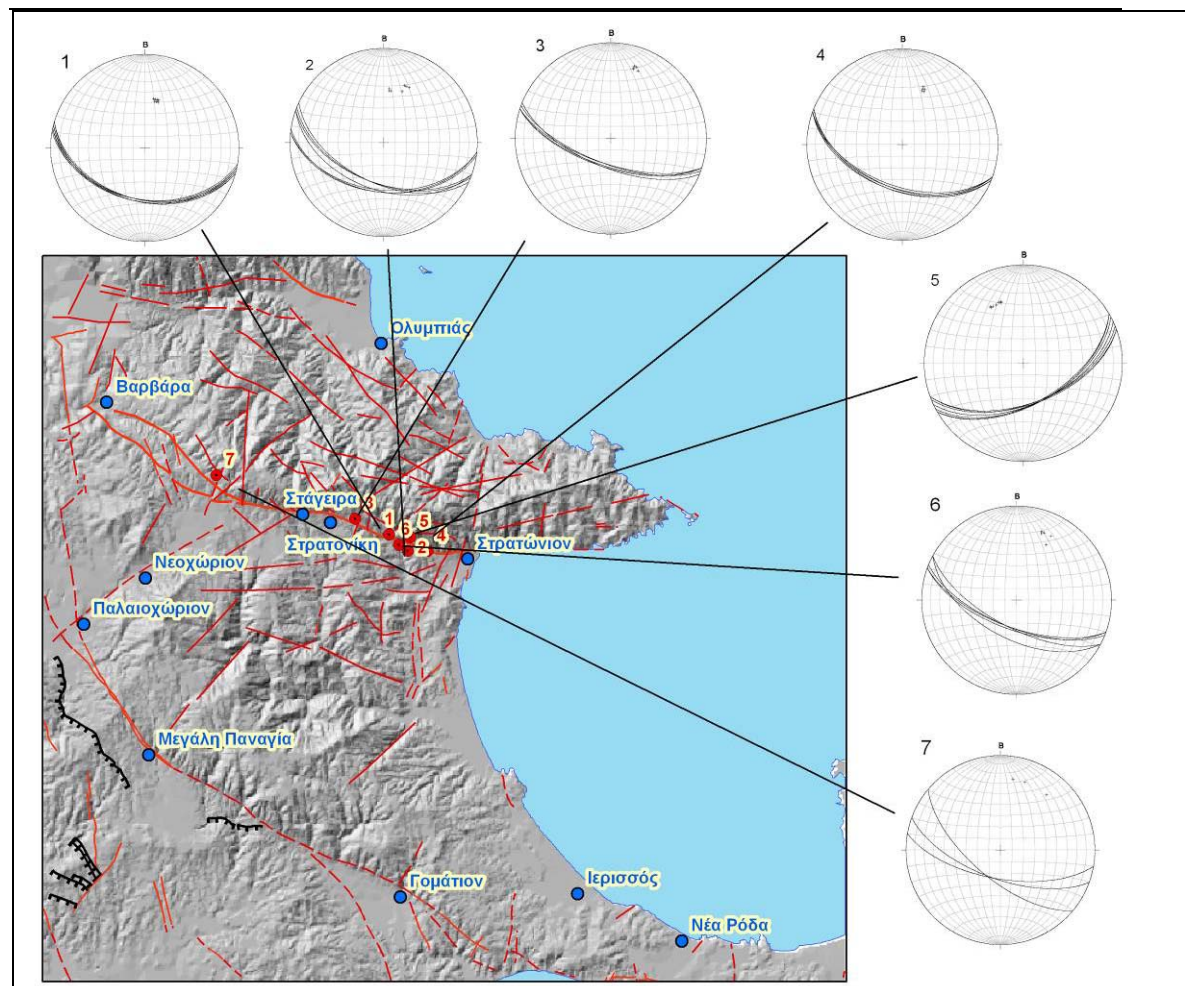


Σχήμα 122. Ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (ΤΙΝ) και τοπογραφικές τομές.



ΘΕΣΗ 1	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
196	42
192	44
190	44
192	42
194	44
196	44
194	42
ΘΕΣΗ 2	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
205	54
186	46
200	48
188	46
200	54
186	48
202	54
ΘΕΣΗ 3	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
198	65
200	68
198	68
202	65
198	66
ΘΕΣΗ 4	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
200	50
202	50
200	52
200	54
202	52
ΘΕΣΗ 5	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
150	55
160	55
155	55
158	56
152	55
150	56
160	56
ΘΕΣΗ 6	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
208	56
200	66
208	66
200	64
202	66
ΘΕΣΗ 7	
Κατεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
200	65
220	65
190	65

Πίνακας 33. Μετρήσεις υπαίθρου



Σχήμα 124. Θέσεις μετρήσεων υπαίθρου και τα αντίστοιχα στερεοδιαγράμματα.

