

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ



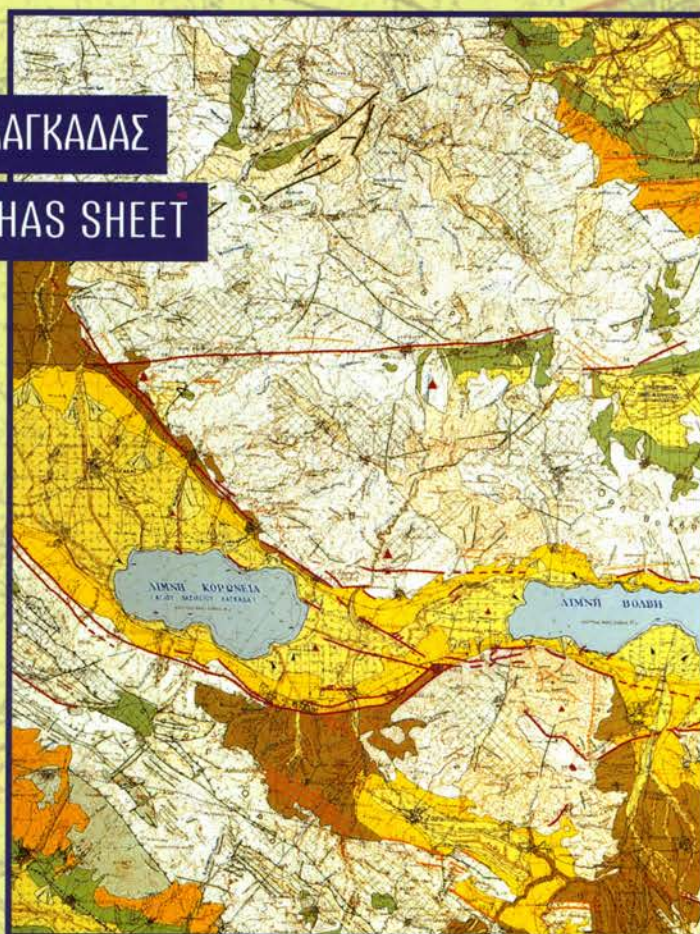
GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE
TECTONIC COMMITTEE

ΕΙΔΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ του ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ της ΕΛΛΑΔΑΣ SPECIAL PUBLICATION of NEOTECTONIC MAP of GREECE

Από Δ. ΜΟΥΝΤΡΑΚΗ & Συνεργάτες του ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝ/ΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
By D. ΜΟΥΝΤΡΑΚΙΣ et al, of the ARISTOTELE UNIVERCITY OF THESSALONIKI

ΦΥΛΛΟ ΛΑΓΚΑΔΑΣ

LANGADHAS SHEET



Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας
Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόγνωσης & Πρόληψης Σεισμών

ΑΘΗΝΑ 1997

74/82 + 155/8

ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.000

ΦΥΛΛΟ «ΛΑΓΚΑΔΑ»

ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΟ ΤΕΥΧΟΣ

74/82 + 155/8

ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Κλίμακα: 1:100.000

Φύλλο: «ΛΑΓΚΑΔΑΣ»

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Καθηγητής Δημοσθένης ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ

Ερευνητική ομάδα:

	Ειδικότητα:	
1. Μουντράκης Δημοσθένης, Δρ. Καθηγητής		Τεκτονική Γεωλογία
2. Κίλιας Αδαμάντιος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Τεκτονική Γεωλογία
3. Παυλίδης Σπύρος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Τεκτονική Γεωλογία
4. Σωτηριάδης Λάζαρος, Δρ. Καθηγητής	»	Γεωμορφολογία
5. Ψιλοβίκος Αντώνιος, Δρ. Καθηγητής	»	Γεωμορφολογία - Ιζηματολογία
6. Αστάρας Θεόδωρος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Γεωμορφολογία - Τηλεπισκόπηση
7. Βαβλιάκης Ελευθέριος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Γεωμορφολογία
8. Κουφός Γεώργιος, Δρ. Καθηγητής	»	Στρωματογραφία
9. Δημόπουλος Γεώργιος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Υδρογεωλογία
10. Σούλιος Γεώργιος, Δρ. Αναπλ. Καθηγητής	»	Υδρογεωλογία
11. Χρηστάρας Βασίλειος, Δρ. Επικ. Καθηγητής	»	Τεχνική Γεωλογία
12. Σκορδύλης Μανώλης, Δρ. Σεισμολόγος	»	Σεισμολογία
13. Τρανός Μάρκος, Υποψήφιος Διδάκτορας	»	Τεκτονική Γεωλογία
14. Σπυρόπουλος Νικόλαος, Διδάκτορας	»	Τεκτονική Γεωλογία
15. Πάτρας Δημήτριος, Υποψήφιος Διδάκτορας	»	Τεκτονική Γεωλογία
16. Συρίδης Γεώργιος, Λέκτορας	»	Στρωματογραφία
17. Λαμπρινός Νικόλαος, Διδάκτορας	»	Γεωμορφολογία
18. Λάγγαλης Θεόδωρος, Υποψήφιος Διδάκτορας	»	Γεωμορφολογία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΑΔΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΑΔΠΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	11
3. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ - ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΟΥΣ	17
3.1. Νεογενείς αποθέσεις	17
3.2. Τεταρτογενείς αποθέσεις	18
3.2.1. Τεταρτογενείς αδιαίρετες αποθέσεις	18
3.2.2. Πλειστοκαινικές αποθέσεις	18
3.2.3. Ολοκαινικές αποθέσεις	20
4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	23
4.1. Γενικά	23
4.2. Επιφάνειες Επιπέδωσης	23
4.3. Εξέλιξη των λεκανών	23
4.4. Κύρια μορφοτεκτονικά στοιχεία	25
5. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ	27
5.1. Νεοτεκτονικό πλαίσιο	27
5.2. Περιγραφή των Ενεργών και Πιθανών Ενεργών ρηγμάτων	27
(1) Σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιοτερών	27
(2) Ενεργό ρήγμα Λητής-Λαγυνών-Αγίου Βασιλείου	30
(3) Ενεργό ρήγμα Λουτρών Βόλβης-Απολλωνίας	30
(4) Σεισμικό ρήγμα μεταξύ των λιμνών Βόλβης-Λαγκαδά	31
(5) Σεισμικό ρήγμα Σχολαρίου	32
(6) Ενεργό ρήγμα Ασσήρου-Ανάληψης	33
(7) Ενεργά και Πιθανά Ενεργά ρήγματα Νυμφόπετρας-Μεγάλης Βόλβης	35
(8) Ενεργό ρήγμα Νέας Απολλωνίας	37
(9) Πιθανό Ενεργό ρήγμα στο υπόβαθρο Νότια της Βόλβης	38
(10) Πιθανό ενεργό ρήγμα Μαραθούσας	40
(11) Ενεργό ρήγμα Αγγελοχωρίου	41
(12) Ενεργό ρήγμα Ασβεστοχωρίου	42
(13) Πιθανά Ενεργά ρήγματα λεκάνης Ζαγκλιβερίου	42
(14) Ενεργό ρήγμα Σοχού	42
(15) Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Νιγρίτας-Τερπνής	47
(16) Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Παλιάς Χρυσανγής	47
(17) Σύστημα ρηγμάτων Ευλόπολης-Νικόπολης	47
6. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	49
6.1. Σεισμική δράση της ευρύτερης περιοχής κατά τον παρόντα αιώνα	49
6.2. Σεισμική δράση στην περιοχή μετά το 1980	49
6.3. Πεδίο των τάσεων στην περιοχή	50
6.4. Σεισμική δράση στην περιοχή του φύλλου «Λαγκαδάς»	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκπόνηση του νεοτεκτονικού χάρτη είχε σαν κύριο στόχο τον εντοπισμό, τη χαρτογράφηση και το χαρακτηρισμό των ρηγμάτων της περιοχής, με κατεύθυνση πάντοτε τη διαπίστωση του σεισμικού κινδύνου. Για το σκοπό αυτό το κύριο βάρος της προσπάθειας της ερευνητικής ομάδας κατευθύνθηκε στη λεπτομερειακή μελέτη των ρηγμάτων, τα οποία σύμφωνα με τις προδιαγραφές διακρίνονται σε Σεισμικά, Ενεργά, Πιθανά Ενεργά και Ανενεργά ρήγματα.

Η μελέτη των ρηγμάτων έγινε:

- με τη λεπτομερειακή υπαίθρια έρευνα,
- με την εξέταση αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:15.000 και 1:40.000,
- με την εξέταση δορυφορικών εικόνων της σειράς LANDSAT (-5,6 και 7 near infrared TM κλίμακας 1:125.000 διακριτικής ικανότητας 30X30 m) SPOT (-PA-stereo pair κλίμακας 1:200.000 διακριτ. ικανοτ. 10X10 m).

Κατά την υπαίθρια εργασία αναζητήθηκαν επίμονα στοιχεία ή ενδείξεις για πιθανές νεότερες δραστηριοποιήσεις των παλιών ρηγμάτων, τόσο αυτών που είχαν χαρτογραφηθεί από προηγούμενες εργασίες και χάρτες, όσο και αυτών που εντοπίστηκαν με την παρούσα έρευνα.

Σύμφωνα πάντοτε με τις προδιαγραφές ως Σεισμικά ρήγματα χαρακτηρίζονται εκείνα τα ρήγματα για τα οποία έχουμε σαφή στοιχεία ότι συνδέονται με συγκεκριμένους σεισμούς. Η ερευνητική ομάδα έκρινε ότι όταν τα στοιχεία αυτά δεν είναι απόλυτα σαφή, τότε τα αντίστοιχα ρήγματα να χαρακτηρίζονται Ενεργά και όχι Σεισμικά. Προς την κατεύθυνση αυτή έγινε η κάθε δυνατή συσχέτιση των ρηγμάτων που χαρτογραφήθηκαν με τα επίκεντρα των μεγάλων και μικρών σεισμών από τα στοιχεία του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για να διευκρινισθούν τα Σεισμικά ή Πιθανά Ενεργά ρήγματα.

Ως Ενεργά ρήγματα χαρακτηρίζονται εκείνα που έχουν δραστηριοποιηθεί από το Ανώτατο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα. Ως Πιθανά Ενεργά χαρακτηρίζονται τα ρήγματα που έδρασαν από το Ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο.

Για το χαρακτηρισμό ως Ενεργών ή Πιθανών Ενεργών ρηγμάτων, εκτός από τα στρωματογραφικά κριτήρια που αναφέρονται παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν και τα ακόλουθα κριτήρια σε συσχέτιση μεταξύ τους:

- ιδιαίτερα λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων που αναπτύσσονται σε πετρώματα του υποβάθρου,
- κατανομή επικέντρων μικροσεισμών κατά τρόπο που να δείχνουν πιθανή σύνδεση με τα συγκεκριμένα ρήγματα,
- γραμμική τοποθέτηση θερμών πηγών,
- η συνέχεια ενός ρήματος με άλλο αποδεδειγμένα Ενεργό ρήγμα,

- γεωμορφολογικά κριτήρια όπως σύγχρονες αναβαθμίδες τεκτονικής προέλευσης, νεοσχηματισθείσες τεκτονικές κοιλάδες, πρόσφατη χρονολογημένη απότομη αλλαγή διεύθυνσης χειμάρρου, φαινόμενα έντονης διάβρωσης, κ.λπ.

Ως Ανενεργά ρήγματα σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι εκείνα που δεν παρουσιάζουν ενδείξεις δραστηριοποίησης μετά το Κατώτερο Πλειόκαινο. Θα πρέπει όμως να τονισθεί ιδιαίτερα ότι στην παρούσα εργασία χαρακτηρίστηκαν ως ανενεργά ρήγματα εκείνα για τα οποία δεν υπάρχουν ικανοποιητικές ενδείξεις των παραπάνω κριτηρίων για να χαρακτηρισθούν πιθανά ενεργά, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι έχουμε αποδείξεις ότι τα ρήγματα δεν δραστηριοποιήθηκαν μετά το Κατώτερο Πλειόκαινο.

Για τη συγκέντρωση ασφαλών στρωματογραφικών και γεωμορφολογικών κριτηρίων για το χαρακτηρισμό των μεγάλων κυρίως ρηγμάτων, έγιναν συνεχείς προσπάθειες από τους στρωματογράφους και γεωμορφολόγους, να αναλύσουν περισσότερο τις αποθέσεις και τις δομές που βρίσκονταν κοντά στα μεγάλα ρήγματα.

Γενικά επίσης θα πρέπει να τονισθεί ότι η μεγαλύτερη προσοχή της ερευνητικής ομάδας επικεντρώθηκε στα μεγάλα ρήγματα (μεγάλου μήκους και άλματος) που θεωρήθηκαν και ως πλέον επικίνδυνα σε πιθανή σεισμική δράση.

Στα ρήγματα του νεοτεκτονικού χάρτη σημειώνεται και η διεύθυνση ολίσθησης της τελευταίας (πιο πρόσφατης) τεκτονικής κίνησης όπως καθορίζεται από τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης. Δεν σημειώνονται οι ενδεχόμενες παλαιότερες κινήσεις που διαπιστώθηκαν, για να μην προκληθεί σύγχυση στον κύριο στόχο που είναι η διαπίστωση του σεισμικού κινδύνου.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η χαρτογράφηση της συνέχειας ορισμένων μεγάλων ρηγμάτων μέσα στις πεδινές περιοχές βασίστηκε σε δημοσιευμένα γεωφυσικά στοιχεία και/ή στην ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων. Επίσης βάσει των γεωφυσικών δεδομένων και/ή την ερμηνεία δορυφορικών εικόνων επισημάνθηκαν και χαρτογραφήθηκαν ορισμένα μεγάλα ρήγματα στις πεδινές περιοχές που δεν έχουν καμμία εκδήλωση επιφανειακού ίχνους. Τα ρήγματα αυτά συμβολίζονται με ιδιαίτερο χρώμα, που αναφέρεται στο συνοδευτικό υπόμνημα του νεοτεκτονικού χάρτη.

Για την εκπόνηση του νεοτεκτονικού χάρτη, φύλλο «Λαγκαδάς» έγινε αξιολόγηση και αξιοποίηση όλων των προγενέστερων γεωλογικών εργασιών και χαρτών σε συσχέτιση και με τα στοιχεία υπαίθρου που συλλέχθηκαν από την ερευνητική ομάδα. Λήφθηκαν υπόψη όλοι οι υπάρχοντες γεωλογικοί χάρτες της περιοχής, τόσο των εκδόσεων του ΙΓΜΕ όσο και των διαφόρων άλλων επιστημονικών εργασιών. Συγκεκριμένα το κύριο χαρτογραφικό υπόβαθρο της εργασίας αυτής, κυρίως ως προς τις αλτικές δομές, στηρίχθηκε στους παρακάτω γεωλογικούς χάρτες:

Mercier, J. Carte geologique de Macedoine Centrale, 1:100.000 (1966).

Kockel, F., Mollat, H. & Walher, H., Erlautungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete, 1:100.000 (1977).

Kockel, F., Mollat, H. & Αντωνιάδης, Π., Έκδοση ΙΓΜΕ, φύλλο «Θέρμη, 1:50.000» (1978).

Kockel, F., & Mollat, H. Έκδοση ΙΓΜΕ, φύλλο «Ζαγκλιβέρι, 1:50.000» (1978).

Kockel, F., Mollat, H., Έκδοση ΙΓΜΕ, φύλλο «Σοχός, 1:50.000» (1979).

Kockel, F., Mollat, H., Έκδοση ΙΓΜΕ, φύλλο «Λαχανάς, 1:50.000» (1979).

Για τη στρωματογραφία των Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων, εκτός από τους παραπάνω γεωλογικούς χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση, λήφθηκαν υπόψη και τα δεδομένα των παρακάτω εργασιών:

Stevanovic, P. (1963), Bull. Acad. Serbe. Sci. Arts. XXXII, 9, 73-93.

Gramman & Kockel (1969), Geol. Jarb., 87, 445-484.

Gillet, S. & Faugeres, L. (1970), Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn. 2, XII, 1, 9-24.

Δημόπουλος, Γ. (1972), Fol. Biol. et Bioch. Graeca, 9, 47-60.

Ψιλοβίκος, Α. (1977), Διδακτ. διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1-156.

Σακελλαρίου, Ε. et al. (1979), Επιστ. Επετ. Φυσ. Σχ. ΑΠΘ, 19, 279-296.

Bonis, L. de et al. (1987), Επιστ. Επετ. Φυσ. Σχ. ΑΠΘ, 19, 279-296.

Koufos, G. (1980). Διδακτ. Διατριβή. Επιστ. Επετ. Φυσ. Σχ. ΑΠΘ, παρ. 11, τομ. 19, 1-322.

Koufos, G. & Pavlides, S. (1988), Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, XX/2, 99-109.

Koufos, G. (1989), European Neogene Mammal Chronology, 321-338.

Steffens et al. (1979), Εκδ. Εργ. Γεωλ. Παλαιον. Παν/μίου Αθήνας, Νο 35.

Στη γεωμορφολογική έρευνα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις παρακάτω εργασίες:

Sotiriadis, L. et al. (1972). Sci. Ann. Fac. Phys. & Math. Univ. Thessal., 12, 59-65.

Ψιλοβίκος, Α. (1977). Διδακτ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1-156.

Ψιλοβίκος, Α., et al. (1977). Ann. Geol. Pays Hell., 29, 355-372.

Sotiriadis, L. et al (1979). Sci. Ann. Fac. Phys. & Math. Univ. Thess., 19, 41-55.

Psilovikos, A. & Sotiriadis, L. (1983). Clausthaler Geol. Abd., 44, 21-53.

Στοιχεία που αφορούν τη νεοτεκτονική και τη σεισμοτεκτονική της περιοχής λήφθηκαν και από τις παρακάτω εργασίες:

Ψιλοβίκος, Α. (1977). Διδακτ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1-156.

Papazachos, B. et al. (1979). Tectonophysics, 53, 171-183.

Papazachos, B. et al. (1980). Bulg. Geoph. Journ., 6, 72-80.

Papazachos, B. (1982). Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki Publ. 5.

Fountoulis, D. (1982). These 3eme Cycle, Orsay, France,

Mercier, J. et al. (1983). Techn. Chamb. Gr., 29-76.

Mountrakis, D. et al. Techn. Chamb. Gr., 11-27.

Psilovikos, A. (1984). Tectonophysics, 110, 27-45.

Pavlides, S. & Killias, A. (1987). Annls. Tectonicae 1, 97-104.

Τέλος, τα σεισμολογικά δεδομένα της εργασίας αυτής προέρχονται από τις παρακάτω δημοσιεύσεις:

Comminakis, P. & Papazachos, B. (1986). Catalogue of earthquakes. Θεσ/νίκη.

Hatzfeld, D. et al. (1987). Earth and Plan. Sci. Letters, 81, 379-396.

Hatzidimitriou, P. et al. (1988). Terra Nova, 3, 648-654.

Papazachos, B. et al. (1979). Tectonophysics, 53, 171-183.

Papazachos, B. et al. (1980). Bulg. Geof. Journ., 6, 72-80.

Σκορδύλης, Ε. (1985). Διδακτ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 1-250.

Soufleris, C. et al. (1982). Geoph. J.R. Astr. Soc., 68, 429-458.

Η ερευνητική ομάδα του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης εκφράζει τις ευχαριστίες της προς τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) για την οικονομική στήριξη του προγράμματος, που έδωσε τη δυνατότητα να ολοκληρωθεί η νεοτεκτονική μελέτη του ευαίσθητου χώρου της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης και γενικότερα να πραγματοποιηθεί μια πρωτοποριακή έρευνα σε πανελλαδική κλίμακα.

2. ΑΛΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΑΛΠΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή την οποία καλύπτει ο νεοτεκτονικός χάρτης, φύλλο «Λαγκαδάς», ανήκει από την άποψη της αλπικής - προαλπικής δομής κυρίως στη Σερβομακεδονική μάζα, ενώ ένα μικρότερο τμήμα της (το νοτιοδυτικό) καταλαμβάνεται από σχηματισμούς της Περιοδοπικής ζώνης και της ζώνης Αξιού (υποζώνη Παιονίας).

Η Σερβομακεδονική μάζα είναι γνωστό ότι συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία τοποθετούνται σε δύο μεγάλες σειρές (σχ. 1), την κατώτερη σειρά των Κερδυλλίων, και την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου. Το φύλλο χάρτη «Λαγκαδάς» κατέχεται από πετρώματα μόνο της σειράς Βερτίσκου, που είναι βιοτιτικοί και διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι, οφθαλμογνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων, μεταγάββροι, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες που έχουν προέλθει από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με παλιές τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα. Τα πετρώματα αυτά θεωρούνται γενικά παλαιοζωϊκής ηλικίας, αλλά για τα βασικής προέλευσης πετρώματα πιθανότερη θεωρείται η μεσοζωϊκή ηλικία.

Μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα διεισδύουν σε πολλές περιοχές του φύλλου «Λαγκαδάς» μεγάλα και μικρότερα όξινα πλουτωνικά σώματα μεσοζωϊκής ηλικίας, γρανιτικής κυρίως σύστασης, καθώς και απλιτικές και πηγματιτικές φλέβες.

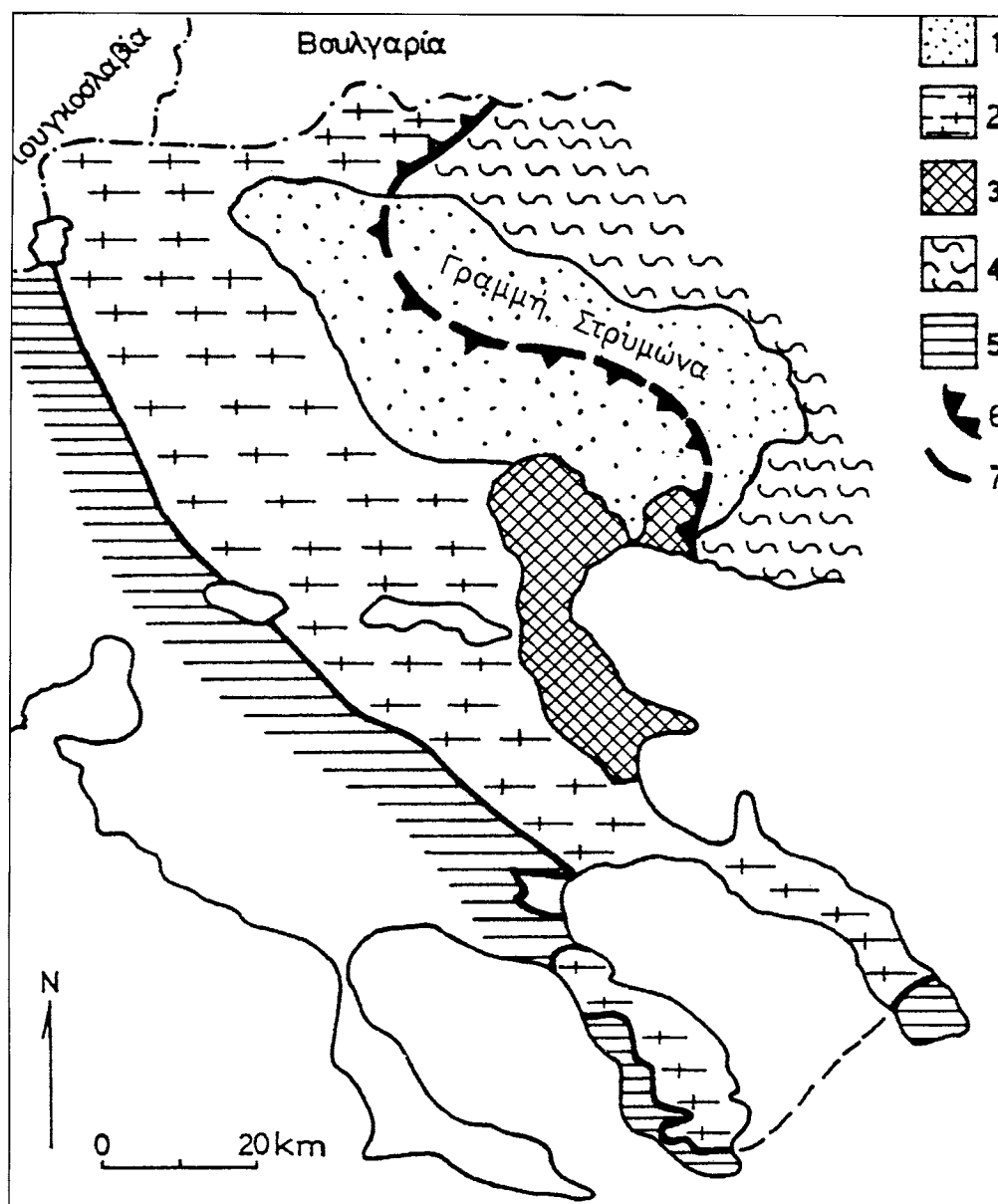
Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής έχουν υποστεί τουλάχιστον δύο μεταμορφώσεις. Μια παλαιοζωϊκής ηλικίας σε συνθήκες αλμανδινικής - αμφιβολιτικής φάσης και μια Κάτω Κρητιδικής ηλικίας σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Στην παρούσα χαρτογράφηση όλα τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας αναφέρονται ενιαία ως μεταμορφωμένα πετρώματα, εκτός από τις ενστρώσεις των μαρμάρων, τα παρεμβαλλόμενα σερπεντινικά σώματα και τα όξινα πλουτωνικά (γρανιτικά) πετρώματα, τα οποία αναφέρονται ξεχωριστά.

Η Περιοδοπική ζώνη που θεωρείται ως η πιο Εσωτερική Ελληνική ζώνη περιλαμβάνει τρεις ενότητες σχηματισμών: (α) Ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά, (β) Ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα και (γ) Ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη (σχ. 2). Οι σχηματισμοί που συγκροτούν τις τρεις ενότητες δείχνονται αναλυτικά στις λιθοστρωματογραφικές στήλες του σχήματος 3 και είναι γενικά ελαφρά μεταμορφωμένα ιζήματα Περιοτριάδικής ηλικίας (κλαστικά ιζήματα, ηφαιστειοϊζηματογενή και ανθρακικά), ημιμεταμορφωμένος φλύσχος και σχιστοκερατολιθική διάπλαση Ιουραϊκής ηλικίας.

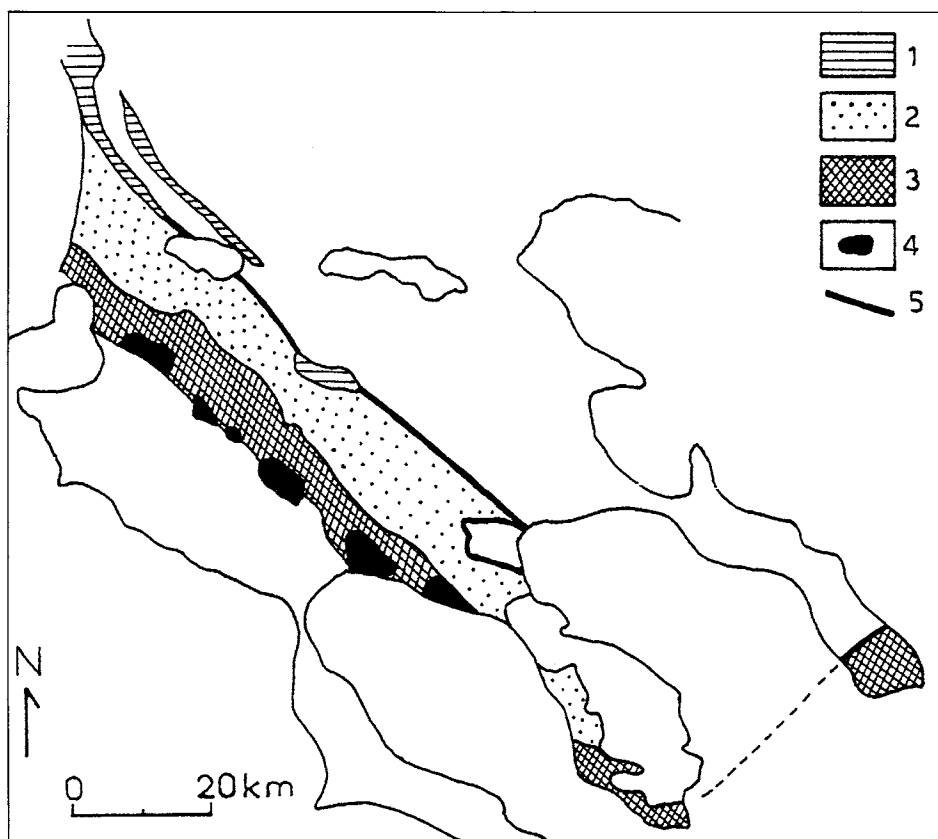
Στην παρούσα χαρτογράφηση οι σχηματισμοί της Περιοδοπικής ζώνης ομαδοποιούνται στις ακόλουθες χαρτογραφικές ενότητες:

1. σχιστοκερατολιθική διάπλαση και ηφαιστειοϊζηματογενή,
2. φυλλίτες - χαλαζίτες μέλη του ημιμεταμορφωμένου φλύσχη,
3. ανθρακικά πετρώματα Μεσοζωϊκού,



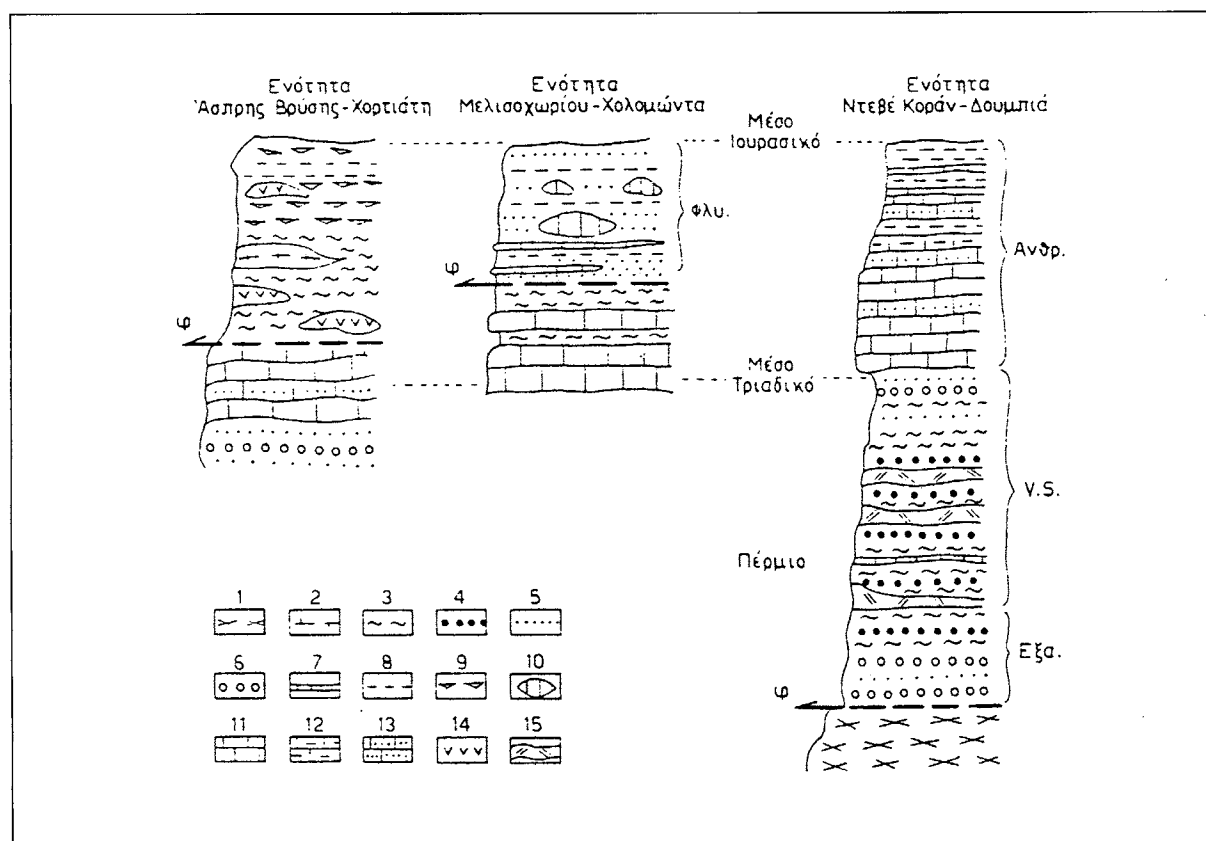
Σχήμα 1. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: μεταλπικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: σειρά του Βερτίσκου, 3: σειρά των Κερδυλλίων, 4: μάζα της Ροδόπης, 5: Περιωδοπική ζώνη, 6: ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμών), 7: δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης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

Fig. 1. Structural sketch - map of the Serbomacedonian massif: 1: post - alpine sediments of the Strymon valley, 2: Vertiskos Unit, 3: Kerdillia Unit, 4: Rhodope massif, 5: Circum Rhodope Belt, 6: eastern boundary of the Serbomacedonian massif (Strymon Line), 7: western boundary of the Serbomacedonian massif (Mountrakis 1985).



Σχήμα 2. Χάρτης της Περιροδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητές της και τις σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις. 1. Ενότητα Ντεβέ - Κοράν - Δουμπιά. 2. Ενότητα Μελισσοχωρίου - Χολομώντα. 3. Ενότητα Άσπρης Βρύσης - Χορτιάτη. 4. οφειόλιθοι. 5. όριο της ζώνης με τη Σερβομακεδονική. (Μουντράκης 1985, τροποποιημένο από Kockel et al 1971, 1977).

Fig. 2. Sketch - map of the Circum Rhodope Belt showing the three units of it and the most significant ophiolitic outcrops. 1: Deve Koran - Doumbia Unit, 2: Melissochori - Cholomontas Unit, 3: Aspri Vrisi - Chortiatis Unit, 4: ophiolites, 5: boundary between the Circum Rhodope belt and the Serbo-Macedonian massif (Mountrakis 1985, modified from Kockel et al. 1971, 1976).



Σχήμα 3. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων της Περιροδοπικής ζώνης. 1: κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, 2: πράσινοι γνεύσιοι της Θεσσαλονίκης, 3: σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4: πυροκλαστικά υλικά, 5: μεταψαμίτες, χαλαζίτες, 6: μετα - κροκαλοπαγή, 7: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8: αργίλλικοί σχιστόλιθοι και μάργες, 9: κερατόλιθοι, 10: ολισθόλιθοι Τριαδικών ασβεστολίθων, 11: ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13: ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14: οφειολιθικά πετρώματα, 15: ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, πορφυροειδή), φ: τεκτονική επαφή, Εξα: σχηματισμός Εξαμιλίου, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ: φλύσχης. (Μουντράκης 1985).

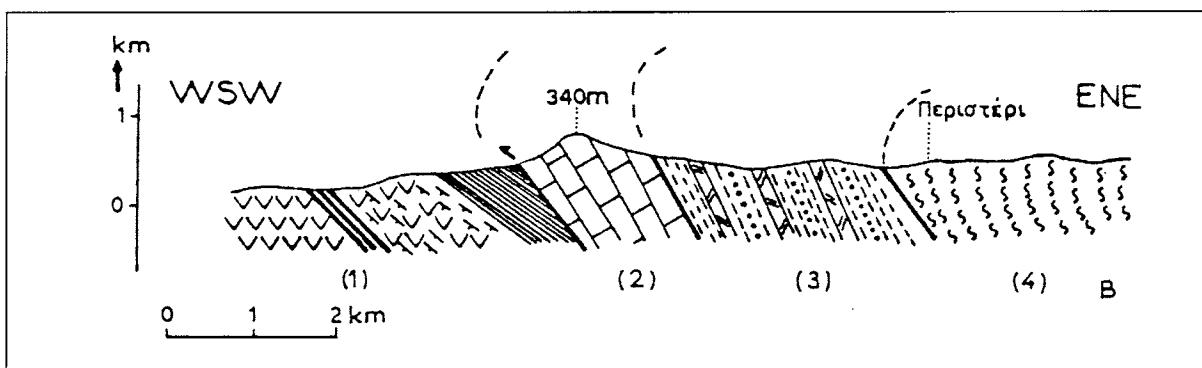
Fig. 3: Lithostratigraphic sections of the three units of the Circum Rhodope Belt. 1: metamorphic rocks of the Serbomacedonian massif, 2: the so called «green gneisses» of the Thessaloniki area, 3: schists and phyllites, 4: pyroclastic rocks, 5: metasandstones, quartzites, 6: meta - conglomerates, 7: calc-schists, 8: slates and marls, 9: radiolarian cherts, 10: olistolites consisting of Triassic limestones, 11: recrystallized limestones, marbles, 12: marly limestones, 13: calcarenites, 14: ophiolitic rocks, 15: volcanic products (schistose rhyolites, porphyroids), φ: tectonic contact, Εξα: Examili Fm, V.S.: volcanisedimentary Fm, Ανθρ.: neritic carbonate rocks, Φλυ: flysch (Mountrakis 1985).

Τέλος στο νοτιοδυτικό άκρο του φύλλου «Λαγκαδάς» υπάρχουν οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες Πανοράματος, Θερμού, κ.λπ. που ανήκουν στη ζώνη Αξιού και συνίστανται από δουνίτες, περιδοίτες, σερπεντινωμένα υπερβασικά, γάββρους, διορίτες, κ.λπ., Μεσοζωϊκής ηλικίας.

Όλα τα παραπάνω πετρώματα της Σερβομακεδονικής, της Περιοδοπικής και της ζώνης Αξιού θεωρούνται στην παρούσα εργασία γενικά ως το αλπικό - προαλπικό υπόβαθρο των Νεογενών και Τεταρογενών αποθέσεων των λεκανών, τα οποία και αποτέλεσαν το κύριο αντικείμενο της στρωματογραφικής διερεύνησης και θα περιγραφούν παρακάτω.

Όλοι οι αλπικοί και προαλπικοί σχηματισμοί της Σερβομακεδονικής, της Περιοδοπικής και της ζώνης Αξιού έχουν υποστεί επανειλημμένες πτυχώσεις που έχουν αποτυπωθεί με ποικίλες μορφές στα πετρώματα. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες εμφανίζονται σήμερα οι δομές που προκλήθηκαν από τις Τριτογενείς (Ηώκαινο - Ολιγόκαινο) παραμορφωτικές φάσεις, και είναι οι συνεχείς λεπιώσεις των στρωμάτων προς τα Δυτικά, οι μεγάλες επωθήσεις - εφιππεύσεις, καθώς και η αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της Σερβομακεδονικής προς την Περιοδοπική και τη ζώνη Αξιού. Στη σχηματική τομή του σχήματος 4 δείχνεται η σημερινή τεκτονική εικόνα της περιοχής του ορίου των ζωνών, στην οποία φαίνεται ότι τα στρώματά τους βρίσκονται αναστραμμένα με τα παλιότερα τεκτονικά τοποθετημένα πάνω στα νεότερα. Αποτέλεσμα της αναστροφής αυτής είναι τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας να εφιππεύουν τα νεότερα Περιμοτριάδικα μεταϊζήματα της Περιοδοπικής. Αποτέλεσμα της ίδιας Ηώκαινικής - Ολιγοκαινικής τεκτονικής παραμόρφωσης είναι και η παρεμβολή του μεγάλου τεκτονικού λεπίου του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής μάζας ανάμεσα στα Περιμοτριάδικα ιζήματα της Περιοδοπικής στο νοτιοδυτικό τμήμα του φύλλου «Λαγκαδάς».

Όλες αυτές οι Τριτογενείς ή και παλιότερες αλπικές τεκτονικές επαφές, εφιππεύσεις, επωθήσεις και λεπιώσεις αναφέρονται στο νεοτεκτονικό χάρτη με το ίδιο ιδιαίτερο σύμβολο των επωθήσεων εφιππεύσεων.



Σχήμα 4. Σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή του δυτικού ορίου της Σερβομακεδονικής. 1: οφειολιθικά πετρώματα προερχόμενα από τη ζώνη Αξιού και ιζήματα βαθιάς θάλασσας, κερατόλιθοι και φλύσχης Ιουρασικού, της Περιοδοπικής, 2: ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού - Ιουρασικού ηπειρωτικού περιθωρίου, 3: μετακλαστική - ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά Περιμίου - Κάτω Τριαδικού, 4: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο Σερβομακεδονικής (Mercier 1968).

Fig. 4. Schematic cross - section of the western boundary of the Serbomacedonian massif. 1: ophiolitic rocks derived from Axios zone and deep - sea sediments, radiolarian cherts and flysch of Jurassic age of Circum Rhodope Belt. 2: Triassic - Jurassic carbonate rocks of the continental margin, 3: metaclastic - metavolcanosedimentary Fm of Permian - early Triassic age, 4: metamorphic basement of the Serbomacedonian massif (Mercier 1968).

3. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ - ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΟΥΣ

Ασύμφωνα πάνω στα πετρώματα του αλπικού - προαλπικού υποβάθρου βρίσκονται οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, κυρίως χερσαίες, που έχουν σημαντική εξάπλωση: (α) στο ΒΑ άκρο του χάρτη, όπου εκτείνεται ένα μικρό τμήμα της μεγάλης, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, λεκάνης του Στρυμώνα (το τμήμα αυτό στην παρούσα εργασία αναφέρεται συμβατικά ως «Λεκάνη Νιγρίτας»), (β) στο κεντρικό τμήμα του χάρτη, όπου αναπτύσσεται το μεγάλο βύθισμα της Μυγδονίας λεκάνης (ή λεκάνης Λαγκαδά - Βόλβης) με ΒΔ-ΝΑ ως Α-Δ διεύθυνση και τέλος (γ) στο ΝΔ άκρο του φύλλου, όπου εκτείνεται ένα τμήμα της μεγάλης, Α-Δ διεύθυνσης, λεκάνης του Ανθεμούντα.

Οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις θα περιγραφούν στη συνέχεια από τις παλιότερες προς τις νεότερες σύμφωνα με την πιο εφικτή αναλυτική διαίρεση που επιτεύχθηκε.

3.1 Νεογενείς αποθέσεις

(1) **Ms-Pl, co-Ig:** (Άνω Μειοκαινικές - Πλειοκαινικές αποθέσεις). Οι αποθέσεις αυτές εμφανίζονται στο ΝΔ τμήμα (λεκάνη Ανθεμούντα), στο κεντρικό τμήμα (λεκάνη Μυγδονίας) καθώς επίσης και στο ΒΑ τμήμα του χάρτη (λεκάνη Νιγρίτας) και είναι είτε χερσοποτάμιες είτε λιμναίες - λιμνοθαλάσσιες.

Στο ΝΔ τμήμα του χάρτη οι Άνω Μειοκαινικές - Πλειοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται στη βάση από ερυθροστρώματα που εμφανίζονται ευρύτατα στην περιοχή του χωριού Θέρμη. Πάνω από τα ερυθροστρώματα ακολουθεί μια σειρά λιμναίων - λιμνοθαλάσσιων αποθέσεων που βρέθηκαν κοντά στο χωριό Τρίλοφος, καθώς και στο Αλλατίνι και που με βάση μια πλούσια πανίδα μαλακίων έχουν χρονολογηθεί στο Πόντιο. Μέσα στα ερυθροστρώματα βρέθηκαν απολιθώματα θηλαστικών με τα είδη *Mastodon sp.*, *Hipparion mediterraneum*, και *Gazella cf. deperdita.*, που δείχνουν Άνω Μειοκαινική ηλικία, ενώ πρέπει να είναι παλαιότερα του Πόντιου. Βάσει αυτών τα ερυθροστρώματα θεωρείται ότι ανήκουν στο Μεότιο (Βαλλέζιο). Παρόμοια ερυθροστρώματα βρέθηκαν στη δυτική πλευρά της Θεσσαλονίκης (Σχηματισμός Νέας Μεσημβρίας), τα οποία βάσει μιας πλούσιας πανίδας θηλαστικών που περιέχουν (βλέπε συνοδευτικό τεύχος φύλλου «Θεσσαλονίκη») χρονολογούνται στο Ανώτερο Βαλλέζιο. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα ερυθροστρώματα της περιοχής του χωριού Θέρμη πιθανότατα ανήκουν στο Σχηματισμό Νέας Μεσημβρίας και έχουν ηλικία Βαλλέζιο (Ανώτερο Μειόκαινο). Πάνω από τις τυπικές λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις Πόντιας ηλικίας ακολουθεί μια σειρά χερσαίων άμμων, κροκαλών, χαλικιών, μέσα στα οποία, στις θέσεις Μεγάλο Έμβολο και Αλλατίνι, βρέθηκαν χαρακτηριστικές πανίδες του Πλειοκαίνου (βλέπε συνοδευτικό τεύχος φύλλου «Θεσσαλονίκη»).

Στη λεκάνη της Μυγδονίας, οι εμφανίσεις του Νεογενούς είναι περιορισμένες. Διαιρούνται σε δύο ομάδες ιζημάτων, την Προμυγδονιακή Ομάδα (Άνω Μειόκαινο - Κάτω Πλειστόκαινο) και την Μυγδονιακή Ομάδα (Μέσο Πλειστόκαινο - Ολόκαινο). Το κατώτερο τμήμα της Προμυγδονιακής ομάδας εμφανίζεται στο χώρο βόρεια του χωριού Χρυσανγή (σχ. 5). Μέσα στο σχηματισμό εναλλαγών αργίλλων - άμμων της περιοχής βρέθηκε ο *Dicerorhinus orientalis*, που δείχνει Άνω Μειοκαινική ηλικία. Στα ανώτερα τμήματα της Προμυγδονιακής ομάδας (Σχηματισμός Γερακαρούς, βλέπε παρακάτω) βρέθηκε μια πανίδα θηλαστικών του Κάτω Πλειστοκαίνου. Με βάση αυτά η Προμυγδονιακή Ομάδα, εκτός από τα ανώτερα τμήματά της, ανήκει στο Νεογενές.

Στη λεκάνη της Νιγρίτας οι Άνω Μειοκαινικές - Πλειοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται στο κατώτερο τμήμα τους από θαλάσσια - λιμνοθαλάσσια ιζήματα γνωστά ως Σχηματισμός Χουμνικού και από ένα ανώτερο τμήμα γνωστό ως Σχηματισμός Τερπνής. Ο Σχηματισμός Χουμνικού αποτελείται από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και αμμούχες μάργες με ενστροφές και παρεμβολές ασβεστοφαμμιτικών υλικών. Μέσα στο Σχηματισμό Χουμνικού έχει προσδιοριστεί μια πανίδα οστρακωδών και ελασματοβοραγχιών με τα είδη: *Cyanotheridea fleybergi*, *Loxoconcha* cf. *tumida*, *Cytheridea* cf. *neapolitana*, *Leptocythere bisaltiana*, *Aurila speyeri*, *Pontoniella acuminata*, *Cyprideis pannonica agrigentina*, *Loxoconcha granifera*, *Tyrrhenocythere pignattii*, *Caspiolla balcanica*, *Elphidium crispum*, *Paradacna abichi*. Η πανίδα αυτή δείχνει ηλικία Κατώτερο Πόντιο.

Ο Σχηματισμός Τερπνής αποτελείται από αποθέσεις χαλικιών, άμμων και ερυθρών αμμούχων αργίλλων σε εναλλαγές, τα οποία κυρίως επικάθονται με ετερογενή ασυμφωνία πάνω στα πετρώματα του υποβάθρου ή κατά θέσεις με γωνιώδη ή διαβρωσιγενή ασυμφωνία πάνω στο Σχηματισμό Χουμνικού.

3.2 Τεταρτογενείς αποθέσεις

3.2.1 Τεταρτογενείς αδιαίτερες αποθέσεις

(1) **Pt-H, sc:** Πλευρικά κορήματα. Αποτελούνται κυρίως από λατύπες και κροκάλες που έχουν προέλθει από την αποσάθρωση των πετρωμάτων του υποβάθρου.

(2) **Pt-H, cs:** Ριπιδιοπαγείς αποθέσεις στις εξόδους των ρεμάτων. Αποτελούνται από διάφορα υλικά προερχόμενα από τα μεταμορφωμένο υπόβαθρο και συνήθως είναι χαλαρά.

3.2.2 Πλειστοκαινικές αποθέσεις

(1) **Pt, co:** Οι Πλειστοκαινικές αδιαίτερες αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από χαλίκια, άμμους, κροκάλες, πηλούς με ή χωρίς αργιλλικό κάλυμμα. Έχουν καστανέρυθρο χρώμα και η μη εύρεση απολιθωμάτων δεν επιτρέπει την ακριβέστερη χρονολόγηση και διαίρεσή τους. Διακρίνονται όμως σε 3 συστήματα αναβαθμίδων:

(i) **Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων:** Αποτελείται από χαλίκια, άμμους, αμμούχους αργίλλους με ή χωρίς αργιλλικό κάλυμμα. Η κορυφή του βρίσκεται 30-40 m πάνω από τη στάθμη των ποταμών.

(ii) **Μεσαίο σύστημα αναβαθμίδων:** Αποτελείται από χαλίκια και άμμους, χωρίς αργιλλικό κάλυμμα και το ψηλότερο σημείο του βρίσκεται 10-15 m πάνω από τη στάθμη των ποταμών.

(iii) **Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων:** Αποτελείται από χαλίκια, πηλούς, αμμούχους αργίλλους. Το ψηλότερο σημείο του βρίσκεται 5-6 m πάνω από τη στάθμη των ποταμών, με ή χωρίς αργιλλικό κάλυμμα.

(2) **Pti, co:** (Κάτω Πλειστοκαινικές αποθέσεις). Οι αποθέσεις αυτές παρουσιάζουν την μεγαλύτερή τους εξάπλωση στη Μυγδόνια λεκάνη και συγκεκριμένα στο νότιο τμήμα της. Αποτελούν τα ανώτερα τμήματα της Προμυγδονιακής Ομάδας και συνίστανται από ερυθροστρώματα μεγάλου πάχους γνωστά ως Σχηματισμός Γερακαρούς. Ο Σχηματισμός Γερακαρούς αποτελείται από χερ-

σοποτάμιες αποθέσεις, που συνίστανται από αργίλλους, άμμους και κροκάλες, χρώματος γκρι - ερυθρού, πάχους μεγαλύτερου των 100 m (σχ. 5, 6). Τα ερυθροστρώματα αυτά αποτελούνται από κροκάλες γνεύσιου ή μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου σε ποσοστό 50-60% και σε μικρότερο ποσοστό από κροκάλες πηγματίτη, χαλαζία και σχιστολίθου. Το συνδετικό τους υλικό είναι άμμος κυρίως χαλαζιακή (70%), αλλά περιέχει επίσης αστρίους και μαρμαρυγίες. Η συνεκτικότητά τους είναι μεγάλη και παρουσιάζονται υπό μορφή πακέτων με διασταυρωτή στρώση.