11 Συμπεράσματα

Στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται πλήθος ρηγμάτων, τα οποία έχουν ιδιαίτερα σημαντική μορφολογική έκφραση. Τα ρήγματα αυτά διαδραματίζουν το σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ανάγλυφου, ιδιαίτερα τα ρήγματα του Στρατωνίου - Βαρβάρας και Γοματίου, τα οποία είναι τυπικά ενεργά ρήγματα, τα σπουδαιότερα της Ανατολικής Χαλκιδικής.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση μορφοτεκτονικών δεικτών, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.).

Τα παραπάνω ρήγματα εκτείνονται σε περισσότερα του ενός φύλλα τοπογραφικών χαρτών, κλίμακας: 1:50.000, της Γ.Υ.Σ.. Για τη μελέτη της μορφοτεκτονικής έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών, του υδρογραφικού δικτύου (ρέματα, λεκάνες απορροής), του οδικού δικτύου, των οικισμών και της ακτογραμμής στα φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός και Στρατονίκη. Η ψηφιοποίηση έγινε με το λογισμικό ArcGIS Desktop (8.3) για Windows.

Οι τιμές των μορφοτεκτονικών δεικτών δείχνουν ότι τόσο το ρήγμα του Στρατωνίου όσο και το ρήγμα του Γοματίου είναι ενεργά. Οι τιμές του δείκτη δαντέλωσης κυμαίνεται από 1.1 έως 1.4., και χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα, παρόλο που το ρήγμα του Γοματίου δε συνδέεται με κάποιον γνωστό μεγάλο σεισμό.

Από τις υψομετρικές καμπύλες των λεκανών απορροής στην περιοχή μελέτης, οι περισσότερες λεκάνες που μελετήθηκαν, 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 δε οφείλεται σε τεκτονική περιστροφή (*tilting*).

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 (*uplift*).

Η μορφοτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε βοήθησε στην επιβεβαίωση των υπαίθριων παρατηρήσεων. Σημαντικό ρόλο στην έρευνα είχε η χρήση της δορυφορικής εικόνας και η τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου (*DEM*).

Από την μικροτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε τμήματα τις μεγάλης ρηξιγενούς επιφάνειας (κατοπτρική) του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου, η ρηξιγενής παραμόρφωσης έγινε σε μικρά βάθη στο φλοιό της γης, μικρότερο από 10 Km, και τα υλικά της χαρακτηρίζονται ως προς τη μηχανική τους κατάσταση σαν ελαστικά μεν, αλλά εύθραυστα (*brittle*).

Η υπαίθρια παρατήρηση των ρηγμάτων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μορφοτεκτονικών δεικτών και η μικροτεκτονική ανάλυση που έγινε σε τμήμα της μεγάλης ρηξιγενούς επιφάνειας (κατοπτρική) του κυρίου ρήγματος του Στρατωνίου, συγκλίνουν στην άποψη ότι στην περιοχή υπάρχουν νεοτεκτονικές δομές με ενδείξεις πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων και παρουσιάζουν σεισμική δραστηριότητα (Ιερισσός 1932, Αρναία 1995). Τα μεγέθη των μεγάλων σεισμών που έγιναν 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 δυναμικότητα των ρηγμάτων μπορούν να δώσουν σεισμούς με μέγεθος που κυμαίνεται από $M=6.0$ έως $M=6.8$.

12 Βιβλιογραφία

- 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.
- Αστάρης Θ., 2004.** Ψηφιακή χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.). Ψηφιακές Διδακτικές Σημειώσεις www.geo.auth.gr
- Αστάρης Θ. & Οικονομίδης Δ. 2003.** Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Διδακτικές Σημειώσεις. Α.Π.Θ..
- Beach, A. 1975.** "The geometry of en-echelon vein arrays". Tectonophysics 28, 245-263.
- Bestmann Michel, Karsten Kunze, Alan Matthews., 2000.** Evolution of a calcite marble shear zone complex on Thassos Island, Greece: microstructural and textural fabrics and their kinematic significance. Journal of Structural Geology 22, 1789-1807.
- Cartwright J., Mansfield C. & Trudgill B. 1996.** "The growth of normal faults by segment linkage". Geol. Soc. Publication No.99. pp. 163-177.
- 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.
- CHARACTERISTICS OF ACTIVE FAULTS: 1991.** Journal Structural Geology. Hancock, Yeats & Sanderson Eds. V 13, N2.
- Childs C., Nicol A., Walsh J. & Watterson J. 1996.** "Growth of vertically segmented normal faults". J. Struct. Geol., Vol. 18 No. 12, pp. 1389-1397.
- Claudia A. Trepmann , Bernhard Stöckhert., 2002.** Cataclastic deformation of garnet: a record of synseismic loading and postseismic creep. Journal of Structural Geology 24 1845-1856.
- Γ. Υ. Σ., (1983, 1982, 1970, 1982).** Τοπογραφικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000, Αθήνα.

- Georgalas, G. and Galanopoulos, A. (1953).** "Das Grosse Erdbeben Der Chalkidike Vom 26 September 1932. Bull. Geol. Soc. Greece, 1, (1953-58).
- Geoffrey C. Rawling, Laurel B. Goodwin(2003).** Cataclasis and particulate flow in faulted, poorly lithified sediments. Journal of Structural Geology 25 317-331
- Gillen C. 1982.** Metamorphic Geology. George Allen & Unwin.
- Δημητριάδης, Σ. 1974.** «Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας – Ασπροβάλτας, Σταυρού – Ολυμπιάδος», Διδ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Δημητριάδη Σ.** «Εισαγωγή στην Πετρολογία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων », Εκδόσεις Γιαχούλη-Γιαπούλη, Θεσ/νίκη, σελ. 201-203.
- Dimitriu, P., Scordilis, E. & Karacostas V., 2000.** "Multifractal analysis of the Arnea, Greece seismicity with potential implications for earthquake Prediction". Natural Hazards 21 pp. 277-295.
- Dinter, D. A. & L. Royder. 1993.** «Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment system and Rhodore metamorphic core complex». Geology, 21, 45-48.
- 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.
- Fountoulis, D. 1980.** «Etude neotectonique et seismotectonique du Bassin de Langada (Macedoine, Greece)». These 3eme Cycle, Univ. Paris, Sud.
- I. Γ. Μ. Ε., 1978.** Γεωλογικοί χάρτες, Φύλλα: Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη, κλίμακα: 1:50.000, Αθήνα.
- Καραγεώργης Τ. 1998.** «Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Ολυμπιάδας». Διατρ. Ειδ. Θεσσαλονίκη.
- Κασώλη Α. 1981.**«Συμβολή στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη αμφιβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας», Διδ.Διατρ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης.
- Keller, a. E., PINTER, N., (1996).** ACTIVE TECTONICS, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall (ISBN 0-02-304601-5) N. Jersey - pp. 377. (Second Edition 2002).
- Κίλιας, Α.1998.** «Εισαγωγή στην τεκτονική Γεωλογία>>, Θεσσαλονίκη