Κάθε πακέτο παρουσιάζει μια εσωτερική διαβάθμιση του υλικού με ένα στρώμα κροκαλών στη βάση, που ακολουθείται από ένα στρώμα αμμούχου υλικού και τελειώνει με ένα στρώμα αργιλλικού υλικού στην κορυφή. Εκτός από τη λιθολογία, το χρώμα και τη στρώση τους τα ερυθροστρώματα αυτά παρουσιάζουν και χαρακτηριστική διάβρωση. Βρίσκονται σ' ένα στάδιο ταχείας και σε βάθος διάβρωσης σχηματίζοντας βαθιές χαραδρώσεις ή στενές κοιλάδες με απότομα τοιχώματα. Σε ορισμένες θέσεις τα ανώτερα τμήματα των ερυθροστρωμάτων είναι πιο χαλαρά και υπάρχει μια ζώνη μετάβασης προς τις νεότερες αποθέσεις της Μυγδονιακής Ομάδας (σχ. 6). Η ζώνη μετάβασης αυτή βρέθηκε κοντά στο Πλατανοχώρι και αποτέλεσε το Σχηματισμό Πλατανοχωρίου. Αποτελείται από ένα στρώμα κροκαλών και άμμου στη βάση που επικάθεται του Σχηματισμού Γερακαρούς. Ακολουθείται από ένα στρώμα γκριζοπράσινης ιλύος - αργίλλου που στα ανώτερα τμήματά της γίνεται αμμώδης (σχ. 6). Σε άλλες περιοχές η μετάβαση της Προμυγδονιακής Ομάδας προς τη Μυγδονιακή Ομάδα δεν είναι βαθμιαία, αλλά χαρακτηρίζεται από την ασύμφωνη απόθεση της τελευταίας επάνω στο Σχηματισμό Γερακαρούς.

Μέσα στα ανώτερα τμήματα του Σχηματισμού Γερακαρούς και το Σχηματισμό Πλατανοχωρίου βρέθηκαν απολιθώματα θηλαστικών που επιτρέπουν την ακριβή χρονολόγησή τους. Από το Σχηματισμό Γερακαρούς είναι γνωστές δύο απολιθωματοφόρες θέσεις η Κρήμνη-1 (KRI) και η Γερακαρού-1 (GER) με τις εξής πανίδες.

KRI: *Equus stenonis*, *Dicerorhinus etruscus*.

GER: *Canis arnensis*, *Equus stenonis* cf. *senezensis*, *Sus stozzii*, *Croizetoceros ramosus*, *Eucladoceros senezensis senezensis*, *Cervus* cf. *philisi*, *Gazella borbonica*, *Gazellospira* sp.

Με βάση τις παραπάνω πανίδες τα ανώτερα τμήματα του Σχηματισμού Γερακαρούς χρονολογούνται στο Ανώτερο Βιλλαφράγκιο (Κάτω Πλειστόκαινο).

Επίσης μέσα στο Σχηματισμό Πλατανοχωρίου βρέθηκε μια απολιθωματοφόρος θέση θηλαστικών «Χαράδρα Βουλγαράκη» (RVL) *Canis arnensis*, *Equus stenonis* και *Hippopotamus major*, καθώς και μια πλούσια πανίδα μικροθηλαστικών (Rodentia, Insectivora) που μελετάται. Τα παραπάνω είδη δείχνουν μια ηλικία Ανώτερο Βιλλαφράγκιο - Κατώτερο Μπιχάριο.

(3) **Ptm-s, Ik:** (Μέσο - Άνω Πλειστοκαινικές αποθέσεις). Οι αποθέσεις του Μέσου - Άνω Πλειστοκαινού εμφανίζονται μόνο στη λεκάνη της Μυγδονίας, είναι λιμναίες και αποτελούν τμήμα της Μυγδονιακής Ομάδας. Στην Μυγδονιακή Ομάδα διακρίνονται δύο τμήματα, το κατώτερο και το ανώτερο. Το κατώτερο τμήμα αποτελείται από αργιλλικά - αμμώδη ιζήματα που κάθονται ασύμφωνα πάνω στο Σχηματισμό Γερακαρούς (σχ. 7) και αποτελείται από:

α. Ένα κατώτερο στρώμα κροκαλών, πάχους 0,5-2 m που αποτελείται από ανάμειξη κροκαλών μεγέθους 5-40 cm με χονδρόκοκκη άμμο χωρίς καμιά ταξινόμηση ή εσωτερική διάταξη.

- β. Ένα στρώμα διαβαθμισμένης άμμου, πάχους 0,3-1 m, που είναι χονδρόκοκκη και με κροκάλες στη βάση και λεπτόκοκκη στα ανώτερα τμήματα.
- γ. Ένα στρώμα αργιλλικών υλικών πάχους 1-3 m, με παράλληλη στρώση, που αποτελείται από λεπτόκοκκα υλικά και έχει μελανοπράσινο χρώμα.
- δ. Ένα στρώμα λεπτόκοκκης άμμου στην κορυφή, πάχους περίπου 1 m.

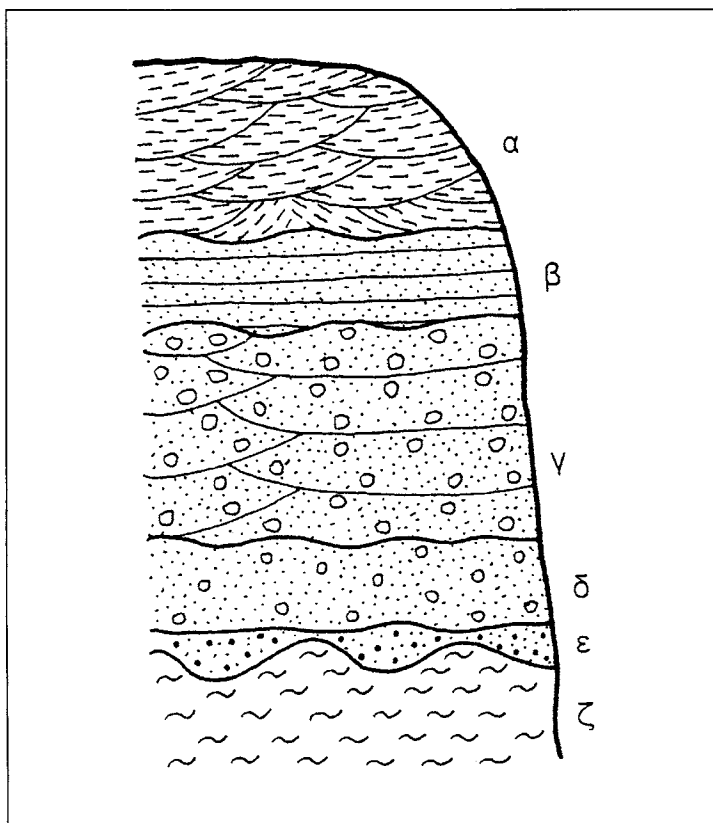
Το ανώτερο τμήμα της Μυγδονιακής ομάδας σχηματίστηκε στη φάση υποχώρησης της Μυγδονίας λίμνης και αποτελείται από: α. στρώματα αργιλλικών υλικών στη βάση, β. εναλλασσόμενα στρώματα αργιλλικών υλικών και άμμου, γ. ένα στρώμα διαβαθμισμένης άμμου, δ. ένα στρώμα παράκτιων κροκαλών και άμμου και ε. ένα στρώμα χημικών ιζημάτων.

Δεν έχουν βρεθεί μέχρι τώρα απολιθώματα μέσα στις αποθέσεις της Μυγδονιακής ομάδας, ώστε να γίνει δυνατή η ακριβής χρονολόγησή τους και ο διαχωρισμός τους. Η έναρξη απόθεσης των ιζημάτων αυτών τοποθετείται στο τέλος του Κάτω Πλειστοκαίνου, οπότε πρέπει να θεωρηθεί νεότερης ηλικίας, ενώ τα χημικά ιζήματα και οι λεπτόκοκκοι άμμοι των ανώτερων τμημάτων της θεωρούνται ότι έχουν Ολοκαινική ηλικία.

3.2.3 Ολοκαινικές αποθέσεις

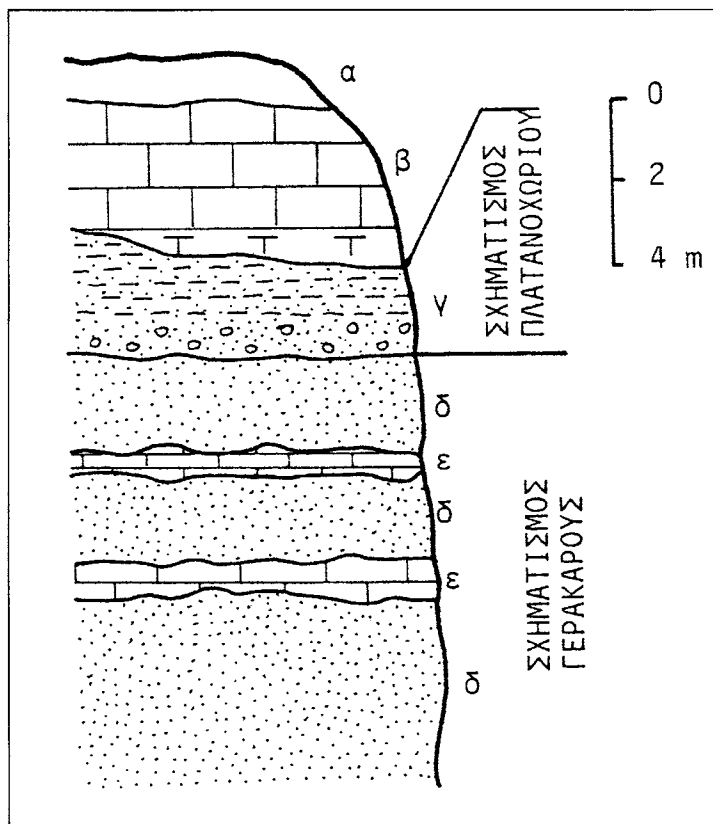
Οι Ολοκαινικές αποθέσεις της περιοχής που εξετάζεται μπορούν να διακριθούν σε ομάδες με βάση κυρίως τα λιθολογικά τους χαρακτηριστικά και την προέλευσή τους.

- (1) **H:** Ολοκαινικές αδιαίρετες αποθέσεις. Περιλαμβάνουν χαλίκια, άμμους, ερυθρές αργίλλους με χαλίκια στη βάση καθώς και παράκτια ιζήματα.
- (2) **H, Ik:** Περιλαμβάνουν αμμούχους αργίλλους, αργίλλους, ιλύες και λεπτόκοκκες άμμους, οι οποίες είναι ουσιαστικά οι αποθέσεις των λιμνών Λαγκαδά, Βόλβης και των αποξηραμένων λιμνών Βρωμολίμνης και Αχινού.
- (3) **H, co:** Προσχώσεις κοιλάδων. Αποτελούνται κυρίως από χαλίκια, άμμους με κροκάλες, αμμούχους αργίλλους και ιλύες με αργιλλικό κάλυμμα κατά θέσεις.
- (4) **H, al:** Αλλουβιακές αποθέσεις. Αμμούχες άργιλλοι, άργιλλοι, άμμοι και χαλίκια με αργιλλικό κάλυμμα κατά θέσεις.



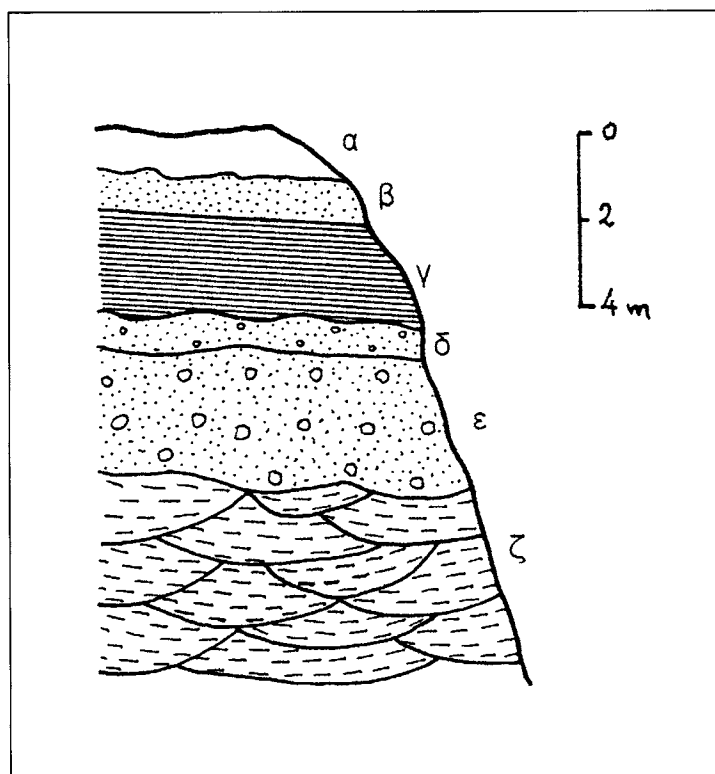
Σχήμα 5: Σχηματική τομή στην περιοχή του χωριού Παλαιά Χρυσανγή (Ψιλοβίκος, 1977). α. Ερυθροστρώματα, β. Αργιλοψαμμίτες με οστά του *Dicerorhinus orientalis*, γ. Ψαμμίτες, δ. Κροκαλοπαγή, ε. Ορίζοντας αποσάθρωσης με ασβεστιτικά συγκρίμματα, ζ. Μεταμορφωμένο υπόβαθρο.

Fig. 5. Schematic section in the area of the village of Palea Chrisavghi (Psilovikos 1977). a. Red beds, b. Clayey sands with bones of *Dicerorhinus orientalis*, c. Sandstones, d. Conglomerates, e. Erosional horizon with calcitic concentrations, f. Metamorphic basement.



Σχήμα 6. Φυσική τομή στη θέση RVL που δείχνει το Σχηματισμό Πλατανοχωρίου (Koufos et al., 1988). α. Έδαφος, β. Μαζώδεις - τοφφώδεις ασβεστόλιθοι με κοιλότητες, ρωγμές ξήρανσης. Η βάση του αποτελείται από αργιλλούχο κονδυλώδη μάργα, γ. Γκριζοπράσινη ιλύς - άργιλος πλούσια σε άμμους και κροκάλες στη βάση της, με απολιθώματα μικροθηλαστικών, δ. Καστανέρυθη μεσο - λεπτόκοκκη άμμος που αντιπροσωπεύει τα ανώτατα τμήματα του Σχηματισμού Γερακαρούς, ε. Ασβεστοψαμμιτικά σώματα με κονδυλώδη επιφάνεια.

Fig. 6. Schematic section in the site RVL showing the Platanochori Fm (Koufos et al. 1988). a. Soil, b. Massive - tuffaceous limestones with ovoids and desiccation cracks. Its lower part consists of nodular clayey marl, c. Green - grey silty clay with a lot of sand and gravels at the base, with microfossils, d. Red brown fine - medium grained sand representing the uppermost parts of the Gerakarou Fm., e. Nodular calcareous sandstone.



Σχήμα 7. Σχηματική τομή με τη Μυγδονιακή ακολουθία στην περιοχή του χειμάρρου Πλατανόρεμα νότια του χωριού Λαγκαδίκια (Ψιλοβίκος, 1977). α. Υλικά διάβρωσης, β. Άμμος κατά στρώσεις, γ. Στρώματα αργίλλων με ελασματοειδή στρώση, δ. Άμμος με σαφή διαβάθμιση, ε. Κροκάλες, άμμοι, ζ. Ερυθροστρώματα (Σχηματισμός Γερακαρούς).

Fig. 7. Schematic section of the Mygdonian Group in the area of torrent Platanorema south of the village of Langadikia (Psilovikos 1977). a. Erosional products, b. Sand, c. Laminated clays, d. Gradual - bedded sand, e. Gravels, Sands, f. Red beds (Gerakarou Fm).

4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

4.1 Γενικά

Ως κύριο γεωμορφολογικό στοιχείο του φύλλου «Λαγκαδάς» θα πρέπει να αναφερθεί η λεκάνη της Μυγδονίας, η οποία αποτελεί το κεντρικό επιμήκες βύθισμα της περιοχής με διεύθυνση Α-Δ έως ΒΔ-ΝΑ, μέσα στην οποία βρίσκονται οι λίμνες Λαγκαδά και Βόλβης. Οι λίμνες αυτές είναι υπολειμματικές μορφές της μεγάλης Πλειστοκαινικής λίμνης της Μυγδονίας. Η Μυγδονία λεκάνη θεωρείται τμήμα ενός ευρύτερου Προμυγδονιακού βυθίσματος, το οποίο περιλαμβάνει και τις γειτονικές λεκάνες Ζαγκλιβερίου και Μαραθούσας. Στο νοτιοδυτικό τμήμα του φύλλου αναπτύσσεται ένα τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα που εκτείνεται δυτικότερα στο φύλλο «Θεσσαλονίκη», και στο βορειοανατολικό τμήμα αναπτύσσεται το μικρό τμήμα της λεκάνης Στρυμόνα.

Θα πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι γεωμορφολογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εντοπίζονται σήμερα στην επιφάνεια πολλών περιοχών του φύλλου «Λαγκαδάς», εκφράζουν κατά κανόνα νεοτεκτονικές διεργασίες. Η μορφή, το σχήμα, η θέση, η έκταση και τα υλικά των σχηματισμών αυτών παρέχουν ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία για τη χρονολόγηση διαρρήξεων, κατακορύφων κινήσεων, τιμών διάβρωσης και απόθεσης και τον εντοπισμό περιοχών έντονης τεκτονικής αστάθειας. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η εξέταση των γεωμορφολογικών σχηματισμών του νεοτεκτονικού χάρτη και ο σχολιασμός ορισμένων στοιχείων κατά περιοχή.

4.2 Επιφάνειες επιπέδωσης

Πρόκειται για σχεδόν επίπεδα ή με μικρή κλίση τμήματα της επιφάνειας της ξηράς τα οποία σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της απογύμνωσης με ευνοϊκές κλιματικές και τεκτονικές συνθήκες. Οι επιφάνειες επιπέδωσης σχηματίστηκαν αρχικά σε μικρό υψόμετρο (100-200 m), είχαν σημαντική έκταση και χαρακτηρές ωριμότητας του αναγλύφου. Στη συνέχεια όμως αυτές τεμαχίστηκαν και τα τεμάχια τους είτε ανυψώθηκαν, στο χώρο των ορεινών όγκων (τεκτονικών κεράτων), είτε βυθίστηκαν, στο χώρο των ταφρολεκανών και καλύφθηκαν από νεότερες ιζηματογενείς αποθέσεις. Επομένως η μελέτη των επιφανειών επιπέδωσης παρέχει σημαντικά στοιχεία για τη νεοτεκτονική δραστηριότητα της περιοχής.

Στο χώρο του φύλλου «Λαγκαδάς», όπου κυριαρχούν οι ορεινοί όγκοι του Βερτίσκου, του Χορτιάτη και των βουνών βόρεια της λίμνης Βόλβης έχει επισημανθεί η παρουσία πολλών τμημάτων μιας επιφάνειας επιπέδωσης σε υψόμετρο 400-600 m. Μεγάλη εξάπλωση έχει η επιφάνεια αυτή στον ευρύτερο λοφώδη χώρο του χωριού Πλατεία, βόρεια του Ζαγκλιβερίου, στο δυτικό τμήμα των βουνών της Βόλβης και στην εξωτερική περιθωριακή ζώνη του Βερτίσκου (Ασκός - Σοχός - Λοφίσκος - Όσσα - Δορκάς - Σεβάστεια - Λαχανάς - Ξυλόπολις - Ευαγγελίστρια).

Η επιφάνεια 400-600 m σχηματίστηκε κατά το Κάτω - Μέσο Μειόκαινο και η σημερινή θέση των τμημάτων της σ' αυτό το υψόμετρο, οφείλεται σε νεότερες ανυψωτικές κινήσεις.

4.3 Εξέλιξη των λεκανών

Ο τεμαχισμός της Μειοκαινικής επιφάνειας επιπέδωσης ήταν αποτέλεσμα της δράσης διαφόρων ρηγμάτων, τα οποία δημιούργησαν ένα μωσαϊκό μεγάλων τεμαχίων στο ώριμο - χαμηλό ανάγλυ-

φο της ευρύτερης περιοχής.

Ορισμένα από τα τεμάχη αυτά ακολούθησαν μια πορεία θετικών κατακόρυφων κινήσεων και αποτέλεσαν τα τεκτονικά εξάρματα (κέρατα) του Βερτίσκου και του Χορτιάτη. Η συνολική ανύψωση των εξαρμάτων αυτών υπολογίζεται με γεωμορφολογικά κριτήρια σε 300-400 m κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές.

Υπήρξαν όμως και τα τεμάχη τα οποία ακολούθησαν μια πορεία αρνητικών κατακόρυφων κινήσεων και απετέλεσαν τα τεκτονικά βυθίσματα, δηλαδή το δάπεδο των ταφρολεκανών και συγκεκριμένα της Προμυγδονιακής λεκάνης και της λεκάνης Στρυμόνα. Τα βυθισμένα αυτά τμήματα έχουν καλυφθεί από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, τα οποία επιτρέπουν τη χρονολόγηση της βύθισης των ταφρολεκανών και τον υπολογισμό των τιμών βύθισης και ιζηματογένεσης σ' αυτές.

Αν και κάθε μία από τις ταφρολεκάνες αυτές ακολούθησε ιδιαίτερη παλαιογεωγραφική εξελικτική πορεία κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές, τα μορφολογικά, ιζηματολογικά και στρωματογραφικά τους στοιχεία επιτρέπουν τη διαπίστωση της δράσης δύο τεκτονικών σταδίων:

(1) Το πρώτο τεκτονικό στάδιο χαρακτηρίζεται από τον αρχικό τεμαχισμό της επιφάνειας επιπέδωσης σε μεγάλα τεμάχη. Τα τεμάχη αυτά άρχιζαν να βυθίζονται κατά το Κάτω - Μέσο Μειόκαινο και να δέχονται ιζηματογενείς αποθέσεις του Μειοκαίνου, του Πλειοκαίνου και του Βιλλαφραγκίου (Προμυγδονιακή Ομάδα). Οι αποθέσεις αυτές ήταν κατά κανόνα ηπειρωτικές. Το συνολικό πάχος των ιζηματογενών αυτών αποθέσεων για τις ταφρολεκάνες Προμυγδονίας και Ανθεμούντα υπολογίζεται σε 350 m. Η βύθιση του πυθμένα των ταφρολεκανών αυτών ήταν κατά 100-200 m μεγαλύτερη των τιμών του συνολικού πάχους των Νεογενών αποθέσεων σ' αυτές.

(2) Το δεύτερο τεκτονικό στάδιο χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία μικρότερων τάφρων. Το στάδιο αυτό αρχίζει προς το τέλος του Βιλλαφράγκιου, όπως προκύπτει από τον τεμαχισμό των Βιλλαφράγκιων ερυθροστρωμάτων της Προμυγδονιακής Ομάδας και εξελίσσεται στο Τεταρτογενές, όπως προκύπτει από την πλήρωση των νέων μικρών τάφρων με Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα Ι τόσο τα υψόμετρα των Τεταρτογενών τάφρων, όσο και η βύθιση αυτών ακολούθησε ιδιαίτερη κατά περίπτωση πορεία. Σε γενικές γραμμές όμως, μπορεί να λεχθεί ότι η βύθιση των τάφρων στο χώρο της ταφρολεκάνης των Σερρών, ήταν 400-600 m κατά το Τεταρτογενές. Αντίθετα στις μικρότερες τάφρους (Ανθεμούντα, Λαγκαδά, Βόλβης, Βρωμολιμνών, Ζαγκλιβερίου, Μαραθούσας, Δουμπιών, Χορτιάτη, Σοχού) η βύθιση κυμάνθηκε μεταξύ 50 m και 160 m κατά το Τεταρτογενές.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται ότι:

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Τιμές βύθισης και ιζηματογένεσης στις Τεταρτογενείς τάφρους της περιοχής των φύλλων Λαγκαδά και Θεσσαλονίκη

TABLE I. Subsidence and sedimentation rates in the Quaternary grabens in the Thessaloniki and Langada neotectonic sheets.

Τάφροι	Μέσο υψόμετρο	Πάχος ιζημάτων	Μέγιστη βύθιση
Δελταϊκά πεδία Αξιού - Θερμαϊκού	2-5m	400-600 m	700 m
Λιμνοτεναγών Σερρών (Κερκίνης - Αχινού)	20-40 m	400-600 m	700 m
Χορτιάτη	500 m	50-70 m	100 m
Βρωμολιμνών	360 m	50-100 m	120 m
Δουμπιών	300 m	50-80 m	100 m
Ζαγκλιβερίου	250 m	70-100 m	130 m
Μαραθούσας	180 m	30-70 m	80 m
Λαγκαδά	120 m	120-160 m	220 m
Βόλβης	60 m	140-180 m	250 m
Ανθεμούντα	50 m	150-200 m	230 m

- Το αθροιστικό σύνολο των κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων (ανυψώσεων και βυθίσεων) της περιοχής κατά το νεοτεκτονικό στάδιο ήταν 800-900 m για τις ταφρολεκάνες Προμυγδονιακή και Ανθεμούντα.
- Η ταχύτητα βύθισης και οι τιμές ιζηματογένεσης των τάφρων κατά το Τεταρτογενές υπολογίζονται σε 5×10^{-2} mm/y έως 6×10^{-1} mm/y. Οι αντίστοιχες τιμές κατά το Νεογενές υπολογίζονται σε 2.3×10^{-2} mm/y έως 2×10^{-1} mm/y. Εφόσον βέβαια θεωρηθεί αυτή σταθερή.
- Επομένως κατά το νεοτεκτονικό στάδιο τόσο η δράση των ρηγμάτων, όσο και η ένταση των κατακορύφων κινήσεων των τεμαχών ήταν μεγάλες για την περιοχή του φύλλου «Λαγκαδά».

4.4. Κύρια μορφοτεκτονικά στοιχεία

Η ρηξιγενής τεκτονική και οι κατακόρυφες μετακινήσεις που έλαβαν χώρα μετά το σχηματισμό της Μειοκαινικής επιφάνειας επιπέδωσης (400-600 m) επέδρασαν αποφασιστικά στο μορφοναγλυφο της περιοχής του φύλλου «Λαγκαδάς».

Τα ρήγματα που σχηματίστηκαν επηρέασαν ιδιαίτερα τη μορφολογία και υδρογραφία της περιοχής. Συγκεκριμένα προκάλεσαν:

1. Την κατά θέσεις απότομη μεταβολή της κλίσης των κλιτύων. Παράδειγμα το μεγάλο ρήγμα Σοχού.

2. Την οριοθέτηση των ταφρολεκανών. Η οριοθέτηση στα βόρεια της λεκάνης Λαγκαδά από το ρήγμα Ασήρου - Ανάληψης και στα νότια από τα ρήγματα Λητής - Λαγυνών - Αγ. Βασιλείου και Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα είναι ένα παράδειγμα όπου φαίνεται ότι τα ρήγματα παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχήμα και τη διεύθυνση των βυθισμάτων, αφού τα οριοθετούν στο σύνολό τους.
3. Τη δημιουργία τεκτονικών αναβαθμίδων στα περιθώρια πολλών βυθισμάτων.
4. Τη χαρακτηριστική μεταβολή στη μορφή των υδρογραφικών δικτύων, όπως η μονόπλευρη ανάπτυξη των κλάδων του δικτύου.
5. Το σχηματισμό κρεμασμένων κοιλάδων κυρίως στις περιπτώσεις που η δράση των ρηγμάτων συνοδεύεται από αναστροφή του αναγλύφου.

5. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

5.1 Νεοτεκτονικό πλαίσιο

Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή του φύλλου «Λαγκαδάς» τοποθετείται στο χώρο των ζωνών Σερβομακεδονικής, Περιροδοπικής και Αξιού. Στο χώρο αυτό έχουν δημιουργηθεί κατά το νεο-κτονικό στάδιο (Νεογενές - Τεταρτογενές) μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες (Μυγδονία, Ζαγκλιβερίου, Μαραθούσας, Ανθεμούντα και Στρυμώνα).

Τα βυθίσματα αυτά πιστεύεται ότι δημιουργήθηκαν από τη δράση ενός έντονου και συνεχούς εφελκυστικού πεδίου από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα, που είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό κατά κανόνα κανονικών ρηγμάτων με μικρή συνήθως συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης (διεύθυνσης ολίσθησης). Τα ρήγματα έχουν κύριες διευθύνσεις Α-Δ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, ενώ παρατηρούνται και ορισμένα στη διεύθυνση Β-Ν. Τα περισσότερα από τα ρήγματα αυτά λειτουργήσαν τουλάχιστον από το Μειόκαινο, ενώ ορισμένα εξακολουθούν αποδεδειγμένα να βρίσκονται σε ενεργό κατάσταση μέχρι σήμερα προκαλώντας μεγάλους και μικρούς σεισμούς και για ορισμένα άλλα υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι λειτουργήσαν στο Τεταρτογενές.

Παρ' όλο ότι το νεοτεκτονικό στάδιο δεν σχετίζεται με την διαίρεση του Ελληνικού χώρου σε γεωλογικές ζώνες, εντούτοις θα πρέπει να σημειωθεί η ιδιαίτερη σεισμοτεκτονική συμπεριφορά της Σερβομακεδονικής μάζας, που είναι η περισσότερη ενεργή σεισμική ζώνη του Βορειοελλαδικού χώρου και των γύρω περιοχών.

Ο ρόλος της Σερβομακεδονικής έχει διερευνηθεί σημαντικά όπως προκύπτει από τις πολλές εργασίες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια από πολλές εργασίες τα τελευταία χρόνια και έχει εξεταστεί η ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά της τόσο σε σχέση με τις συνεχείς παράλληλες Νεογενείς - Τεταρτογενείς τάφρους που έχουν σχηματιστεί στο χώρο της Σερβομακεδονικής κατά γενική διεύθυνση Α-Δ, όσο και σε σχέση με τα δύο της όρια, το ανατολικό της όριο με τη Ροδόπη που αποτελεί τη γνωστή «τεκτονική γραμμή Στρυμώνα» και το δυτικό της όριο με την Περιροδοπική ζώνη που εκτείνεται από τα Ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα μέχρι τη Μυγδονία λεκάνη και το Βόρειο Αιγαίο. Τα δύο αυτά όρια της Σερβομακεδονικής μάζας αποτελούν ίσως τις κύριες γραμμές ευαισθησίας του φλοιού στην περιοχή και καθιστούν τη Σερβομακεδονική μάζα την πλέον ενεργή σεισμοτεκτονική ζώνη.

5.2 Περιγραφή των Ενεργών και Πιθανών Ενεργών Ρηγμάτων

Η πιο εντυπωσιακή ρηξιγενή ζώνη που δεσπόζει στον νεοτεκτονικό χάρτη, φύλλο «Λαγκαδάς», είναι αυτή που δημιουργήσε και οριοθετεί στα νότια ολόκληρο το βύθισμα της Μυγδονίας λεκάνης. Η μεγάλη αυτή ρηξιγενή ζώνη είναι σεισμικά ενεργή και αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα ρηγμάτων: (i) Πιθανό Ενεργό ρήγμα Μελισσοχωρίου, (ii) Ενεργό ρήγμα Λητής - Λαγυνών - Αγ. Βασιλείου, (iii) Σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα, (iv) Ενεργό ρήγμα Λουτρών Βόλβης - Απολλωνίας.

(1) Σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα

Ξεχωρίζεται το τμήμα αυτό της ρηξιγενούς ζώνης και περιγράφεται σαν «Σεισμικό ρήγμα Γερα-

καρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα» γιατί είναι το σημαντικότερο τμήμα ρήγματος της ζώνης αυτής και επομένως της ευρύτερης περιοχής αφού μ' αυτό κυρίως συνδέεται ο μεγάλος σεισμός της Θεσσαλονίκης (20 Ιουνίου 1978, 10:31:07, συντεταγμένες 40.80 N - 23.20 E, $M_s = 6.5$, VIII +, Στίβος).

Η γενική διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος είναι Α-Δ ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται από ΔΒΔ-ΑΝΑ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ, αφού παρουσιάζει τοξοειδή ανάπτυξη, με μετάπτωση προς Βορρά. Επιφανειακά εμφανίζεται με μεγάλη (75° - 85°) γωνία κλίσης προς Βορρά, η οποία όμως μειώνεται συνεχώς με το βάθος λαμβάνοντας ως και την τιμή των 35° , όπως έχει διαπιστωθεί από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών. Για το λόγο αυτό συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για λιστρο-τού τύπου ρήγμα (listric fault).

Το ρήγμα είναι ευδιάκριτο στις δορυφορικές εικόνες και στις αεροφωτογραφίες. Στο ύπαιθρο εντοπίζεται από τις τεκτονικές αναβαθμίδες που δημιουργεί και αντιστοιχούν είτε στο γεωλογικό όριο μεταξύ του υποβάθρου και των νεότερων (Νεογενών και Τεταρτογενών) ιζημάτων της λεκά-νης είτε στο γεωλογικό όριο των Κάτω Πλειστοκαινικών αποθέσεων (Σχηματισμός Γερακαρούς) και των Μέσο - Άνω Πλειστοκαινικών ιζημάτων, όπου στα τελευταία παρατηρούνται επιπλέον δύο κλάδοι ρηγμάτων παρόμοιας γενικά γεωμετρίας με το κύριο ρήγμα.

Οι κατοπτρικές ρηξιγενείς επιφάνειες κατά μήκος του ρήγματος δεν είναι γενικά πολλές γιατί έχουν εξομαλυνθεί από τη διάβρωση των χαλαρών ιζημάτων. Παρακάτω δίνονται ορισμένες αντιπροσωπευτικές μετρήσεις ρηξιγενών επιφανειών με τις αντίστοιχες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 8):

α. 55° - 60° ΒΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 70° ΒΑ, κανονική συνιστώσα κίνησης

β. 74° - 50° ΒΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 73° Δ, κανονική συνιστώσα κίνησης

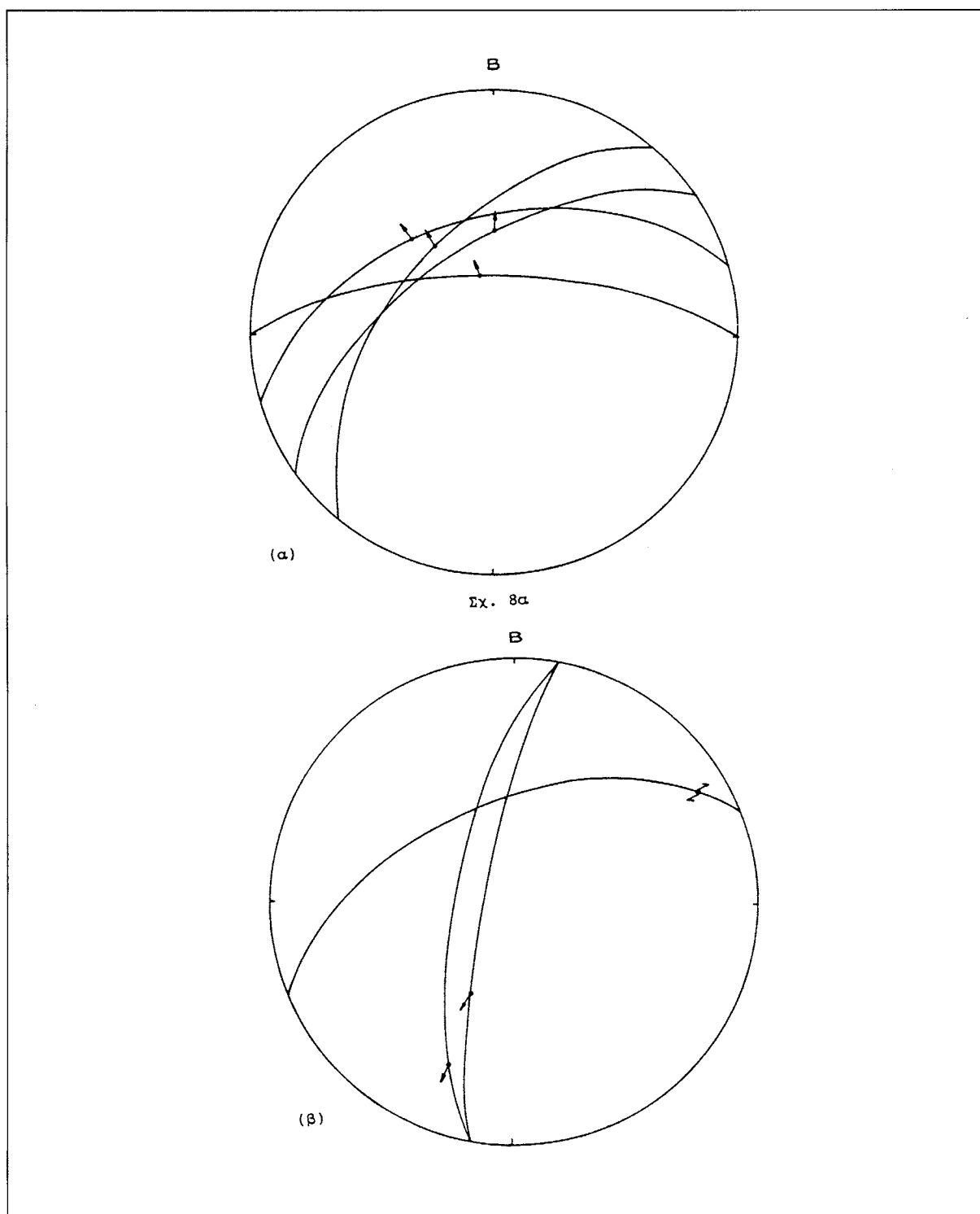
γ. 40° - 55° ΒΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 80° ΒΑ, κανονική συνιστώσα κίνησης

δ. 90° - 70° Β, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 85° Δ, κανονική συνιστώσα κίνησης

Με τη σεισμική δράση του 1978 ($M_s = 6.5$) δημιουργήθηκαν επιφανειακά ίχνη του ρήγματος σε μήκος 15-18 km περίπου. Το μέγιστο επιφανειακό άλμα της νέας διάρρηξης εμφανίσθηκε στα χωριά Γερακαρού (23 cm) και Στίβος (14 cm), ενώ σε πολλές άλλες θέσεις μεταξύ Γερακαρούς - Περιστερώνα το άλμα κυμάνθηκε μεταξύ 5-10 cm. Δημιουργήθηκαν επίσης ανοίγματα 4-10 cm, καθώς και μικρή δεξιόστροφη μετατόπιση (2 cm περίπου) σε ένα σημείο στο χωριό Νικομηδινό.

Εκτός από το μεγάλο σεισμό ($M_s = 6.5$) με το ρήγμα αυτό συνδέεται γενικά ένας πολύ μεγάλος αριθμός μικροσεισμών ($M_s = 2.0 - 4.5$) που φαίνονται στο επίθεμα του χάρτη, το σύνολο των οποίων έχει εστιακά βάθη 8-14 km.

Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος σε όλη τη διάρκεια του Τεταρτογενούς υπολογίζεται με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις σε 250 m.



Σχήμα 8. Στερεογραφικές προβολές (δίκτυο Schmidt, νότιο ημισφαίριο) των ρηγμάτων με τις αντίστοιχες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (βέλη) για τις νέες και σεισμικά ενεργά κινήσεις (α), και τις παλιότερες κινήσεις (β), που μετρήθηκαν κατά μήκος της μεγάλης ρηξιγενούς γραμμής Γερσαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα.

Fig. 8. Equal area, lower - hemisphere projection of the Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona fault segment showing the (a) recent (seismic) and (b) older movements.

(2) Ενεργό ρήγμα Λητής - Λαγυνών - Αγίου Βασιλείου

Πρόκειται για το τμήμα ρήγματος που είναι η συνέχεια προς τα Δυτικά - Βορειοδυτικά του προηγούμενου σεισμικού ρήγματος Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα (1), διά μέσου των χωριών Αγίου Βασιλείου - Λαγυνών - Λητής και σε μήκος που ξεπερνά τα 20 km. Ωστόσο για το τμήμα αυτό δεν έχουμε στοιχεία για συγκεκριμένη σεισμική δράση σε ιστορικούς χρόνους. Το ρήγμα Λητής - Λαγυνών - Αγ. Βασιλείου εμφανίζεται, όπως και το ρήγμα Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα, σαν το γεωλογικό όριο μεταξύ σχηματισμών του υποβάθρου και των Νεογενών - Τεταρτογενών ιζημάτων που πληρώνουν το βύθισμα της Μυγδονίας.

Είναι ευδιάκριτο στις δορυφορικές εικόνες σαν μια ζώνη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης που αποτελείται στο μεγαλύτερο τμήμα της από δύο συνεχείς παράλληλους κλάδους ρηγμάτων με μετάπτωση προς τα ΒΑ, και οι οποίοι αναγνωρίζονται στο ύπαιθρο από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους και τις καλά διαμορφωμένες τεκτονικές αναβαθμίδες και τις τριγωνικές επιφάνειες ρήγματος (triangular facets). Ο κλάδος στα ΝΔ, εντοπίζεται αποκλειστικά μέσα στα πετρώματα του υποβάθρου και οι τριγωνικές επιφάνειες είναι σημαντικά πιο διαβρωμένες από αυτές του, προς τη λεκάνη, κλάδου, οι οποίες παρουσιάζουν πολύ μικρότερη διάβρωση. Ο τελευταίος κλάδος υλοποιεί το όριο ανάμεσα στο υπόβαθρο και τα Νεογενή και Πλειστοκαινικά ιζήματα.

Το ρήγμα χαρακτηρίζεται ενεργό γιατί: (α) οριοθετεί το γνωστό ενεργό βύθισμα της Μυγδονίας στο τμήμα της λίμνης Λαγκαδά, (β) αποτελεί συνέχεια του γνωστού σεισμικού ρήγματος Γερακαρούς - Νικομηδινού - Στίβου - Περιστερώνα (1), (γ) διαμορφώνει άμεσα το σύγχρονο μορφοαναγλυφο, (δ) επηρεάζει τα Μέσο - Άνω Πλειστοκαινικά ιζήματα (δημιουργία αναβαθμίδων) και (ε) συνδέεται άμεσα με πλήθος μικροσεισμών, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο επίθεμα του χάρτη.

Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος στη διάρκεια του Τεταρτογενούς με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις υπολογίζεται σε 220 m.

(3) Ενεργό ρήγμα Λουτρών Βόλβης - Απολλωνίας

Το ρήγμα αυτό αποτελεί την προς τα Ανατολικά συνέχεια του σεισμικού ρήγματος (1) από τον Περιστερώνα προς την Απολλωνία διά μέσου των Λουτρών Βόλβης.

Διαπιστώνεται τόσο στα πετρώματα του υποβάθρου, όσο και στα νέα ιζήματα (Τεταρτογενή), όπου αναγνωρίζεται είτε με μικρές ρηξιγενείς επιφάνειες, είτε με τεκτονικές αναβαθμίδες, είτε από τη γραμμική εμφάνιση χημικών ιζημάτων (τραβερτινών) κυρίως στην περιοχή βόρεια της Νέας Απολλωνίας.

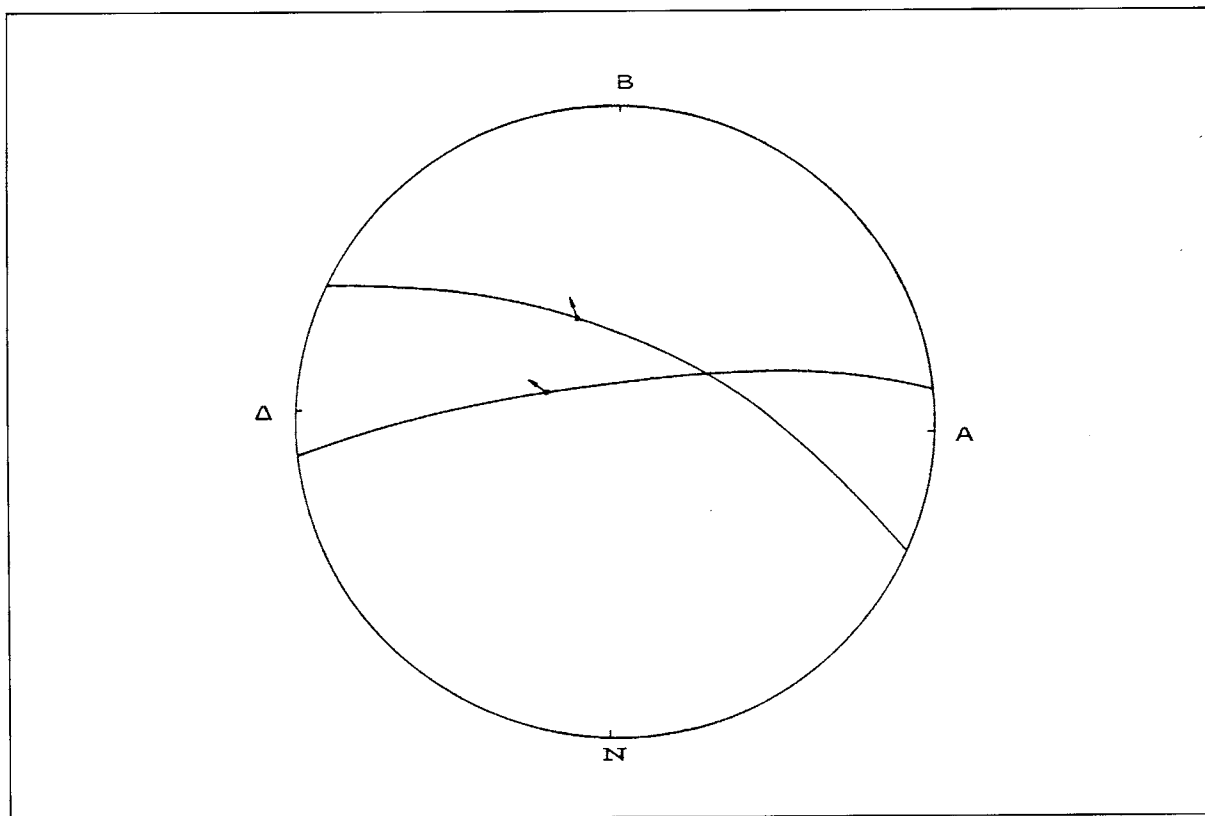
Το ρήγμα έχει μήκος περίπου 10 km, γενική διεύθυνση Α-Δ μέχρι ΔΒΔ-ΑΝΑ και μετάπτωση προς Βορρά. Η κινηματική του εκφράζεται από τις αντιπροσωπευτικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που μετρήθηκαν (Σχ. 9).

α. 110°-50° ΒΒΑ, γράμμωση τεκτονικής ολίσθησης 70° Δ, κανονική συνιστώσα κίνησης

β. 80°-80° ΒΒΔ, γράμμωση τεκτονικής ολίσθησης 72° Δ, κανονική συνιστώσα κίνησης

Η σύνδεση του ρήγματος αυτού με τις θερμές πηγές της Βόλβης διαπιστώνεται από το γεγονός ότι κατά μήκος του ρήγματος και συγκεκριμένα εκεί που διασταυρώνεται με δύο μικρότερα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, εκδηλώνονται θερμές πηγές.

Το συνολικό άλμα του ενεργού ρήγματος Λουτρών Βόλβης - Απολλωνίας στο Τεταρτογενές θεωρείται ότι είναι ανάλογο με το αυτό του ρήγματος (1), του οποίου άλλωστε αποτελεί τη συνέχεια και υπολογίζεται στα 250 m.



Σχήμα 9. Κινηματική του ρήγματος Λουτρών Βόλβης - Απολλωνίας. Δυο αντιπροσωπευτικές επιφάνειες του ρήγματος φαίνονται σε στερεογραφική προβολή (μέγιστος κύκλος), ενώ οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (βέλη) δηλώνουν το είδος της νέας κίνησης που παρατηρείται στο ρήγμα.

Fig. 9. Kinematics of the Loutra Volvis - Apollonia fault segment. In the stereographic projection two slickensides of the fault are shown as great circles, while their striations, indicating the recent movement of the fault are shown with the arrows.

(4) Σεισμικό ρήγμα μεταξύ των λιμνών Βόλβης - Λαγκαδά

Το ρήγμα αυτό αποτελεί ένα κλάδο του συστήματος των σεισμικών ρηγμάτων που έδωσαν επιφανειακά ίχνη διαρρήξεων κατά το σεισμό της 20ής Ιουνίου 1978 ($M_s = 6.5$).

Η επιφανειακή αυτή διάρρηξη του σεισμού είχε συνολικό μήκος 5 km, άρχισε από το χωριό Στίβος και με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ προεκτείνονταν προς τη λίμνη Λαγκαδά διασχίζοντας σχεδόν έγκαιρα την εθνική οδό Θεσσαλονίκης - Καβάλας.

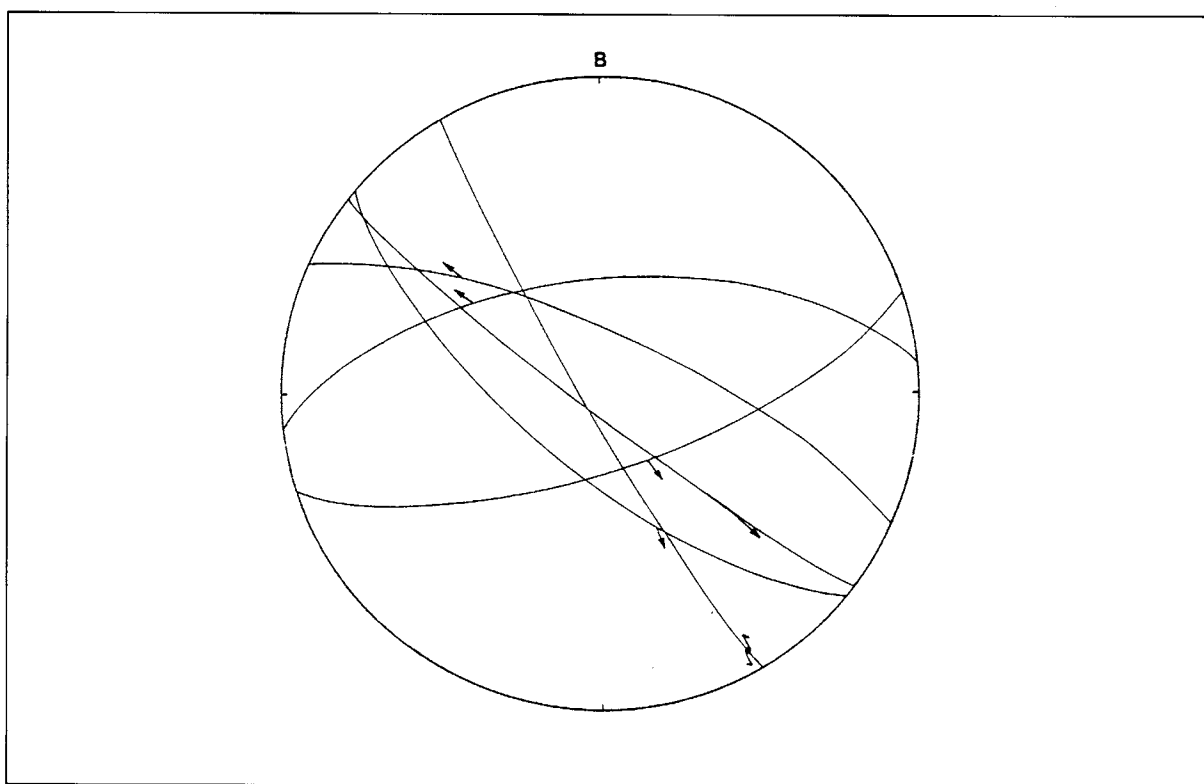
Η ακριβής διεύθυνση του επιφανειακού ίχνους κατά το σεισμό ήταν $N115^\circ$ και η γωνία κλίσης του στην επιφάνεια 73° προς τα ΒΒΑ. Εμφανίστηκε ως κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς τα ΒΒΑ και έκοψε τις πολύ πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις του βυθίσματος στο χώρο μεταξύ των λιμνών. Το άλμα κυμαίνονταν από 2 έως 20 cm και το επιφανειακό άνοιγμα ήταν της τάξης των 15 cm.