- Kilias A.**, Falalakis G. & Mountrakis D. 1999. Cretaceous – Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic Hinterland (Macedonia, Greece), *Int. Journ. Earth Sciences*, pp 513-531.
- Kochel, F., Mollat, H. & H. W. Walther. 1977.** Erlautungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 119pp.
- Kockel, F., & Walther, H. 1968** Zur Geologischen entwicklung des Sudlichen Serbomazedonischen massivs". *Bulg. Ak. Sc. Bull. Geol. KH XVII*.
- Κουκουβέλας, Ι. 1998.** « Τεκτονική Γεωλογία», Πάτρα. Εκδόσεις Leader Books, σελ. 189-207, 245-258.
- Κουτσόπουλος, Κ. και Ανδρουλακάκης, Ν., 2003:** Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 397 σελ.
- Koufos, G. D. Syrides, G. E., Koliadimou, K. K. & D. S. Kostopoulos. 1991.** «Un nouveau gisement de vertebres avec honinoide dans le Miocene superieur de Macedoine (Greece)». *C. R. Acad. Sci. Paris*. 313, 2: 691-696.
- Λούβαρη Ε., 2000.** Λεπτομερής σεισμοτεκτονική μελέτη του Αιγαίου και των γειτονικών περιοχών με βάση τους μηχανισμούς γένεσης των μικρών σεισμών. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., 374 σελ.
- Lee Y, David V. Wiltschko., 2000.** Fault controlled sequential vein dilation: competition between slip and precipitation rates in the Austin Chalk, Texas. *Journal of Structural Geology* 22, 1247-1260
- Lianxing, G. & McClay, K.R., 1992.** Pyrite deformation in stratiform lead-zinc deposits of the Canadian Cordillera. *Mineral. Deposita* 27, 169-181.
- Maltezos, F., Kalogeropoulos, S. & Hamilton, N. 1991.** "A geophysical study in the Eastern Chalkidiki peninsula, N. Greece. The Stratoní granodiorite and its significance to metallogeny". *Bolletino di Geofisica*. In press.
- 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 1933).** 'Οι Γεωλογικοί Και Μακροσεισμικοί Χαρακτήρες Των Σεισμών Της Χαλκιδικής'. Ακαδημία Αθηνών 1933.
- Μαραβελάκης, Ι. Μ. (Θεσσαλονίκη 1936).** 'Σπουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής'. Τυπογραφείο Κ Θεωδορίδου. Εργαστ. Ορυκτ.-Γεωλ.-Πετρολ. ΑΠΘ , 43pp.
- Mandal, N., Chakraborty, C., & Kumar Samanta, 2001.** Controls on the failure mode of brittle inclusions hosted in a ductile matrix. Journal of Structural Geology 23, 51-66.
- Mattauer, M. 1973.** «Les deformations des materiaux de l' ecorce terrestre – Hermann». Paris.
- MCCLAY K. R. AND ELLIS, P. G., 1984.** DEFORMATION OF PYRITE, Economic Geology, Vol. 79, 1984, pp.400-403
- McCLAY K. R. AND ELLIS, P. G., 1983.** Deformation and recrystallization of pyrite, MINERALOGICAL MAGAZINE, VOL.47, PP.527-38
- McKenzie D.P. (1978):** Active tectonics of the Alpide-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. Geophys. J. R. astron. Soc. London, 55, 217-254.
- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μεταλλευτικών Εγκαταστάσεων Στρατωνίου, ECHMES-ENVECO, Αύγουστος 1997.**
- Mercier, J. 1966.** «Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale». Ann. Geol. des Pays Hell.
- Mercier, J. L., Carey-Gailhardis, E., Mouyaris, N. Simeakis, K., Roundouyannis, Th. & Ch. Anghelidhis.1983.** Structural analysis of recent and active faultw and regional state of stress in the epicentral area of the 1978 Thessaloniki earthquakes (Northern Greece). Tectonics, vol. 2, n. 6, 577-600.
- Μιχαηλίδου Α.2000.** «Γεωμετρία και κινηματική πτεροειδών διακλάσεων στη Βαρβάρα Χαλκιδικής». Διπλωμ. Εργ. Θεσσαλονίκη.
- Mountrakis D., Psilovikos A. and Papazachos B. (1983):** The geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquake. In: Papazachos B.C. and Carydis P.G. (Eds.), The Thessaloniki, northern Greece, earthquake of June 20, 1978, and its seismic sequence, Technical Chamber of Greece-Section of Central Macedonia, 11-27.
- Μουντράκης, Δ.1985.** "Γεωλογία της Ελλάδας", University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μουντράκης, Δ.1995. «Σημειώσεις Γεωτεκτονικής εξέλιξης του Ελληνικού χώρου», Πανεπ. Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης, Δ. 1994. «Εισαγωγή στη Γεωλογία της Μακεδονίας και της Θράκης. Απόψεις για τη Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελληνικής ενδοχώρας και των Εσωτερικών Ελληνίδων», Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXX/1, 31-46, 1994, Πρακτικά 7ου Επιστημονικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, Μάιος 1994.

Mountrakis D. 2004. «Tertiary and Quaternary tectonics in Greece», 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, pp 134-137.

Ναυτική Επιθεώρησης Τόμος, 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. – Παπαζάχου, Κ.1989. «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Papazachos, B. C., Panagiotopoulos, D. G., Tsapanos, T. M., Mountrakis, D. M. & Dimopoulos, G. Ch. 1983. A study of the 1980 symmer seismic segyence in the Magnesia region of Central Greece. Geophys. J. R. astr. Soc. 75, 155-168.

Papazachos, B. C. and Kiratzi, A.A. (1996). A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. Tectonoph, 253, 129-153.

Papazachos, B. & Papazachou, C. (1997). "The earthquakes of Greece". Editions ZITI, pp 304.

Papazachos B.C. (1990): Seismicity of the Aegean and surrounding area. Tectonophys., 178, 287-308.

Papazachos B.C. and Papazachou C. (1989): I seismoi tis Elladas, Editions ZITI, Thessaloniki, 356 pp. [in Greek]

Papazachos B.C. and Papazachou C. (1997): The earthquakes of Greece, Editions ZITI, Thessaloniki, 304 pp.

Papazachos B.C., Mountrakis D.M., Papazachos C.B., Tranos M.D., Karakaisis G.F. and Savaidis A.S. (2001): The faults which have caused the known major earthquakes in Greece and surrounding

region between the 5th century BC and today. 2nd Greek Congress of Earthq. Engineering, Techn. Chamber of Greece, V1, 17-26.