Το επιφανειακό ίχνος του ρήγματος δεν είναι ορατό σήμερα και δεν είναι δυνατόν να υπολογισθεί το συνολικό γεωλογικό άλμα του ρήγματος.

(5) Σεισμικό ρήγμα Σχολαρίου

Το ρήγμα αυτό αποτελεί τμήμα ρήγματος της μεγαλύτερης ρηξιγενούς ζώνης Σχολαρίου - Ανάληψης - Ασσήρου, η οποία οριοθετεί τη βορειοανατολική πλευρά του βυθίσματος Λαγκαδά από το χωριό Σχολάρι μέχρι την Άσσηρο. Το τμήμα της ρηξιγενούς αυτής ζώνης που περιγράφεται ως το Σεισμικό ρήγμα Σχολαρίου ενεργοποιήθηκε στο σεισμό της Θεσσαλονίκης $M_s = 6.5$ το 1978 σαν ένας κλάδος του συστήματος ρηγμάτων με επιφανειακά ίχνη ανάμεσα στα χωριά Ευαγγελισμός - Σχολάρι - Στίβος.

Πρόκειται για ρήγμα κανονικό γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (περίπου $N128^\circ$) με μετάπτωση προς τα ΝΔ και σημαντική αριστερόστροφη συνιστώσα, όπως διαπιστώθηκε από την επιφανειακή διάρρηξη του σεισμού των 1978 (Σχ. 10).



Σχήμα 10. Η κινηματική των ρηγμάτων που παρατηρήθηκαν στην περιοχή Σχολαρίου μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978, $M_s = 6.5$). Τα δεδομένα προέρχονται από τους Mercier et al., 1983.

Fig. 10. Kinematics of the faults in the Scholari area after the 1978 Thessaloniki earthquake (modified from Mercier et al. 1983).

Το συνολικό μήκος του σεισμικού ρήγματος, δηλαδή το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης στο σεισμό, υπολογίσθηκε στα 8 km.

Το ρήγμα είναι ορατό στις αεροφωτογραφίες και στο ύπαιθρο ως μια ευθύγραμμη τεκτονική αναβαθμίδα κατά μήκος της λεκάνης Λαγκαδά παρά το χωριό Ευαγγελισμός. Αντίθετα το τμήμα του ρήγματος που διασχίζει το βύθισμα της Μυγδονίας μεταξύ των δύο λιμνών και κατευθύνονται προς το χωριό Στίβος δεν είναι ορατό σήμερα εκτός από μια τεκτονική αναβαθμίδα στο χωριό Σχολάρι.

Με το σεισμό του 1978 το ρήγμα παρουσίασε μέγιστο επιφανειακό άλμα 25 cm, άνοιγμα από 2 έως 16 cm και ορατή αριστερόστροφη μετατόπιση 2-3 cm σε πολλά σημεία, ιδιαίτερα όμως μέσα στο χωριό Σχολάρι.

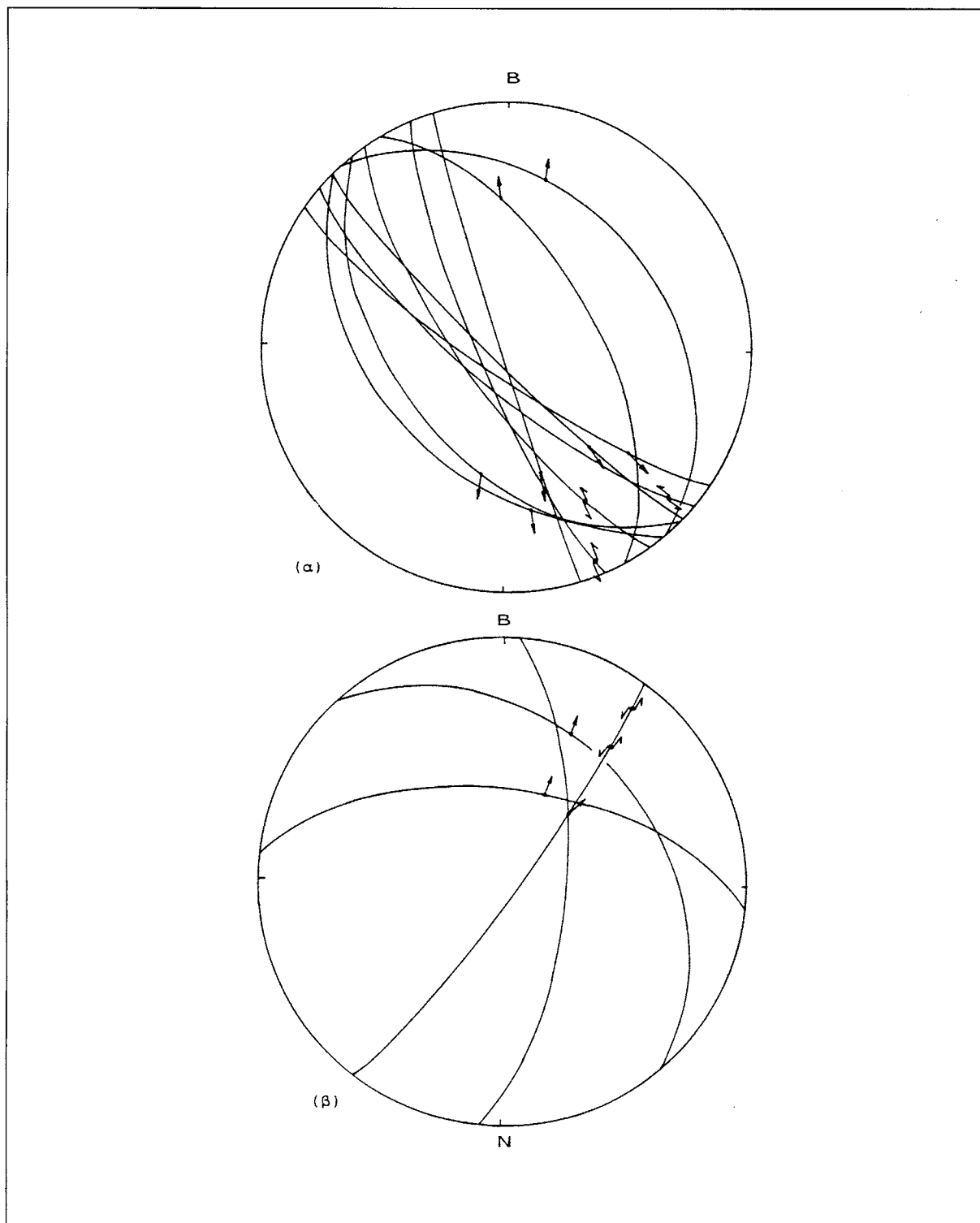
Στοιχεία μέτρησης στο σεισμικό ρήγμα: 128°-85° ΝΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 45° ΝΑ, κανονική, αριστερόστροφη κίνηση. Το ρήγμα εξακολουθεί να παραμένει σεισμικά ενεργό και δίνει πολλούς μικροσεισμούς.

(6) Ενεργό ρήγμα Ασσήρου - Ανάληψης

Το ρήγμα αυτό αποτελεί το τμήμα ρήγματος στη συνέχεια, προς τα Βορειοδυτικά, του σεισμικού ρήγματος Σχολαρίου (5). Πρόκειται για κανονικό ρήγμα που οριοθετεί το βύθισμα του Λαγκαδά στο βορειοανατολικό του τμήμα.

Έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (N130°-150°) και μήκος 20 km. Ωστόσο, για το τμήμα αυτό δεν έχουν στοιχεία για συγκεκριμένη σεισμική δράση σε ιστορικούς χρόνους.

Το ρήγμα είναι ορατό στις δορυφορικές εικόνες και στις αεροφωτογραφίες. Στο ύπαιθρο η ρηξιγενής του επιφάνεια είναι παρατηρήσιμη σε αρκετές θέσεις όπως π.χ. στο Τμήμα Ανάληψης - Ευαγγελισμού. Ανατολικά της Ασσήρου εκτείνεται μέσα στα Τεταρτογενή ιζήματα και σε ορισμένες ρηξιγενείς επιφάνειες μετρήθηκαν γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 11α).



Σχήμα 11. Στερεογραφική προβολή των τεκτονικών επιφανειών και των γραμμώσεων ολίσθησης που μετρήθηκαν κατά μήκος του ρήγματος Ασσήρου - Ανάλιψης (α) νέα ενεργός φάση κίνησης, (β) παλιότερη.

Fig. 11. Lower - hemisphere, equal area projection of the (a) recent and (b) older movement of the Assiros - Analipsi fault segment.

α. 134°-60° ΝΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 48° ΝΑ, πλάγια αριστερόστροφη κίνηση.

β. 140°-55° ΝΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 64° ΝΑ, πλάγια, αριστερόστροφη κίνηση.

γ. 124°-80° ΝΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 35° ΝΑ, πλάγια, αριστερόστροφη κανονική.

Μεταξύ των χωριών Δρακόντιου και Ανάληψης, μελετήθηκε η κινηματική του ρήγματος πάνω σε μικρές κατοπτρικές επιφάνειες, όπου οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης αποτυπώνονταν ακόμη και επί των πολύ πρόσφατων επιφλοιωμάτων των κατοπτρικών επιφανειών (Σχ. 11α).

Επίσης σε Τεταρτογενή κροκαλοπαγή και κοκκινοχώματα μετρήθηκαν μικρές ασυνέχειες παράλληλες ως προς το ρήγμα, π.χ. 130°-76° ΝΔ, 100°-74° ΝΔ.

Χαρακτηρίστηκε ως ενεργό ρήγμα γιατί επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα και αποτελεί τη συνέχεια του γνωστού σεισμικού ρήγματος Σχολαρίου (5).

Επίσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος βρίσκεται μια σειρά επικέντρων μικροσεισμών με μικρό βαθμό συσχέτισης με το ρήγμα (Πιν. II) και το επίκεντρο του μεγάλου σεισμού της Ασσήρου στις 5 Ιουλίου 1902, 14:56:30, 40.80-23.10 Ε, Ms = 6.6 (ένταση IX, MM), το οποίο όμως δεν είναι με ακρίβεια προσδιορισμένο ούτε υπάρχουν περιγραφές ή άλλα στοιχεία για εμφάνιση διαρρήξεων κατά τη σεισμική δράση του 1902.

Για τους λόγους αυτούς δεν τεκμηριώνεται άμεσα η σύνδεση του ρήγματος αυτού με το μεγάλο σεισμό της Ασσήρου.

(7) Ενεργά και Πιθανά Ενεργά ρήγματα Νυμφόπετρας - Μεγάλης Βόλβης

Αποτελείται από μια ομάδα ασυνεχών κανονικών ρηγμάτων, μήκους 2-4 km το καθένα, διεύθυνσης Α-Δ και κλίσης προς Νότο που τοποθετούνται διακεκομένα σε συνολική απόσταση, περίπου 10 km, στη βόρεια πλευρά του βυθίσματος της Βόλβης.

ΠΙΝΑΚΑΣ II μικροσεισμών στην περιοχή Ασσήρου - Ανάλιψης**TABLE II:** Microearthquakes of the Assiros - Analipsi area

	DATE	TIME	φ°N	λ°E	h km	Ms	
10	-Απρ.-	1981	23:45:53.3	40.82	22.86	9.	3.0
4	-Νοε-	1982	16:42:48.9	40.83	22.85	4.	2.4
27	-Δεκ-	1982	08:14:41.3	40.86	22.80	13.	4.3
7	-Απρ-	1983	06:59:42.6	40.82	22.78	7.	2.5
19	-Σεπ-	1983	09:34:04.0	40.82	22.83	1	2.6
22	-Σεπ-	1983	01:04:27.6	40.81	22.83	1.	2.9
12	-Μάη-	1985	05:20:14.1	40.81	22.78	9.	-
13	-Μάη-	1985	15:47:49.6	40.83	22.72	19.	-
13	-Μάη-	1985	15:53:16.6	40.83	22.74	17.	-
16	-Μάη-	1985	03:26:15.9	40.87	22.75	17.	-
16	-Μάη-	1985	05:30:37.4	40.88	22.78	13.	-
16	-Μάη-	1985	09:03:23.7	40.88	22.77	15.	-
16	-Μάη-	1985	09:27:51.9	40.88	22.78	13.	-
17	-Μάη-	1985	07:24:41.2	40.84	22.73	19.	-
17	-Μάη-	1985	09:27:02.6	40.88	22.75	2.	-
18	-Μάη-	1985	03:16:17.6	40.84	22.75	18.	-
20	-Μάη-	1985	13:53:10.0	40.79	22.80	13.	-
24	-Μάη-	1985	14:11:12.6	40.86	22.76	13.	-
24	-Μάη-	1985	15:20:24.6	40.86	22.75	13.	-
27	-Μάη-	1985	13:44:88.3	40.78	22.79	7.	-
31	-Μάη-	1985	02:23:04.8	40.82	22.81	14.	-
28	-Δεκ-	1985	03:04:08	40.86	22.80	13.	2.6

Συνεχείς ρηξιγενείς επιφάνειες δεν είναι ορατές και η ύπαρξη της συγκεκριμένης ρηξιγενούς γραμμής τεκμηριώνεται από σειρά γεωμορφολογικών φαινομένων (αναβαθμίδες, απότομα πρανή, απότομη αλλαγή υδρογραφικού δικτύου, κ.ά.) σε μια περιοχή που το μορφοανάγλυφο είναι γενικά ομαλό.

Επίσης στην περιοχή αυτή εκδηλώνεται ένα μεγάλο πλήθος μικροσεισμών, πολλοί από τους οποίους πρέπει να συνδέονται με την ομάδα αυτών των ρηγμάτων, καθόσον μάλιστα για ορισμένους από τους μικροσεισμούς προκύπτουν λύσεις μηχανισμών γένεσης με διευθύνσεις επιπέδων (κυρίων και βοηθητικών) σε παρόμοια Α-Δ διεύθυνση (βλέπε και σχήμα 15).

Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στο να χαρακτηριστούν ως ενεργά ρήγματα αυτά που αναπτύσσονται στα όρια του βυθίσματος της Μυγδονίας λεκάνης (όριο υποβάθρου - νέων ιζημάτων) και ως

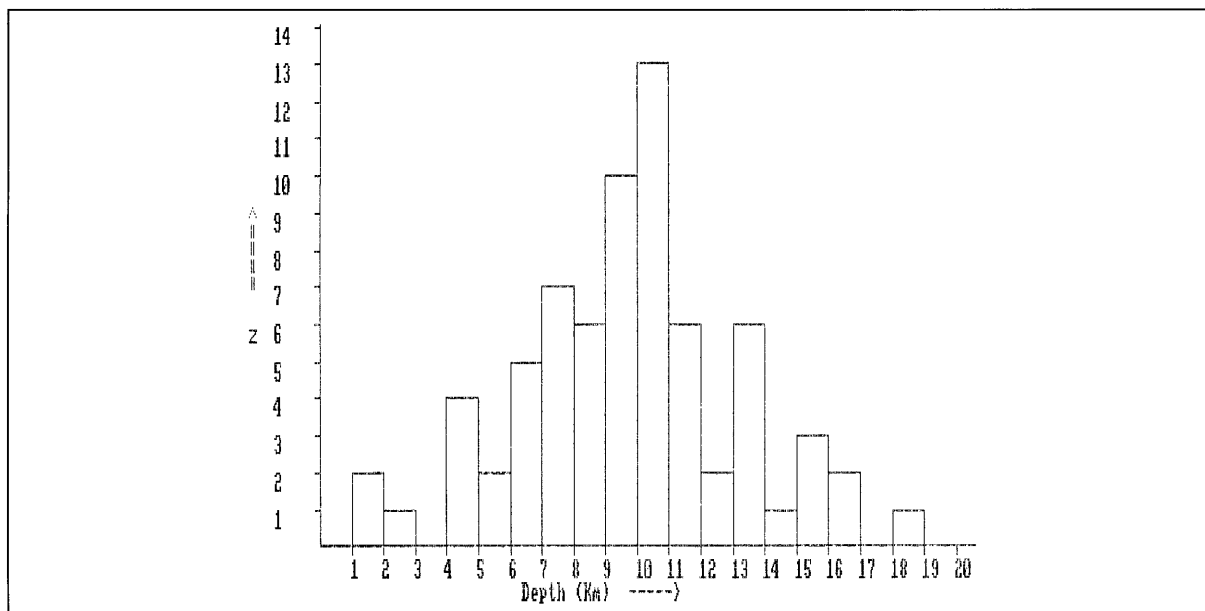
πιθανά ενεργά ρήγματα εκείνα που αναπτύσσονται παράλληλα προς τα προηγούμενα μέσα όμως στους σχηματισμούς του υποβάθρου.

(8) Ενεργό ρήγμα Νέας Απολλωνίας

Αποτελεί μια συνεχή ρηξιγενή γραμμή γενικής διεύθυνσης Α-Δ που διέρχεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου νότια του χωριού Νέας Απολλωνίας. Το δυτικότερο τμήμα του ρήματος εντοπίζεται στα πετρώματα του υποβάθρου με διεύθυνση που κυμαίνεται από ΒΔ-ΝΑ μέχρι Α-Δ και είναι σχεδόν παράλληλο με το περιθωριακό ρήγμα Απολλωνίας, ενώ το υπόλοιπο τμήμα διασχίζει εγκάρσια, με διεύθυνση περίπου Α-Δ την υπολεκάνη Νέας Απολλωνίας - Μαραθούσας.

Το ρήγμα χαρακτηρίστηκε ενεργό για τους ακόλουθους λόγους: (α) είναι σχεδόν παράλληλο με το ενεργό περιθωριακό ρήγμα Απολλωνίας, (β) φαίνεται να καθορίζει σε σημαντικό βαθμό το σύγχρονο μορφοανάγλυφο και ιδιαίτερα το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, (γ) κατά μήκος του εμφανίζονται τραβερτινικές αποθέσεις, (δ) επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα, κυρίως στις θέσεις νότια της Νέας Απολλωνίας και της Κοκαλούς, (ε) βρίσκεται σε μια περιοχή με έντονη μικροσεισμική δράση.

Μια σειρά μικροσεισμών (71) μεταξύ των οποίων και ο σεισμός της 19ης Φεβρουαρίου 1984 03:47:22.1, συντεταγμένες 40.63° N - 23.39° E, $M_s = 5.2$, βάθος $h = 14$ km, συγκεντρώνονται στην ευρύτερη περιοχή του ρήματος κυρίως στο βόρειο τμήμα του και συνδέονται τόσο με το ρήγμα αυτό, όσο πιθανώς και με μια σειρά παράλληλων μικρότερων ρημάτων. Στο ιστόγραμμα του σχήματος 12 φαίνεται η κατανομή των εστιακών βαθμών των σεισμών, οι οποίοι παρουσιάζουν βάθη από 0-20 Km με μέγιστη συχνότητα στα 10 km. Από αυτούς οι πιο επιφανειακοί τουλάχιστον (1-10 km) πρέπει να συνδέονται άμεσα με τα ρήματα της περιοχής που χαρτογραφήθηκαν επιφανειακά.



Σχήμα 12. Ιστόγραμμα όπου φαίνεται η κατανομή των εστιακών βαθμών των μικροσεισμών της περιοχής Νέας Απολλωνίας.

Fig. 12. Focal depth distribution of the microearthquakes of the Nea Apollonia area.

Όσον αφορά την κινηματική του ρήγματος φαίνεται από την αντιπροσωπευτική τιμή: $105^{\circ}-80^{\circ}$ B, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 76° Δ. Γενικά η κινηματική των ρηγμάτων της περιοχής Μαραθούσας - Ν. Απολλωνίας και το ότι το πεδίο των τάσεων της περιοχής είναι εκτατικό φαίνονται στο σχήμα 13.

Από τη συνέχεια των Νεογενών ιζημάτων της υπολεκάνης στην περιοχή ΝΔ της Νέας Απολλωνίας, υπολογίζεται ότι το άλμα του ρήγματος στο Τεταρτογενές είναι της τάξης των 5 m, ενώ στο ανατολικό του άκρο όπου οριοθετεί τα νέα ιζήματα από το υπόβαθρο το άλμα εκτιμάται λίγο μεγαλύτερο.

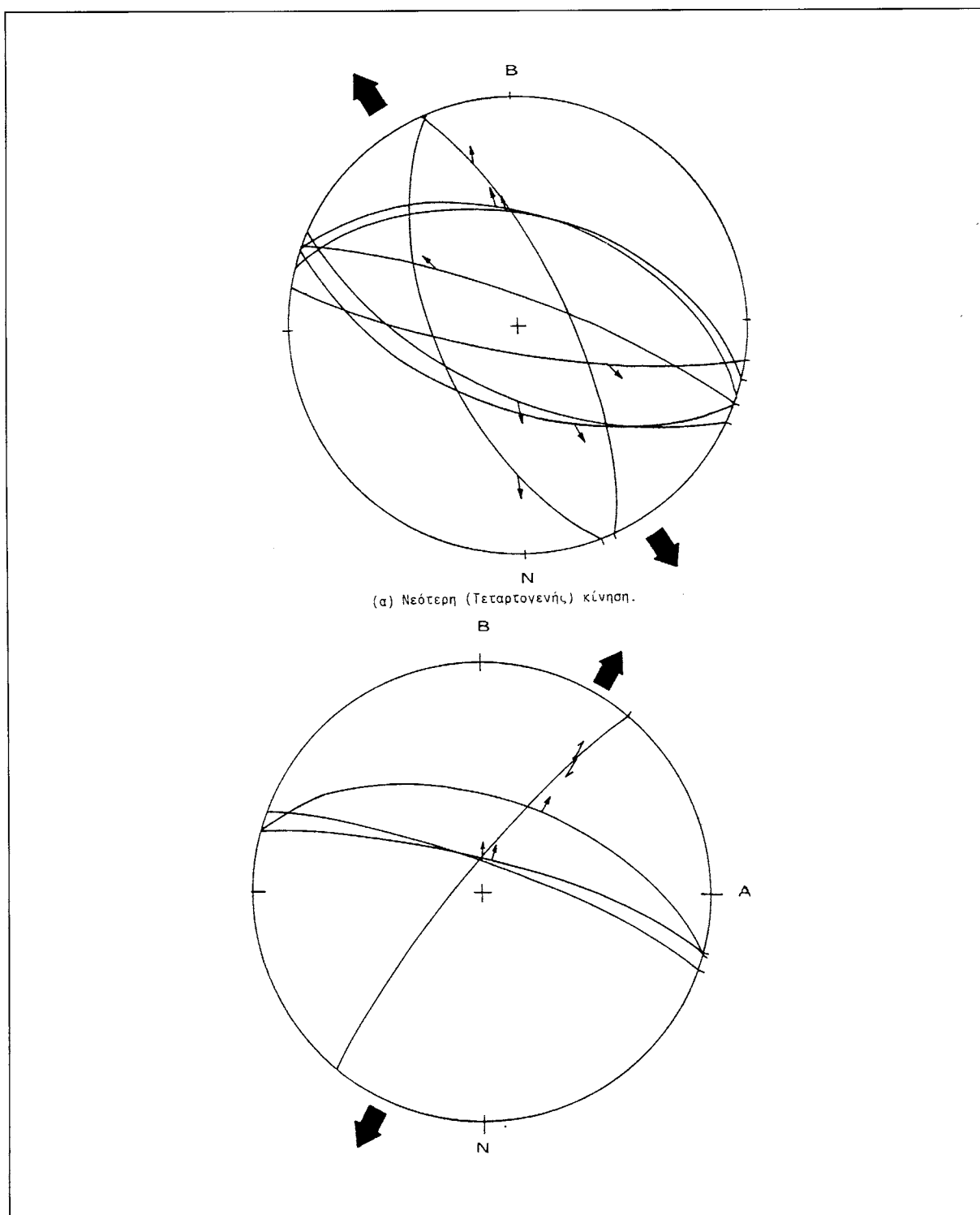
(9) Πιθανό Ενεργό ρήγμα στο υπόβαθρο Νότια της Βόλβης

Είναι κανονικό ρήγμα με διεύθυνση B-N και μετάπτωση προς A, μήκους περίπου 6 km και αναπτύσσεται στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής και στο γρανίτη της Αρναίας που συνιστούν το υπόβαθρο στα υψώματα νότια της λίμνης Βόλβης και δυτικά του χωριού Νέα Απολλωνία.

Εμφανίζει πολύ λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες με στοιχεία: $0^{\circ}-86^{\circ}$ E και φέρει σχεδόν κατακόρυφες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, 85° N. Πρόκειται δηλαδή για σχεδόν κατακόρυφο κανονικό ρήγμα, στο οποίο παρατηρούνται μιας γενεάς γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που αντιστοιχούν σε καθαρή κανονική κίνηση.

Σε πολλές θέσεις, μέσα στον γρανίτη της Αρναίας, η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος καλύπτεται από κατακλαστικό υλικό, ενώ σε ορισμένα σημεία μεταξύ του κατακλαστίτη και της κατοπτρικής επιφάνειας στον πόδα του ρήγματος παρατηρήθηκαν μικρά ανοίγματα (fissures) της τάξης των 1-2 cm.

Για όλους τους παραπάνω λόγους (fissures, πολύ λειασμένη κατοπτρική επιφάνεια, έντονες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης) το ρήγμα χαρακτηρίζεται ως πιθανό ενεργό.



Σχήμα 13. Κινηματική των ρηγμάτων της υπολεκάνης Μαραθούσας - Ν. Απολλωνίας . (α) πρόσφατη (Τεταρτογενής) κίνηση, (β) παλαιότερη προ-Τεταρτογενής κίνηση. Τα μεγάλα μαύρα βέλη έξω από το διάγραμμα δείχνουν τη διεύθυνση της έκτασης

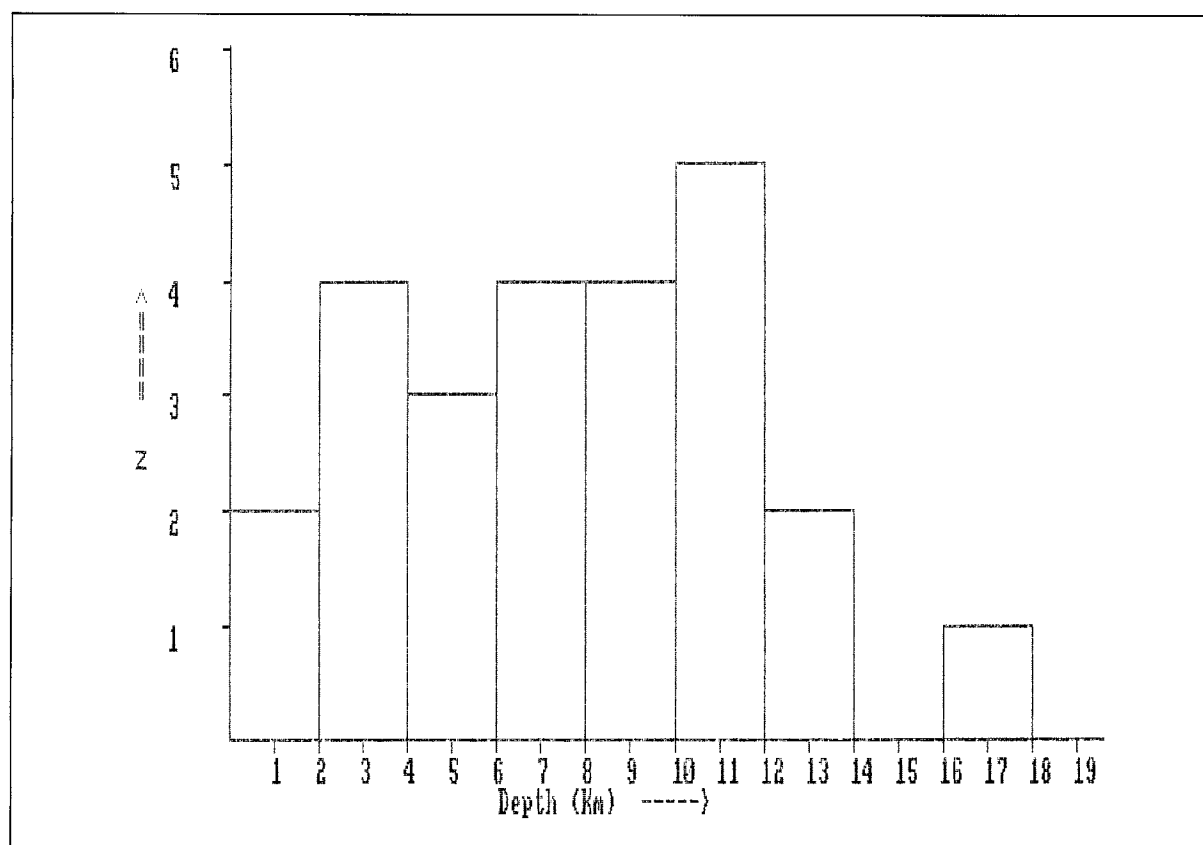
Fig. 13. Fault kinematics of the Marathousa - Nea Apollonia subbasin. (a) recent (Quaternary) movement, (b) older pre - Quaternary movement. The thick solid arrowheads outside the spereoplots represent the inferrent direction of extension.

(10) Πιθανό ενεργό ρήγμα Μαραθούσας

Στο κέντρο της υπολεκάνης της Μαραθούσας, κατά μήκος του Μικρού Ρέματος τεκμηριώνεται η ύπαρξη ενός κανονικού ρήγματος ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και μετάπτωσης προς τα ΝΔ. Ο εντοπισμός του έγινε από τις αεροφωτογραφίες, την ανάπτυξη του ρέματος σε ευθεία γραμμή, τη μονόπλευρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και την παρατηρούμενη κατακόρυφη μετατόπιση οριζόντιων στρωμάτων.

Το ρήγμα αναπτύσσεται αποκλειστικά μέσα στα Κάτω Πλειστοκαινικά ιζήματα και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται σαν πιθανό ενεργό. Επίσης βρίσκεται μέσα σε μια ενεργό υπολεκάνη, στην οποία συγκεντρώνονται πολλοί μικροσεισμοί που παρέχουν σοβαρές ενδείξεις για την ενεργό δράση της περιοχής. Χαρακτηριστική είναι η συγκέντρωση των επικέντρων των μικροσεισμών, όπως φαίνεται στο επίθεμα του χάρτη (σεισμικότητα) και το ιστόγραμμα του σχήματος 14, που αφορά 25 πολύ επιφανειακούς μικροσεισμούς (βάθη 0-12 km) που συνέβησαν στο κεντρικό τμήμα της υπολεκάνης.

Η γεωμετρία των ρηγμάτων της περιοχής δίνεται στα σχήματα 13 και 15, όπου φαίνονται να επικρατούν οι Α-Δ διευθύνσεις, τόσο στις τεκτονικές μετρήσεις υπαίθρου (Σχ. 13) όσο και στους μηχανισμούς γένεσης μικροσεισμών της περιοχής (Σχ. 15).



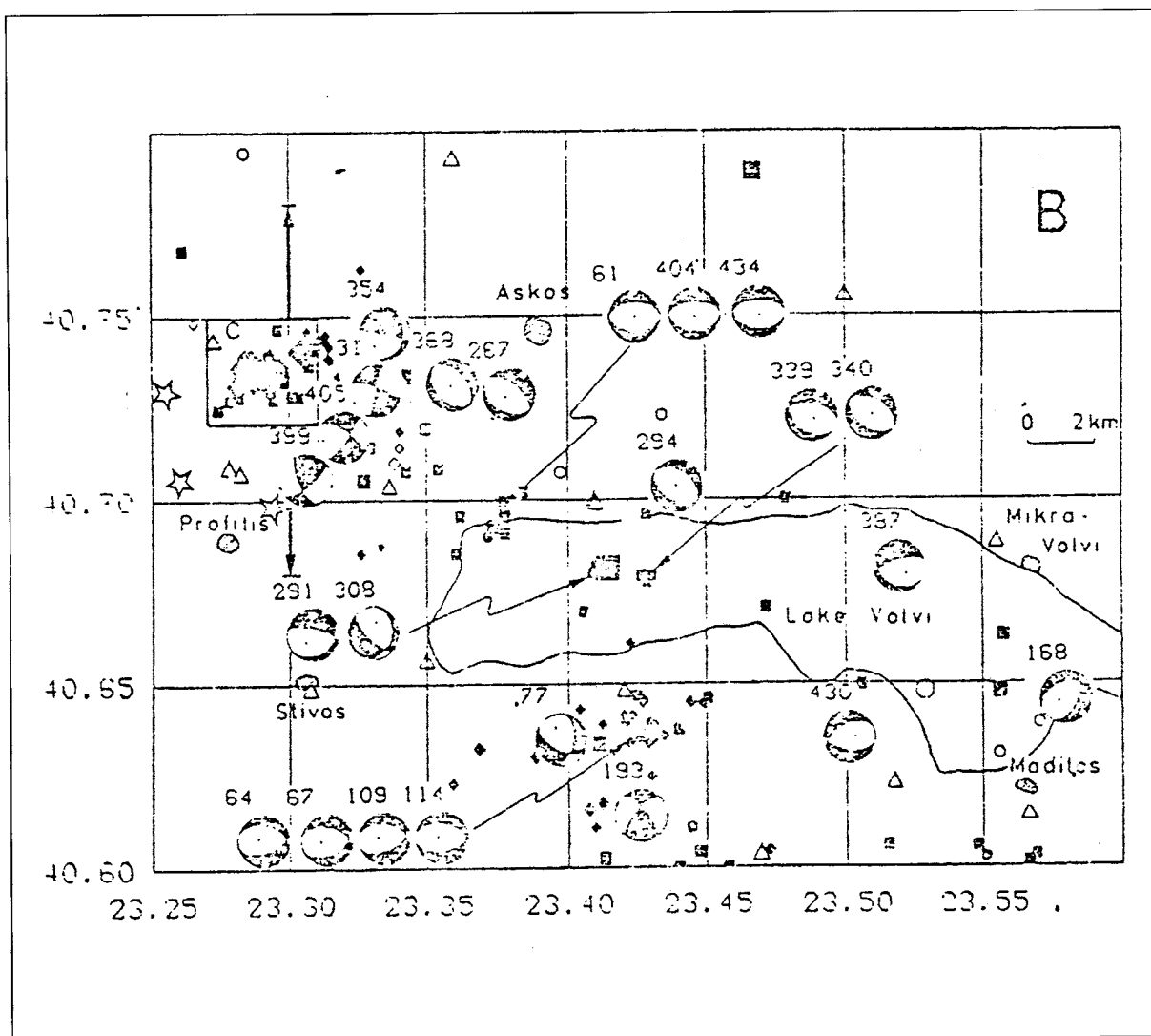
Σχήμα 14. Ιστόγραμμα όπου φαίνονται τα εστιακά βάθη 25 μικροσεισμών της περιοχής Μαραθούσας.

Fig. 14. Focal depth distribution of 25 microearthquakes of the Marathousa area.

(11) Ενεργό ρήγμα Αγγελοχωρίου

Πρόκειται για μικρό ρήγμα, ορατού μήκους 1,7 Km, διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (N30°) και μετάπτωσης προς τα ΒΔ, που εντοπίστηκε στα ερείπια του παλιού χωριού Αγγελοχωρίου, 8 Km Ανατολικά από το Ζαγκλιβέρι.

Το ρήγμα εντοπίζεται στο γνευσιωμένο γρανίτη της περιοχής, αλλά σε μια θέση κοντά στα ερείπια το ρήγμα εμφανίζεται να κόβει τον ελλουβιακό μανδύα αποσάθρωσης του γρανίτη πάχους 1,5 m προκαλώντας ανοιχτή τεκτονική αναβαθμίδα με άλμα 50 cm. Το άνοιγμα στην αναβαθμίδα είναι της τάξης 2-5 cm.



Σχήμα 15. Μηχανισμοί γένεσης μικροσεισμών στην περιοχή της λίμνης Βόλβης, όπου φαίνονται να επικρατούν ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης (61, 291, 404, 434 Νυμφόπετρα, Μ. Βόλβη) και (64, 67, 109, 114, 430 περιοχή Ν. Απολλωνίας).

Fig. 15. Focal mechanisms of the microearthquakes of the Lake Volvi area. The faults with E-W strike dominate the area as shown from the nodal planes of the mechanisms.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο χαρακτηρισμό του ρήγματος ως ενεργού.

(12) Ενεργό ρήγμα Ασβεστοχωρίου

Το ρήγμα τοποθετείται κατά μήκος της κοιλάδας του Ασβεστοχωρίου με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (N120°) και μετάπτωση προς τα ΑΒΑ. Επηρεάζει κυρίως τους φυλλίτες και τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους της ενότητας Σβούλας της Περιοδοπικής ζώνης.

Το ρήγμα διαπιστώνεται κυρίως από τη μορφολογία. Συνεχίζεται όμως στις νέες (Πλειοκαινικές - Τεταρτογενείς) αποθέσεις στα βόρεια προάστια της Θεσσαλονίκης στο φύλλο χάρτη 1:100.000 «Θεσσαλονίκη». Το συνολικό του ορατό μήκος είναι περίπου 10 Km, ενώ στο φύλλο «Λαγκαδάς» εμφανίζεται μόνο το ανατολικό του τμήμα μήκους 6 Km.

Οι υπαίθριες παρατηρήσεις απ' ευθείας επί της ρηξιγενούς του επιφάνειας είναι σχετικά λίγες, και περιορίζονται κυρίως κατά μήκος του ρέματος του Ασβεστοχωρίου και των ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων της περιοχής, γιατί η κοιλάδα παρουσιάζει στο μεγαλύτερο μήκος της ένα ήπιο αλλά και δασυμένο μορφοανάγλυφο. Πρόκειται πάντως για ρήγμα κανονικό με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης.

Υπάρχουν πληροφορίες ότι το ρήγμα αυτό επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το μεγάλο σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 (Ms=6.5) και δημιουργήθηκε σε κάποια θέση του μικρή ρωγμή με άνοιγμα 1-2 cm. Για το λόγο αυτό και για το ότι συνεχίζεται στα νέα ιζήματα στο φύλλο «Θεσσαλονίκη», θεωρείται ενεργό ρήγμα. Θα μπορούσε μάλιστα να συνδεθεί με μια σειρά μικροσεισμών - τα στοιχεία των οποίων δίνονται στον παρακάτω κατάλογο - που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος (Πιν. III).

(13) Πιθανά Ενεργά ρήγματα λεκάνης Ζαγκλιβερίου

Μια σειρά ρηγμάτων με γενική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση οριοθετούν τη λεκάνη του Ζαγκλιβερίου και εκτείνονται μέχρι τη λεκάνη της Μαραθούσας. Είναι παράλληλα προς τα ενεργά ρήγματα της περιοχής, έχουν άμεση σχέση με το σημερινό μορφοανάγλυφο, οριοθετούν πολλές φορές τα πετρώματα του υποβάθρου με τα νέα ιζήματα, συνδέονται με μεταλλικές πηγές (Δουμπιά) και σε μια περίπτωση (χωριό Σανά) επηρεάζουν τα Πλειο - Πλειστοκαινικά ιζήματα. Για τους λόγους αυτούς χαρακτηρίζονται πιθανά ενεργά ρήγματα. Αντιπροσωπευτικές μετρήσεις των ρηγμάτων αυτών φαίνονται στο σχήμα 16.

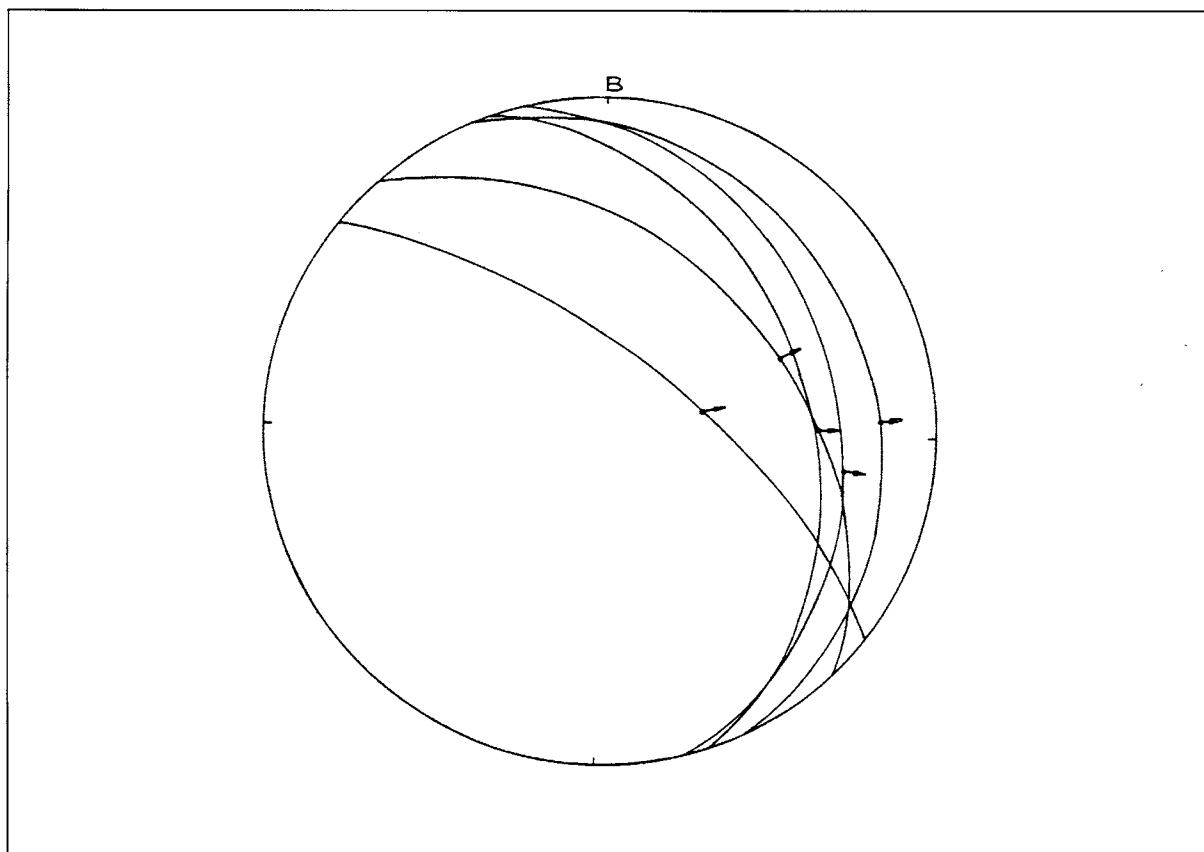
(14) Ενεργό ρήγμα Σοχού

Αποτελεί μια μεγάλου μήκους συνεχή ρηξιγενή γραμμή γενικής διεύθυνσης Α-Δ που διέρχεται από τα χωριά Σοχός - Αυγή - Κρυονέρι - Πέντε Βρύσες και είναι πιθανή η συνέχειά του προς τα ανατολικά στο χωριό Μαυρούδα στη βόρεια πλευρά της Βρωμολίμνης. Το συνολικό του μήκος μαζί με την πιθανή προέκταση προς τη Μαυρούδα δυνατόν να φθάσει τα 40 Km.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ μικροσεισμών της περιοχής Βόρεια της Θεσσαλονίκης

Table III. Microearthquakes of the area north of Thessaloniki.

	DATE		TIME	φ°N	λ°E	h km	Ms
14	-Οκτ.-	1974	09:56:49.	40.64	23.02	3.	4.5
5	-Οκτ.-	1983	09:56:256	40.65	23.01	4.	2.4
19	-Οκτ.-	1983	10:18:04.7	40.64	23.02	11.	3.2
29	-Μαρ.-	1984	15:41:04.2	40.63	23.04	14.	2.3
7	-Απρ.-	1984	09:54:22.4	40.64	23.02	2.	-
10	-Απρ.-	1984	13:56:58.8	40.64	23.05	12.	-
27	-Απρ.-	1984	20:22:11.3	40.72	22.96	1.	3.7
53	-Μάη-	1984	08:04:16.7	40.71	22.95	4.	2.6
22	-Μάη-	1985	23:50:32	40.66	23.07	17.	2.8
14	-Μάη-	1985	15:23:20.8	40.66	23.06	8.	-
17	-Μάη-	1985	09:06:00.2	40.67	22.95	2.	-
18	-Μάη-	1985	13:53:23.6	40.65	23.03	7.	-
22	-Μάη-	1985	18:07:56.9	40.66	23.07	14.	-
24	-Μάη-	1985	10:05:37.0	40.68	22.94	5.	-
27	-Μάη-	1985	09:44:08.8	40.63	23.04	1.	-
28	-Μάη-	1985	10:23:59.9	40.68	22.94	5.	-
29	-Μάη-	1985	09:02:51.7	40.67	22.99	3.	-
29	-Μάη-	1985	10:29:36.7	40.67	22.97	1.	-
30	-Μάη-	1985	08:46:09.4	40.67	22.95	7.	-
5	-Οκτ.-	1985	11:15:52.	40.67	22.97	1.	2.2
16	-Ιουν.-	1986	14:35:17.	40.65	23.06	2.	2.6
11	-Νοε.-	1986	09:57:36.	40.69	23.00	1.	2.6
24	-Νοε.-	1986	17:13:06	40.65	23.00	3.	2.9



Σχήμα 16. Κινηματική των ρηγμάτων της λεκάνης Ζαγκλιβερίου (θέση Δουμπιά)

Fig. 16. Kinematics of the faults exposed in the Zangliveri basin (site of Doumbia)

Η ρηξιγενής γραμμή διακρίνεται εντυπωσιακά στις δορυφορικές (LANDSAT και SPOT) εικόνες σ' ολόκληρο το μήκος της, όσο και σε αεροφωτογραφίες (κλίμακας ~ 1:33.000 και 1:15.000) καθώς επίσης και με υπαίθρια παρατήρηση σε μεγάλο τμήμα του.

Πρόκειται για τυπικό κανονικό ρήγμα με εντυπωσιακή μετάπτωση προς τα Νότια. Το μεγαλύτερό του ορατό άλμα παρατηρείται στην περιοχή των χωριών Σοχού και Αυγής. Το δυτικό τμήμα του ρήγματος, δυτικά του Κρουονερίου, παρουσιάζεται με συνεχώς μειούμενο ορατό άλμα μέχρι σχεδόν οριστικής εξαφάνισής του μεταξύ του χωριού Πέντε Βρύσες και ρέματος Μπογδάνου. Μια περαιτέρω προς τα δυτικά συνέχειά του μέσα (εγκάρσια) στη λεκάνη Λαγκαδά θεωρείται πιθανή χωρίς όμως απόδειξη.

Σε όλο του το μήκος το ρήγμα επηρεάζει τα μεταμορφωμένα και γρανιτικά πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, καθώς και σε ορισμένες θέσεις τα ιζήματα της Προμυγδονιακής Ομάδας (Άνω Μειόκαινο - Κάτω Πλειστόκαινο).

Υπάρχουν γεωμορφολογικά κριτήρια για την τεκμηρίωση της ενεργούς δράσης του ρήγματος του Σοχού, όπως π.χ. η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου κατά μήκος του ρήγματος. Επίσης ένα πρόσφατο τεκτονικό βύθισμα (ημιτάφρος) που εντοπίζεται μεταξύ των χωριών Κρουονέρι και

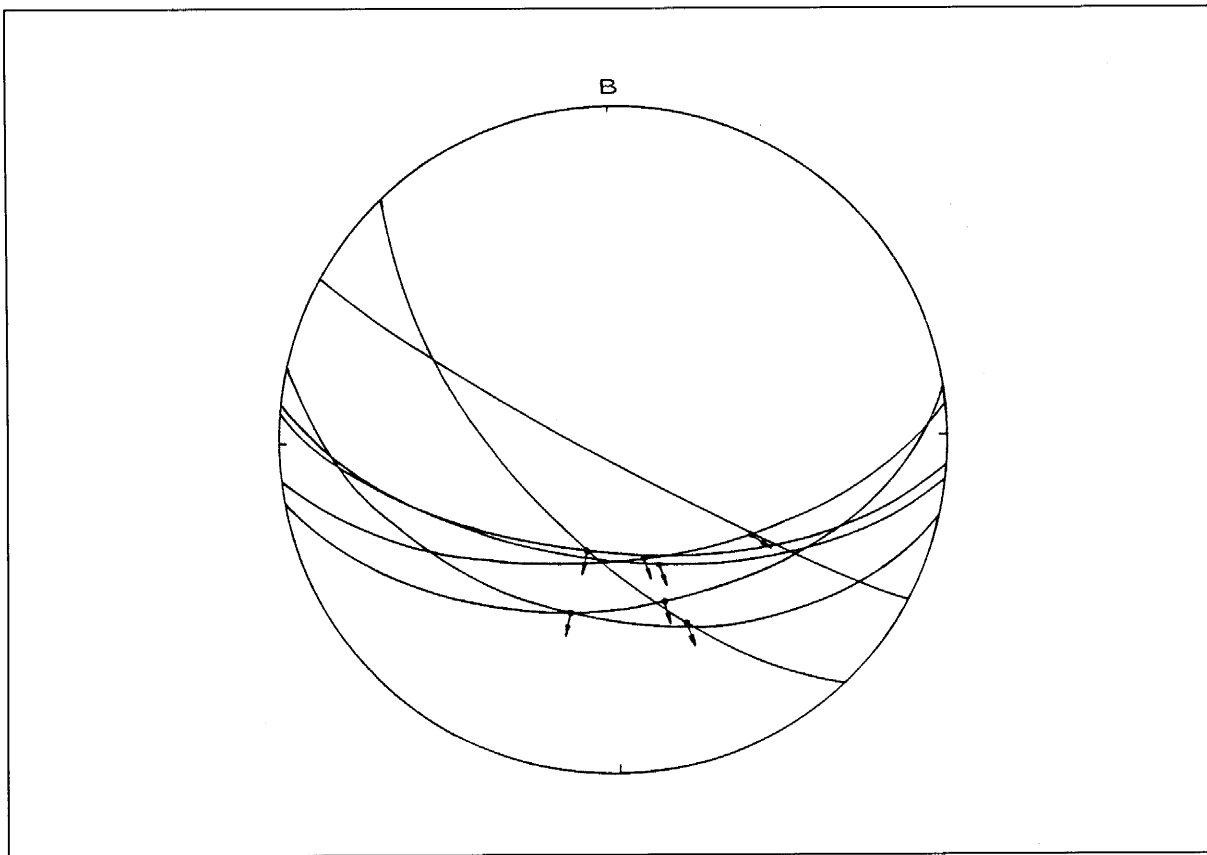
Σοχός είναι το αποτέλεσμα της γεωλογικά πρόσφατης επαναδραστηριοποίησης του ρήγματος αυτού.