Pavlidis S.B., Mountrakis D., Kiliass A. and Tranos M. (1990): The role of strike slip movements in the extensional area of northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. *Ann. Tectonicae*, 4, 196-211.

Pavlidis, S., Caputo, R. & Chatzipetros, A. (2000). "Empirical relationships among earthquake magnitude, surface ruptures and maximum displacement in the broader Aegean Region". *Proceedings of the 3rd International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean*. Panayides, I., Xenophontos, C. and Malpas, J., (Eds), pp 159-168.

Pavlidis, S., Mountrakis, D., Kiliass, A. & Tranos, M. (1990). "The role of strike slip movements in the extensional area of northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics". *Annales Tectonicae*, vol. 4, p. 196 - 211.

Παυλίδης, Σ. – Μουντράκης, Δ. 1986. «Νεοτεκτονική, Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων γεωλογικών δομών», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Pavlidis, 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.

Pavlidis, S. – Kiliass, A. 1987. "Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, northern Greece)", *Annales Tectonic*, Vol. I- n. 2: 97-104.

Pavlidis, S. – Syrides, G. 1997. "Field trip to Mygdonia basin (active faults of Thessaloniki 1978 earthquake)(Central Macedonia, northern Greece)", The 29th General Assembly of the IASPEI, August 18-28, 1997, Thessaloniki, Greece.

Psilovikos, A. A., 1977. Palaeogeographical evolution of the Mygdonia basin and Lake (Langada-Volvi). Dr. Thesis Univ. Thessaloniki, 156pp.

Ramsay, J., Martin I. Huber, THE TECHNIQUES OF MODERN STRUCTURAL GEOLOGY, Volume 1: Strain Analysis.

Rate, S. & Porosity, S. Experimental Deformation of Polycrystalline Pyrite: Effects of Temperature, Confining Pressure.

Sibson, R.H. (1977). *J. Geol. Soc. London*, 133, 191-213.

Skrotzki, W , Tamm, R., Oertel, C., Röseberg, J.& Brokmeier, H., 2000.

Microstructure and texture formation in extruded lead sulphide (galena). *Journal of Structural Geology* 22 1621-1632

Smith, J.1996. "Geometry and kinematics of conjugate vein array systems", *Journal of Structural Geology*", Vol.18, No. 11, pp. 1291 to 1300.

Sokoutis, D., Brun, J.P., J. Van Den Driessche & S. Pavlides,1993. "A major Oligo-Miocene detachment in southern Rhodope controlling north Aegean extension", *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 150, pp. 243-246.

Srivastava, D. 2000. "Geometrical classification of conjugate vein arrays", *Journal of Structural Geology*", No. 20, pp. 713 to 722.

Stewart I. 1990. "Evolution of neotectonic normal fault zones in the Aegean region" University of Bristol.

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.

VOKES F.M., 1971. Some Aspects of the Regional Metamorphic Mobilization of Preexisting, Sulphide Deposits, *Mineral, Deposita (Berl.)* 6, 122-129.

Voidomatis, Ph., Pavlides, S. & Papadopoulos, G. (1990). "Active deformation and seismic potential in the Serbomacedonian zone, northern Greece". *Tectonophysics*, 179, 1-9.

Yeats, R., Sieh, K. & Allen, C. (1997) "The geology of Earthquakes". Oxford University Press 1997. pp. 568.

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.

Westphal, M., Kondopoulou, D., Edel, J.B., Pavlides, S. 1991. "Paleomagnetism of late tertiary and Plio-Pleistocene formation from Northern Greece", *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* τομ. XXV/3, 239-250.

Φλωράς, Δ. (1933). 'Καταστροφαι εκ των σεισμών της Χαλκιδικής και τα εξ αυτών πορίσματα'. *Τεχνικά Χρονικά* 1η Ιανουαρίου 1933 Αριθμός 25 Β'/III.

Χατζηπέτρος, Α. 1998. «Παλαιοσεισμολογική-Μορφοτεκτονική μελέτη και Μηχανική συμπεριφορά των συστημάτων ενεργών διαρρήξεων,

Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνης-Γρεβενών», Διδ. Διατριβή,
Θεσσαλονίκη. Σελ. 118-128.

**Chatzipetros A 1., Keramydas D.1, Michailidou A.1, Tsapanos Th 2.,
Pavlidis S., 2004. MORPHOTECTONICS AND SEISMIC POTENTIAL
OF THE STRATONI ACTIVE FAULT (CHALIKIDIKI, NORTHERN
GREECE) 4th NATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE
BULGARIAN GEOPHYSICAL SOCIETY-OCTOBER 2004**