Άλλες ενδείξεις για την ενεργό δράση του αποτελούν η απότομη μεταβολή της κλίσης των κλιτύων κατά μήκος του ρήγματος, η ανάπτυξη σύγχρονων πλευρικών κορημάτων, οι έντονα λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες στα χαμηλότερα σημεία του ρήγματος, με τις επίσης έντονες και πολύ ευδιάκριτες τεκτονικές γραμμώσεις ολίσθησης. (Σχ. 17).

Μετρήσεις κατοπτρικών επιφανειών:

α. 85° - 60° N, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 86° A, Κανονική κίνηση.

β. 96° - 62° N, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 86° Δ, Κανονική κίνηση.



Σχήμα 17. Τεκτονικές επιφάνειες (μέγιστοι κύκλοι) και οι αντίστοιχες γραμμώσεις ολίσθησης (βέλη) που μετρήθηκαν κατά μήκος του ρήγματος του Σοχού.

Fig. 17. Kinematics of the Sochos fault.

Η ποσοτική ανάλυση των τεκτονικών μετρήσεων δείχνει προσανατολισμό του ελλειψοειδούς των τάσεων ανάλογο με αυτόν που παρουσιάζουν τα υπόλοιπα ενεργά και σεισμικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή κύρια διεύθυνση εφελκυσμού Β-Ν. Επίσης είναι πολύ πιθανή η σύνδεση του ρήγματος αυτού με το σεισμό του 1932 μεγέθους $M_s = 6.2$ (συντεταγμένες 40.80 N - 23.30 E), ο οποίος είχε μακροσεισμικό επίκεντρο το χωριό του Σοχού (VIII MM). Μια σειρά μικροσεισμών που θα μπορούσαν έμμεσα να συσχετισθούν με το ρήγμα του Σοχού φαίνονται στον κατάλογο που ακολουθεί (Πιν. IV):

Για όλους τους παραπάνω λόγους το ρήγμα χαρακτηρίζεται ενεργό. Το μέγιστο συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος στο Τεταρτογενές με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις στη Βρωμολίμνη και τις τεκτονικές παρατηρήσεις στην περιοχή Σοχού, υπολογίζεται σε 130-150 m.

Πίνακας IV μικροσεισμών της περιοχής Σοχού

Table IV. Microearthquakes of the Sochos area.

	DATE	TIME	φ°N	λ°E	h km	Ms
6	-Απρ.- 1983	04:55:27.1	40.84	22.91	4.	4.2
6	-Απρ.- 1983	05:09:39.1	40.84	22.90	8.	2.6
6	-Απρ.- 1983	07:58:04.2	40.84	22.90	8.	2.5
29	-Απρ.- 1983	13:14:30.1	40.84	22.91	5.	2.6
11	-Αυγ.- 1983	09:41:53.0	40.81	22.93	9.	2.6
23	-Μαρ.- 1984	15:29:30.4	40.84	22.92	13.	2.4
3	-Μάη- 1984	19:56:44.9	40.90	22.89	6.	2.2
5	-Μάη- 1984	17:34:51.7	40.84	22.91	14.	2.1
6	-Σεπ.- 1984	19:30:20.5	40.84	22.89	1.	2.2
9	-Σεπ.- 1984	15:31:19.1	40.83	22.91	10.	2.4
24	-Οκτ.- 1984	15:03:25.9	40.85	22.89	7.	1.6
28	-Ιαν.- 1985	01:50:25.	40.85	22.90	10.	-
13	-Μάη- 1985	04:33:15.8	40.87	22.90	7.	-
15	-Μάη- 1985	14:53:04.6	40.84	22.86	14.	-
15	-Μάη- 1985	14:58:55.6	40.87	22.88	13.	-
15	-Μάη- 1985	17:43:55.1	40.86	22.88	12.	-
15	-Μάη- 1985	21:07:06.1	40.84	22.89	10.	-
17	-Μάη- 1985	08:56:05.2	40.88	22.88	12.	-
17	-Μάη- 1985	10:35:25.1	40.87	22.87	5.	-
21	-Μάη- 1985	17:26:08.4	40.86	22.85	14.	-
25	-Μάη- 1985	03:10:45.3	40.85	22.90	10.	-
25	-Μάη- 1985	10:18:45.1	40.85	22.84	9.	-
6	-Νοε- 1985	19:35:09	40.83	22.92	11.	3.0
21	-Νοε- 1985	21:32:49	40.85	22.92	7.	2.2

(15) Πιθανά ενεργά ρήγματα Νιγρίτας - Τερπνής

Είναι ουσιαστικά μια ομάδα τριών παράλληλων κανονικών ρημάτων γενικής διεύθυνσης Α-Δ που βρίσκονται στο όριο του κρυσταλλοσχιστώδους του ορεινού όγκου του Βερτίσκου και των νέων μεταλλικών ιζημάτων της κοιλάδας του Στρυμώνα. Το ορατό μήκος τους είναι 3-5 km.

Τα τρία ρήγματα εμφανίζονται με κλιμακωτές μεταπτώσεις προς Βορρά σε τρία παράλληλα ρέματα της περιοχής Νιγρίτας και Τερπνής που επηρεάζουν το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τα Μειοκαινικά - Πλειοκαινικά ιζήματα της κοιλάδας και σε ορισμένα σημεία τα Πλειστοκαινικά ιζήματα.

Τα ρήγματα αυτά προκάλεσαν εντυπωσιακή μεταβολή στη μορφή του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής και συγκεκριμένα προκάλεσαν τη μονόπλευρη ανάπτυξή του. Τα ρήγματα ταυτίζονται με τους κλάδους του δικτύου μεγαλύτερης τάξης και μετέτρεψαν την παράλληλη μορφή του δικτύου που υπήρχε προηγούμενα σε κλιμακωτή. Σήμερα το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται μόνο στη νότια πλευρά της λεκάνης απορροής.

Μερικές μετρήσεις στις ρηξιγενείς επιφάνειες των ρημάτων στα πετρώματα του υποβάθρου είναι οι ακόλουθες: α. 70°-56° ΒΒΔ, 90°-70° Β, 120°-45° ΒΒΑ, ενώ στις ρηξιγενείς επιφάνειες μέσα στα Νεογενή ιζήματα: 70°-86° ΒΒΔ.

(16) Πιθανά Ενεργά ρήγματα Παλιάς Χρυσανγής

Πρόκειται για ένα σύστημα μικρών σχετικά κανονικών ρημάτων με διεύθυνση είτε ΒΔ-ΝΑ είτε Α-Δ και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΔ και Ν αντίστοιχα που έχουν χαρτογραφηθεί στα πετρώματα του υποβάθρου και τα Ηωκαινικά - Οιγοκαινικά μολассικά ιζήματα. Ορισμένα από αυτά τα ρήγματα φαίνεται ότι επηρεάζουν το μορφοανάγλυφο της περιοχής και τις Πλειστοκαινικές αποθέσεις. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι είναι παράλληλα είτε προς το ενεργό ρήγμα Ασσήρου - Ανάληψης (6) είτε προς το ενεργό ρήγμα του Σοχού (14) και πιθανά να αποτελούν παράλληλους κλάδους αυτών των ρημάτων.

Οι ρηξιγενείς επιφάνειες που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο είναι ρηξιγενείς επιφάνειες χωρίς γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, π.χ. (α) 120°-75° ΝΔ, (β) 130°-58° ΝΔ, (γ) 150°-85° ΝΔ και ρηξιγενείς επιφάνειες που φέρουν γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, π.χ.:

(α) 160°-55° Δ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 78° Ν, Κανονική κίνηση.

(β) 146°-32° ΝΔ, γραμμωση τεκτονικής ολίσθησης 85° ΒΔ, Κανονική κίνηση.

Παρ' όλο που κατά κανόνα τοποθετούνται στα πετρώματα του υποβάθρου, εντούτοις θεωρούνται πιθανά ενεργά ρήγματα, γιατί όπως προαναφέραμε πιθανά να αποτελούν παράλληλους κλάδους των παραπάνω ενεργών ρημάτων (6) και (14), αλλά και γιατί παρουσιάζονται να διαμορφώνουν το γενικότερο μορφοανάγλυφο σχηματίζοντας απότομα ρηξιγενή πρηνή, πολλές φορές σε κλιμακωτή διάταξη.

(17) Σύστημα ρημάτων Ξυλόπολης - Νικόπολης

Πρόκειται για μια ομάδα κανονικών ρημάτων ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης που εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα του χάρτη και γενικά ακολουθούν τον οδικό άξονα της Εθνικής οδού Θεσσαλονίκης - Σερρών στο τμήμα μεταξύ Εξαμιλίου - Δορκάδας - Νικόπολης - Ξυλόπολης - Λαχανά.

Τα ρήγματα αυτά επηρεάζουν αποκλειστικά τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας και τα γρανιτικά σώματα και επομένως δεν υπάρχουν τεκτονικά στοιχεία που να τεκ-

μηριώνουν την ενεργό ή όχι δράση τους, γι' αυτό άλλωστε το λόγο δεν σχεδιάστηκαν στο χάρτη ως ενεργά ή πιθανά ενεργά. Εν τούτοις τα ρήγματα αυτά φαίνεται να καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το γενικότερο μορφοανάγλυφο της περιοχής και με τις αντιθετικές τους μεταπτώσεις (άλλα προς τα ΒΔ και άλλα προς τα ΝΑ) δημιουργούν ένα επιμήκες τεκτονικό βύθισμα κατά μήκος του άξονα της Εθνικής οδού γενικής διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ (N70°) και συνολικού μήκους 23 Km, το οποίο έχει ανάλογη μορφολογική εικόνα με τα ενεργά βυθίσματα που εμφανίζονται στο χώρο της Σερβομακεδονικής μάζας. Σε ορισμένες μάλιστα θέσεις του βυθίσματος τα ρήγματα συνδέονται με την απόθεση πρόσφατων ιζημάτων (π.χ. περιοχή Ξυλόπολης).

Παρ' όλο που δεν υπάρχουν αποδεικτικά στοιχεία για να χαρακτηριστούν ως ενεργά ρήγματα και δεν καταγράφηκαν μικροσεισμικές ακολουθίες τα τελευταία χρόνια κατά μήκος των ρηγμάτων αυτών στην περιοχή Ξυλόπολης - Νικόπολης βρίσκεται ακριβώς στη συνέχεια της μεγάλης φωτογράμμωσης που παρατηρείται μεταξύ των χωριών Νέα Φιλαδέλφεια - Νέα Σάντα κατά μήκος της κοίτης του Γαλλικού ποταμού και περιγράφεται στο φύλλο νεοτεκτονικού χάρτη «Θεσσαλονίκη». Κατά μήκος της γραμμής αυτής, όπως αναφέρεται στο επεξηγηματικό τεύχος του φύλλου «Θεσσαλονίκη» έχει καταγραφεί πρόσφατη σεισμική δράση με σεισμούς μικρού μεγέθους.

6. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

6.1 Σεισμική δράση της ευρύτερης περιοχής κατά τον παρόντα αιώνα

Η υψηλή σεισμική δράση της Σερβομακεδονικής μάζας συνδέεται άμεσα με το σύνολο των τεκτονικών βυθισμάτων της (π.χ. Μυγδονία λεκάνη) που σχηματίστηκαν από την εφελκυστική φάση του Νεογενούς - Τεταρτογενούς, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

Στο χάρτη του σχήματος 18 είναι σημειωμένα τα επίκεντρα όλων των σεισμών με $M_s = 5.4$ που έγιναν κατά τον παρόντα αιώνα στην ευρύτερη περιοχή του βορειοελλαδικού χώρου. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, η κύρια σεισμική δράση εντοπίζεται στην περιοχή της Σερβομακεδονικής μάζας με μια αξιοσημείωτη συγκέντρωση στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Οι δύο μεγαλύτεροι σεισμοί της περιοχής κατά τον παρόντα αιώνα ήταν επιφανειακοί και έγιναν ο μιν πρώτος την 4η Απριλίου του 1904 στην περιοχή της Kresna (ΝΔ Βουλγαρία) και είχε μέγεθος $M_s = 7.6$, ο δεύτερος στις 8 Νοεμβρίου του 1905 στην περιοχή Αγίου Όρους με μέγεθος $M_s = 7.4$.

Η κύρια σεισμική δράση της Σερβομακεδονικής μάζας κατά τον παρόντα αιώνα μπορεί να διακριθεί σε τρεις διαφορετικές περιόδους. Η πρώτη περίοδος ξεκίνησε την 5η Ιουλίου του 1902 από την περιοχή Ασσήρου με ένα σεισμό μεγέθους $M_s = 6.6$. Η δράση συνεχίστηκε προς βορρά τα 1903 και 1904 με τους σεισμούς που έγιναν στην περιοχή Kresna και είχαν μεγέθη μέχρι $M_s = 7.6$. Η περίοδος αυτή ολοκληρώθηκε το 1905 με το σεισμό μεγέθους $M_s = 7.4$ που έγινε στην περιοχή του Αγίου Όρους.

Η δεύτερη σεισμική περίοδος άρχισε στις 27 και 28 Μαρτίου του 1931 από την περιοχή Valandovo της Ν. Γιουγκοσλαβίας με δύο σεισμούς με μεγέθη $M_s = 6.1$ και $M_s = 6.6$ αντίστοιχα. Το 1932 και 1933 η δράση συνεχίστηκε προς τα ΝΔ στην περιοχή Ιερισσού και Βόλβης με σεισμούς με μεγέθη μέχρι $M_s = 7.0$ με τους οποίους ολοκληρώθηκε και η δεύτερη περίοδος. Στις 20 Ιουνίου 1978 έγινε στη Μυγδονία λεκάνη ένας σεισμός με μέγεθος $M_s = 6.5$. Ο σεισμός αυτός είναι ο πρώτος που έγινε στη Σερβομακεδονική μάζα μετά από 45 χρόνια με μέγεθος μεγαλύτερο από 6.0 και ίσως αποτελεί την αρχή μιας νέας σεισμικής περιόδου.

6.2 Σεισμική δράση στην περιοχή μετά το 1980

Από το 1981 οπότε άρχισε η λειτουργία του τηλεμετρικού σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης εξασφαλίστηκε η ακριβής καταγραφή των σεισμικών δονήσεων που προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Σερβομακεδονικής μάζας και έγινε δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των παραμέτρων των εστιών τους. Τα δεδομένα που παράγονται από το δίκτυο αυτό είναι συνεχή, ακριβή και έχουν πληρότητα για σεισμούς με μεγέθη $M_s > 2.6$. Από τη χρήση των δεδομένων αυτών προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τη σεισμική συμπεριφορά της περιοχής.

Έτσι, μια πρώτη διαπίστωση είναι ότι αν και υπάρχει έντονη σεισμική δράση στην περιοχή για δέκα χρόνια μετά το σεισμό της 20ής Ιουνίου του 1978, εντούτοις απουσιάζουν τελείως από την περιοχή σεισμοί μεγάλων σχετικά μεγεθών ($M_s > 5.5$). Η κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών που έγιναν στην περιοχή κατά το χρονικό διάστημα 1981-1985 έδειξε ότι οι σεισμοί της περιοχής είναι επιφανειακοί με βάθη που κατά κύριο λόγο κυμαίνονται μεταξύ 5 Km και 15 Km, ενώ το μέσο εστιακό βάθος είναι 9 Km.

Η γεωγραφική κατανομή των επικεντρών των σεισμών που έγιναν στην περιοχή από 1.1.1981

μέχρι 31.12.1986 έδειξε ότι η κύρια συγκέντρωση της σεισμικής δράσης της περιοχής εντοπίζεται στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης, γύρω από την περιοχή των ρηγμάτων (ρήγματα, 1, 2, 3, 4, 5 στο χάρτη) που έδωσε το μεγάλο σεισμό ($M_s = 6.5$) της 20.6.1978, ενώ δευτερεύουσες, αλλά σημαντικές συγκεντρώσεις επικέντρων παρατηρούνται στην περιοχή του κόλπου της Ιερισσού, στην είσοδο του κόλπου της Κασσάνδρας και στο βάθος του Θερμαϊκού Κόλπου. Η μελέτη της μικροσεισμικής ανέδειξε στην περιοχή ένα χώρο που εκτείνεται από τη Μυγδονία λεκάνη μέχρι τον κόλπο της Ιερισσού με υψηλή, σχετικά, σεισμικότητα. Ο χώρος αυτός απορροφά μεγάλα ποσά από τη σεισμική ενέργεια της περιοχής, ενέργεια, την οποία απελευθερώνει κατά χρονικά διαστήματα υπό μορφή μεγάλων σχετικά, σεισμών. Μπορούμε, δηλαδή, να θεωρήσουμε ότι ο χώρος αυτός αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή σεισμικού κινδύνου για την περιοχή.

6.3 Πεδίο των τάσεων στην περιοχή

Η σεισμική ακολουθία της 20ής Ιουνίου 1978 αποτέλεσε την κύρια αιτία για την εκπόνηση σύγχρονων μελετών που αφορούσαν το πεδίο των τάσεων στην ευρύτερη περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Όλες αυτές οι μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή επικρατούν εφελκυστικές τάσεις με γενική B-N διεύθυνση κύριου άξονα εφελκυσμού T και σχεδόν μηδενική γωνία κλίσης. Από τις τάσεις αυτές ενεργοποιήθηκαν τα προϋπάρχοντα κανονικά ρήγματα (τα ρήγματα που σχημάτισαν τη Μυγδονία λεκάνη), τα οποία προκάλεσαν τους σεισμούς της ακολουθίας του 1978.

Σε παρόμοια συμπεράσματα όσον αφορά το πεδίο των τάσεων κατέληξε και η μελέτη των πλέον αξιόπιστων μηχανισμών γένεσης σεισμών που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή της Σερβομακεδονικής μάζας κατά το χρονικό διάστημα 1981-1984 και καταγράφηκαν από το δίκτυο σειсмоγράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Παρόμοια οι μηχανισμοί γένεσης των μικροσεισμών που έγιναν στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης και καταγράφηκαν από πυκνό δίκτυο φορητών σειсмоγράφων που εγκαταστάθηκε στην περιοχή, προσδιόρισαν ένα κύριο εφελκυστικό πεδίο σε διεύθυνση BBA-NNΔ και γωνία κλίσης επίσης σχεδόν μηδενική.

6.4 Σεισμική δράση στην περιοχή του φύλλου «Λαγκαδάς».

Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν δημοσιευμένα δεδομένα σεισμών που καλύπτουν το χρονικό διάστημα από το 1900 μέχρι το 1986. Αυτό το σύνολο των δεδομένων περιέχει σεισμούς με τα εξής μεγέθη για τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους:

$M_s > 5.5$ 1901-1910

$M_s > 4.9$ 1911-1949

$M_s > 4.5$ 1950-1980

Πληρότητα δεδομένων για τους σεισμούς αυτούς έχουμε για τα ακόλουθα μεγέθη και τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους:

$M_s > 6.5$ 1901-1910

$M_s > 5.2$ 1911-1949

$M_s > 4.8$ 1950-1963

$M_s > 4.5$ 1964-1980

Οι παράμετροι της εστίας των σεισμών που έγιναν από το 1970 και έχουν διορθωθεί και επομένως έχουν βελτιωθεί σημαντικά.

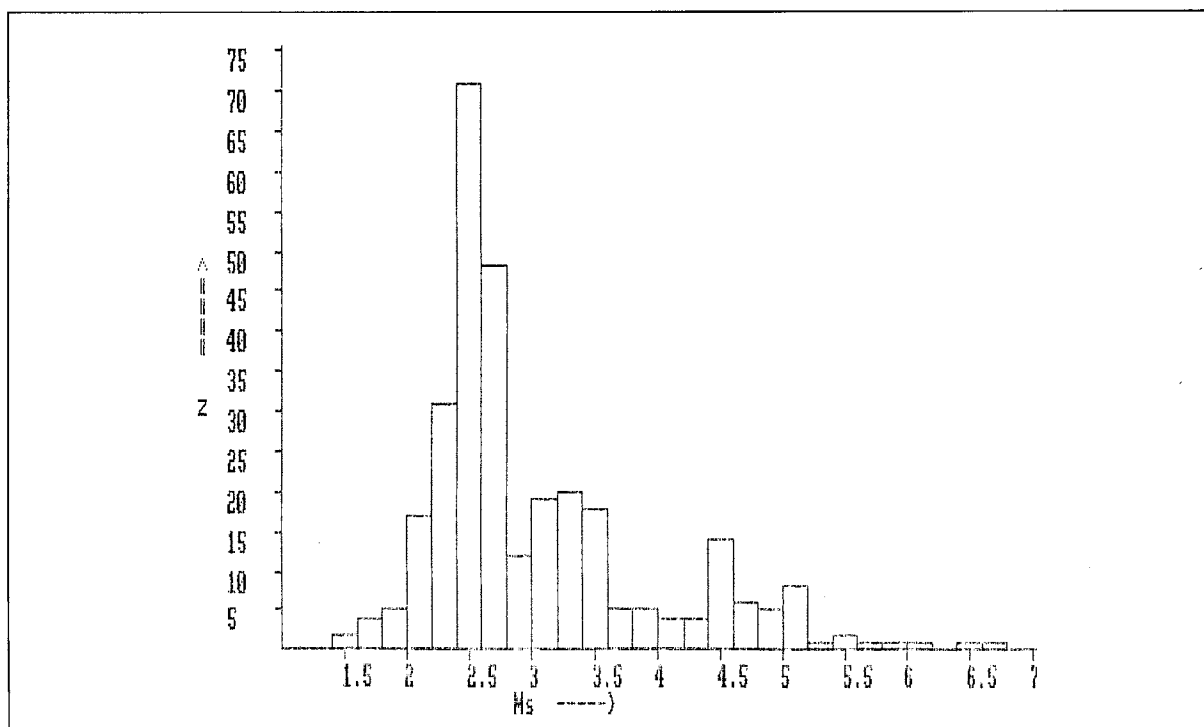
Από το 1981 που άρχισε να λειτουργεί το τηλεμετρικό σεισμολογικό δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης άρχισαν να παράγονται δεδομένα μεγάλης ακρίβειας για τους σεισμούς της περιοχής. Τα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1981-1986 προέρχονται από τις αναγραφές αυτού του δικτύου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν σεισμούς με μεγέθη $M_s = 1.5$ ενώ είναι πλήρη για μεγέθη $M_s > 2.6$. Τα εστιακά βάθη των σεισμών αυτών έχουν υπολογισθεί με τη βοήθεια του προγράμματος HYPO '71 (REVISED) και το σφάλμα στον υπολογισμό τους είναι μικρότερο από 3 Km.

Το αρχείο των δεδομένων εμπλουτίστηκε και με τα δεδομένα που συλλέχτηκαν από δύο ερευνητικά πειράματα που έγιναν στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου της Grenoble (IRIGM). Τα πειράματα αυτά περιλάμβαναν την εγκατάσταση δικτύου φορητών σειсмоγράφων στην περιοχή της Μυγδονίας με σκοπό την καταγραφή μικροσεισμών της περιοχής. Οι παράμετροι της εστίας των σεισμών αυτών που υπολογίστηκαν με τη χρήση του ίδιου προγράμματος (HYPO '71) έχουν μεγάλη ακρίβεια, ενώ το σφάλμα στον υπολογισμό των εστιακών βαθών είναι και πάλι μικρότερο των 3 Km. Για τους σεισμούς αυτούς δεν έχουν υπολογισθεί μεγέθη αφού δεν ήταν μέσα στους στόχους των δύο ερευνητικών προγραμμάτων.

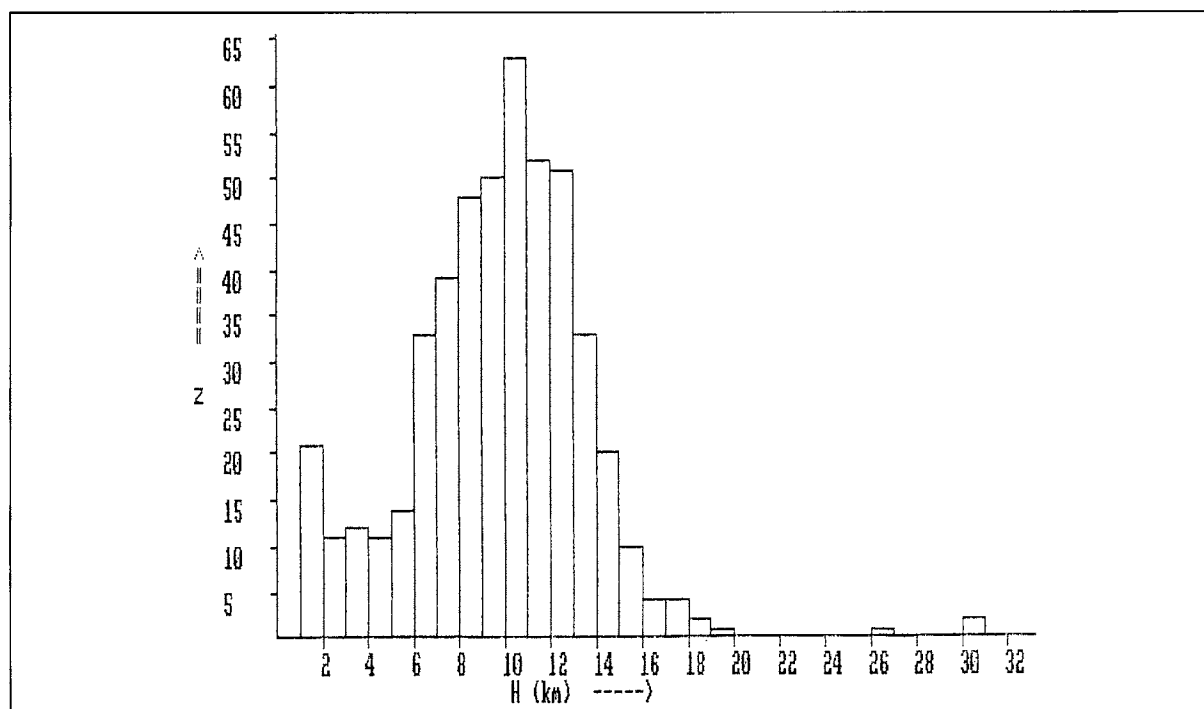
Η σεισμική δράση της περιοχής που περιλαμβάνεται στο φύλλο «Λαγκαδάς» είναι πολύ έντονη, δεδομένου ότι στην περιοχή αυτή ανήκει η Μυγδονία λεκάνη η οποία συγκεντρώνει τη μεγαλύτερη δραστηριότητα στη Βόρεια Ελλάδα από άποψη γένεσης σεισμών. Για την περιοχή αυτή υπάρχουν δεδομένα 482 σεισμών, για τους 306 από τους οποίους έχουμε υπολογισμένα μεγέθη. Η γεωγραφική κατανομή των epicέντρων των σεισμών αυτών δίνεται στο επίθεμα του χάρτη. Παρατηρείται ότι η σεισμική δράση συγκεντρώνεται σχεδόν αποκλειστικά στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης, ενώ υπάρχουν επίκεντρα σεισμών διάσπαρτα στην υπόλοιπη περιοχή του χάρτη χωρίς όμως να διακρίνεται κάποια εκλεκτική συγκέντρωσή τους.

Το διάγραμμα συχνότητας των μεγεθών των 306 σεισμών της περιοχής, για τους οποίους είχαμε υπολογισμένα μεγέθη, δίνεται στο σχήμα 19. Παρατηρούμε ότι οι σεισμοί της περιοχής αυτής καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από άποψη μεγεθών, που κυμαίνεται από $M_s = 1.5$ μέχρι $M_s = 6.6$. Ο μεγαλύτερος σεισμός που έγινε στην περιοχή του παρόντα αιώνα είχε μέγεθος $M_s = 6.6$, έγινε στις 5 Ιουλίου του 1902 και είχε το επίκεντρό του στην περιοχή της Ασσήρου. Οι περισσότεροι σεισμοί της περιοχής, πάντως, έχουν μεγέθη που κυμαίνονται από $M_s = 2.0$ μέχρι $M_s = 3.5$.

Στο σχήμα 20 δίνεται το διάγραμμα συχνότητα των εστιακών βαθμών των σεισμών της περιοχής. Όπως παρατηρούμε, οι σεισμοί της περιοχής είναι όλοι επιφανειακοί με εστιακά βάθη που δεν υπερβαίνουν τα 20 Km (εκτός από τρεις εξαιρέσεις), ενώ η κύρια συγκέντρωση των τιμών των εστιακών βαθμών παρατηρείται και πάλι μεταξύ 5 Km και 15 Km. Το μέσο εστιακό βάθος των σεισμών της περιοχής έχει τιμή 9 Km.



Σχήμα 19. Διάγραμμα συχνότητας των τιμών των μεγεθών των σεισμών του φύλλου «Λαγκαδάς» (N: αριθμός σεισμών).
 Fig. 19. Histogram of magnitude frequency of the earthquakes in the Langadas neotectonic sheet. (N: number of earthquakes).



Σχήμα 20. Διάγραμμα συχνότητας των τιμών των εστιακών βαθών του φύλλου «Λαγκαδάς».
 Fig. 20. Histogram of focal depths of the earthquakes in the Langadas neotectonic sheet.

NEOTECTONIC MAP OF GREECE

SCALE 1:100.000

SHEET: LANGADAS

EXPLANATORY TEXT

CONTENTS

1.INTRODUCTION.....	59
2.GEOLOGICAL SETTING (PRE-ALPINE & ALPINE STRUCTURES).....	61
3.NEOGENE AND QUATERNARY STRATIGRAPHY.....	63
3.1. Neogene deposits	63
3.2. Quaternary deposits.....	63
3.2.1. Quaternary undivided deposits.....	63
3.2.2. Pleistocene deposits.....	63
3.2.3. Holocene deposits.....	64
4.GEOMORPHOLOGY	67
4.1. General	67
4.2. Planation surfaces	67
4.3. Development of basins	67
4.4. Principal morphotectonic elements	68
5.NEOTECTONICS, SEISMOTECTONICS AND DESCRIPTION OF THE FAULTS	69
5.1. Neotectonic setting	69
5.2. Description of Active and Probable Active Faults.....	69
(1) Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona Seismic fault.....	69
(2) Liti - Lagina - Ag. Vassilios Active fault	70
(3) Loutra Volvis - Apollonia Active fault	70
(4) Seismic fault between the Volvi - Langada lakes.....	70
(5) Scholarli Seismic fault	71
(6) Assiros - Analipsi Active fault	71
(7) Active and Probable Active faults of Nimphopetra - Megali Volvi	72
(8) Nea Apollonia Active fault	72
(9) Probable Active fault in the basement rocks south of Lake Volvi	73
(10) Marathousa Probable Active fault.....	73
(11) Angelochori Active fault.....	73
(12) Asvestochori - Polichni Active fault	73
(13) Probable Active faults of the Zangliveri basin	73
(14) Sochos Active fault.....	74
(15) Probable Active faults of the Nigrita - Terpni area	74
(16) Probable Active faults of Palea Chrisavghi	74
(17) Faults of the Xilopoli - Nikopoli area	75
6.SEISMICITY	77
6.1. Seismic activity in the wider area during this century.....	77
6.2. Seismic activity in the area after 1980.....	77
6.3. Recent crustal stress field of the area.....	77
6.4. Seismic activity of the Langadas sheet.....	78

1. INTRODUCTION

The need for a better picture of the seismic hazard in the wider Thessaloniki area inspired the detection, mapping and description of the area's faults, which resulted in this neotectonic sheet. With this aim in mind the research group of the Department of Geology and Physical Geography of the Aristotle University of Thessaloniki has made a detailed fault study, dividing the faults according to the international standards into Seismic, Active, Probable Active and Inactive faults.

More precisely, according to the international standards for faults, the following have been adopted for this area:

- (1) Seismic faults are those that have been definitely connected with particular earthquakes. In the case where this connection is not so unambiguous the fault is characterized simply as an Active fault and not as a Seismic fault.
- (2) Active faults are those that have been active since the late Pleistocene.
- (3) Probable Active faults are those that were active from late Pliocene to late Pleistocene.
- (4) Inactive faults are those that have not presented any slip activation later than the early Pleistocene or those which show no indication of a recent reactivation.

Apart from the above limitations due to the international standards, the faults were also characterized using the following field tested criteria:

- (1) the existence of fresh and recent natural fault slickensides
- (2) the possible connection between the epicentres of the microearthquakes and the faults
- (3) linear development of several thermal springs along faults
- (4) the continuation of a fault with another certain active fault
- (5) specific geomorphological criteria related to faults such as triangular facets, recent tectonic terraces, fault (line) scarps, linear and/or hanging valleys, river captures and diversifications, areas with intense erosion etc.

It is important to mention that the major faults in the area have mostly aroused our interest because they are considered the most dangerous sources of probable future seismic activity.

Finally some covered faults within the large basins have been cautiously adopted and mapped from the already published geophysical survey.

2. GEOLOGICAL SETTING (PRE-ALPINE & ALPINE STRUCTURES)

Pre-Alpine rocks belonging to the Serbomacedonian massif constitute the main part of the present neotectonic sheet (fig. 1). These rocks overthrust the Alpine rocks of the Circum Rhodope Belt (CRB) exposed in the SW part of the sheet, along a remarkable N-S trending thrust, so that the latter represents the tectonic boundary between these zones. Apart from this, in the SWmost part of the sheet some late Jurassic basic rocks of the ophiolite sequence of the Axios zone (Paionias subzone) are exposed.

Finally, north of Lake Langada in the Chrisavghi area there are some exposures of cemented sands and conglomerates. They have been dated at the latest Eocene-Oligocene by Kockel et al. (1977), who further considered them as molasse-type sediments, whereas Psilovikos (1977) disagrees on both their dating and environment. The last author includes them into the Neogene sediments following stratigraphical relations and some fossils that have been found within the directly overlying sediments.

On the other hand, Neogene and Quaternary sediments filling up the Mygdonian neotectonic graben (Langadas-Volvi neotectonic graben) as well as the Anthemountas and Nigrita basins rest unconformably over these Pre-Alpine and Alpine rocks.

The Circum Rhodope Belt, which is the most Internal Hellenic zone, consists of low grade metamorphic rocks of Mesozoic age, which are placed (fig. 2, 3) in the (a) Deve Koran-Doumbia Unit, (b) Melissochori-Cholomontas Unit and (c) Aspri Vrisi-Chortiatis Unit. More precisely, the exposed rocks of the CRB are: (1) Permian-Triassic clastic, volcanoclastic and carbonate rocks slightly metamorphosed, (2) early-middle Jurassic flysch-type metasediments and (3) deep-sea metasediments of Jurassic age.

Both the exposed rocks of the Axios zone and Circum Rhodope Belt have been grouped for the requirements of the neotectonic map as follows: (1) deep-sea metasediments and metavolcanoclastic rocks, (2) phyllites and quartzites (metaflysch), (4) Mesozoic carbonate rocks, (5) ophiolites.

The exposed rocks of the Serbomacedonian massif are mostly two-mica schist and gneiss, augen gneiss and amphibolites that have more precisely been placed into the Vertiskos Unit. However, they are mapped in this sheet under a uniform map unit as metamorphic rocks. They have subjected at least to two metamorphic episodes and they have been intruded by many granitoid bodies as well. All the granitoids have been also mapped as one map unit.

The Pre-Alpine and Alpine rocks have been subjected to many tectonic events, the most significant of which was the Eocene-Oligocene one that caused the regional SW-verging thrusting and overturning of the rock units (fig. 4) and consequently the above mentioned overthrusting of the Serbomacedonian massif over the Circum Rhodope Belt.

3. NEOGENE AND QUATERNARY STRATIGRAPHY

Over the Pre-Alpine rocks that constitute the basement of the area, Neogene and Quaternary terrigenous deposits have been rested unconformably, filling up the neotectonic depressions. They present in the NEmost part of the sheet as a part of the Strymonas basin (hereafter referred as the Nigrita basin) and in the central part along the crank-shaped Mygdonian graben).

3.1 Neogene deposits

(1) **Ms-Pi, colg:** (late Miocene-early Pliocene deposits). These deposits are exposed in the SWpart of the sheet (Anthemountas basin), in the central part (Mygdonian basin) as well as in the NE part (Nigrita basin).

In the SWpart of the sheet (Anthemountas basin), the late Miocene-early Pliocene deposits consist of Pre-Pontian (Vallesian) red beds, stratigraphically equivalent to the sediments of the Nea Mesimvria Fm exposed in the western part of the city (see Thessaloniki sheet) that are overlain by terrestrial sands, cobble and pebble gravels placed into the Angelochori Fm. In the Angelochori Fm a characteristic fauna indicating Pliocene age has been found.

In the Langada basin, the late Miocene-Pliocene deposits are not so extensive, but are rather limited along the mountain frontiers, constituting the main part for the Pre-Mygdonian Group. More precisely the Pre-Mygdonian Group comprises sediments of late Miocene-early Pleistocene age. Its lower part is exposed north of the village of Chrisavghi and comprises (fig. 5) at the base conglomerate beds overlain conformably by sandstones. Upward, it continues with rhythmic alternations of silts and sands. From some fossilised bones that have been found within the upper parts of these rhythmites a late Miocene-early Pliocene age has been concluded. The Pre-Mygdonian Group ends upwards with an extensive formation of red beds of early Pleistocene age, that mainly present in the southern part of the Langadas basin around the village of Gerakarou (Gerakarou Fm).

In the Nigrita basin, the late Miocene-Pliocene deposits include at the base early Pontian fossiliferous lacustrine-lagoonal sediments such as marls, marly limestones, sands, clays, sandy marls with interbeds of calcarenites (Choumniko Fm), which are overlain unconformably by red beds without fossils (Terpni Fm). The latter, that also rest unconformably on the basement rocks, are alternations of pebbly gravels, sands and red sandy clays.

3.2 Quaternary deposits

3.2.1 Quaternary undivided deposits

They mainly comprise:

(10 **Pt-H, sc:** Scree deposits. These are fragments (pebbles and cobbles) mainly of limestones cemented with a red coloured calcite matrix.

(2) **Pt-H, cs:** Fan deposits in the stream mouths. They include diverse, usually loose materials derived from the basement rocks.

3.2.2. Pleistocene deposits

(1) **Pt, co:** Pleistocene undivided deposits. Pebble gravels, sands and silts with or without clay cover

are mapped without temporal subdivision as Pleistocene undivided deposits due to the absence of fossils, and their positions are only based upon stratigraphic correlation. However, they might be differentiated into three terrace systems:

(i) **Upper terrace system:** It comprises reddish sandy clays, sands, pebble and cobble gravels or unsorted pebbly sands and gravels with pebbles of the basement rocks. Its top is estimated 30-40m above the river bed.

(ii) **Middle terrace system:** This commonly includes sands and pebble gravels, its top is estimated 10-15m above the river bed.

(iii) **Lower terrace system:** This mainly consists of sands, silty sands and pebble gravels, frequently covered by clayey sediments. Its top is estimated 6-8m above the river bed.

(2) **Pti, co:** (early Pleistocene deposits). They are more extensive in the southern parts of the Langada basin, as already mentioned, and they constitute the terminal parts of the Pre-Mygdonian Group. They consist of thick terrestrial red beds (fig. 6) forming the Gerakarou Fm. The fm is more than 100m thick and includes greyish red coloured pebbly clays and sands as well as matrix-supported gravels. The pebbles and cobbles are mostly derived either from granitoids or gneisses and mica schists, but predominantly from the latter. The matrix is cohesive and assembles grains of quartz mostly, but also of feldspars and micas. Cross-and gradual bedding are also frequently observed. Their erosion is characterized by the extensive formation of rills and gullies and eventually narrow valleys. The uppermost part of the red beds grades either gradually into the sediments of the Mygdonian Group or is covered transgressively by the basal sediments of the latter.

(3) **Ptm-s, lk:** (middle-late Pleistocene deposits). Around the lakes Langada and Volvi, some middle-late Pleistocene lacustrine deposits are exposed that constitute a portion of the Mygdonian Group.

The basal part of the Mygdonian Group consists of sandy-clayey sediments that for the most part rest unconformably over the Gerakarou Fm (fig. 7). They are composed of: (a) unsorted cobble gravels of thickness 0.5-2m that consist of cobbles and boulders within a coarse grained sand matrix, (b) well-bedded sands of thickness 0.3-1m with characteristic gradual bedding, (c) greyish green laminated clays 1-3m. (d) in the topmost parts a bed of fine-grained sand about 1m thickness. The upper portion of the Mygdonian Group was formed during the decrease of Lake Mygdonia and consists of (a) clayey beds at the base which grade into (b) intercalated beds of clays and sands. Upwards they grade into gradual bedded sands, coastal gravels and sands as well as chemical sediments.

Up till now no fossils have been found to indicate the exact age of the group and consequently their subdivision. In general the onset of the Mygdonian Group is estimated at the end of the early Pleistocene, while the chemical sediments and the fine-grained sands are considered to have been deposited during the Holocene.

3.2.3 Holocene deposits

The Holocene deposits can be discriminated as follows:

(1) **H:** Holocene undivided deposits. These include pebble gravels, sands, red clays with some gravels at their base as well as some coastal sediments.

(2) **H, lk:** Lake deposits. These include sandy clays, clays, silts and fine-grained sands, which re in fact the depositionsof the Langada and Volvi lakes as well as the drained Vromolimni and Achinos lakes.

(3) **H, co:** Valley deposits. These are moslty pebble gravels, pebbly sands, sandy calys and silts; in places with a clay cover.

(4) **H, al:** Alluvial deposits. These are mainly pebble gravels, pebbly sands, sands,silts, sandy clays deposited along the rivers.

4. GEOMORPHOLOGY

4.1 General

The most prominent geomorphological feature of the present sheet is the crank-shaped Mygdonian basin, which with a NW-SE to E-W trend is developed in the central part of the sheet. It includes Lake Langada in the west and Lake Volvi in the east, which are both remnants of the initially single Mygdonia lake which developed during the Pleistocene. In addition the Mygdonian basin is also considered as an evolutionary part of the previously formed and larger Pre-Mygdonian basin, that also included most of the surrounding remnant basins such as Zangliveri and Marathousa. Finally in the SW part of the sheet the greater part of the E-W trending Anthemountas basin is exposed.

Of more importance, however is that the geomorphological elements presented in the sheet yield crucial information about the neotectonic procedures. Their form, shape and distribution, as well as their composition, give both qualitative and quantitative clues on the dating and function of the neotectonic faults.

4.2 Planation surfaces

These are large, almost horizontal or of very small inclination areas of land formed during denudation aided by suitable climatic and tectonic factors.

They were initially formed at low altitude (100-200m), covered large areas and show mature geomorphological characteristics. Later, they were broken into several smaller parts that either subsided or uplifted forming respectively the present basins or horsts of the area.

In the area of the Langadas sheet on such important planation surface is observed at 400-600m altitude as is defined by its many remnant parts in the Chortiatis and Vertiskos mountains. In particular, this planation surface is very well established in the Zangliveri hill, in the western part of the Volvi mountains and the outer periphery zone of Mt. Vertiskos (Askos, Sochos, Lofiskos, Ossa, Dorkas, Sevastia, Lachanas, Xilopolis, Evangelistria). This planation surface was formed during the early-middle Miocene and its presence now at this attitude is ascribed to latter uplifting processes.

4.3. Development of basins

The breakage of the initially uniform Miocene planation surface was the result of the latter faulting. This faulting produced a fracture pattern of large fault-bounded blocks presented within the generally mature and of very low elevation morphology of the area.

As mentioned above some of the fault bounded blocks were estimated (using geomorphological criteria) to have been uplifted about 300-400m during Neogene and Quaternary times, forming several horsts such as the Vertiskos and Chortiatis ones.

In contrast, other fault blocks subsided, forming the present depressions of the area such as the Pre-Mygdonian, Anthemountas and Strymonas basins, which have been filled up with Neogene and Quaternary sediments. Two tectonic stages can be inferred for the evolution of the above mentioned basins, taking into account the sedimentary, geomorphological and stratigraphic observations:

(1) the first tectonic stage caused the initial break up of the uniform planation surface into large blocks. These blocks have subsided individually since the early-middle Miocene, giving rise to several depressions that have been filled with mainly continental sediments intervening with some brackish to marine ones. This sedimentation process outlasts the Villafranchian period and was mainly of continental type. For the Pre-Mygdonian and Anthemountas depressions the estimated thickness of these terrestrial deposits is about 350m.

(2) the second tectonic stage onsets the latest Villafranchian and produced some smaller depressions which were filled up with Quaternary sediments.

As shown in the Table I, although individual evolution is recognized for each graben or depression, we can state that the subsidence of the grabens in the area of Gallikos, Axios, Loudias and Aliakmonas alluvial deltaic fields was about 400-600m during the Quaternary, whereas the subsidence of the smaller depressions (Anthemountas, Langadas, Volvi, Vromolimni, Zangliveri, Marathousa, Doumbia, Chortiatis, Sochos) was much less and varied from 50m to 160m.

The total vertical movements (including uplift and subsidence) of the Pre-Mygdonian and Anthemountas basins were about 800-900m during the neotectonic period whereas the total subsidence of the Axios-Thermaikos basin might have been as much as 3500m.

The subsidence as well as the sedimentation rates of the grabens of the area are considered very high and being 5×10^{-1} to 6×10^{-1} mm/y during the Quaternary, whereas during the Neogene they were 2.3×10^{-2} to 2×10^{-1} mm/y

4.4. Principal morphotectonic elements

The tectonic movements, essentially the vertical one, that have taken place in the wider area, after the formation of the unique Miocene planation surface affected the landform of the sheet.

In particular, the normal faults have caused the following principal morphotectonic elements:

- (1) the abrupt change in the inclination of the slopes, in places. For example the Sochos fault.
- (2) the demarcation of the basins development (shape, orientation etc.). For example the Langada basin demarcation from the Assiros-Analipsi Scholari boundary fault zone as well as the Melissochori - Liti - Lagina-Ag. Vassilios - Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona boundary fault zone.
- (3) the formation of abundant tectonic terraces and scarps at the margins of many grabens of basins
- (4) the frequent formation of particular drainage patterns i.e. asymmetric or rectangular ones as well as river diversifications and captures.
- (5) the formation of hanging and abandoned valleys.

5. NEOTECTONICS, SEISMOTECTONICS AND DESCRIPTION OF THE FAULTS

5.1 Neotectonic settings

Since the Miocene the area of Central Macedonia, where this neotectonic sheet is located, has been intensely faulted, forming as a rule many tectonic grabens and depressions such as the Axios basin, the Anthemountas and Mygdonian grabens etc. These depressions are in fact the result of a fairly continuous extensional deformation, which was mostly associated with pure normal to oblique-normal faults trending mainly E-W, WNW-ESE and NE-SW. In addition, some long N-S trending faults complete the general fracture pattern. Most of the above mentioned faults have been active at least since the Miocene, while some of them (mainly the E-W trending faults) are associated with the present seismic activity or have a verified activity since the Quaternary.

It is worth noting that especially the Serbomacedonian massif is the most seismically active zone of the internal Hellenic domain.

5.2 Description of Active and Probable Active Faults

Simply by glancing at the sheet, one can easily observe the master boundary fault zone that has created and bounds to the south the entire Mygdonian depression. This master fault zone is seismically active and is composed of the following segments: (i) Melissochori probable active fault segment, (ii) Liti - Lagina - Ag. Vassilios active fault segment, (iii) Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona seismic fault segment and (iv) Loutra Volvis - Apollonia active fault segment.

(1) Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona - Seismic fault

This is exposed in the intermediate area south of the Langada and Volvi lakes and passes through the Gerakarou, Nikomidino, Stivos and Peristerona villages, forming on the map an arcuate line with an E-W mean trend. The trend of the fault ranges locally from WNW-ESE to ENE-WSW, but its surface dips with 75° to 85° always to the north. In the hanging wall area, covered entirely by Pleistocene sediments, two parallel synthetic faults with similar geometrical features that might be conjugate splay or en echelon faults yielding domino-type extensional deformation have also been mapped.

This fault segment is discriminated as seismic, because it is undoubtedly connected with the 1978 Thessaloniki earthquake (20 June, 22:31:07, 40.8° N- 23.2° E, $M_s=6.5$). The fault is easily observed on aerial photographs, LANDSAT and SPOT images as well as in the field, because of its excellent fault scarps formed especially between the basement and the Neogene - Quaternary sediments.

Along some fault slickensides, we have measured striations such as the following:

a. 55° - 60° NW pt 70° NE normal, b. 74° - 50° NW pt 73° SW normal, c. 40° - 55° NW pt 80° NE normal, d. 90° - 70° pt 85° W normal, that indicate normal movements (fig. 8). Some discontinuous ground ruptures of 15-18km total length developed in this fault segment during the activity of 1978. The maximum displacement of these ruptures was observed close to the Gerakarou (23cm) and Stivos (14cm) villages, whereas in many exposures between the Gerakarou and Peristerona villages

the ground ruptures have revealed displacement of 5-10cm. In the village of Nikomidino a ground rupture having 4-10cm heave and a right-lateral separation has also been observed.

Apart from the fact that this segment is connected with the large earthquake of 1978, it is also related to a great number of microearthquakes ($M_s=2.0-4.5$) shown on the superimposed transparency and have focal depths of 8-14km.

The total displacement of the fault segment during the Quaternary is estimated from sedimentological data to be as much as 250 m.

(2) Liti - Lagina - Ag. Vassilios Active fault

This fault segment constitutes the NWward extension of the above mentioned seismic segment.

The Liti - Lagina - Ag. Vassilios fault segment with NW-SE trend and more than 20km length passes generally through the Lagina and Ag. Vassilios villages forming along almost its total length at least two distinct fault line scarps, which are very well observed on satellite images and aerial photographs. The uppermost (SWward) fault line scarp, which is exposed entirely within the basement rocks, is associated with triangular facets that have been extensively eroded. The lower fault line scarp, which generally constitutes the boundary between the basement and the Quaternary sediments, is more abrupt, forming, however, partially eroded triangular facets.

This fault segment is characterized as active, but not as seismic, because although it is associated with a great number of microearthquakes (superimposed transparency) and affects late Quaternary sediments forming well developed scarps, it is not connected with any historic or recent earthquake.

The total displacement is estimated from sedimentological data at up to 220m for the Quaternary period.

(3) Loutra Volvis - Apollonia Active fault

This is an E-W trending fault segment dipping to the North and constituting the eastward continuation of the Gerakarou - Nikomidino - Stivos - Peristerona fault segment. This fault segment affects the basement and the Plio - Quaternary sediments and constitutes the boundary fault of Lake Volvi to the south.

The Loutra Volvis - Apollonia fault segment is easily mapped in the field since fault line scarps, slickensides as well as travertine deposits (observed especially in the area north of Apollonia) align along its 10km length. Moreover, the thermal springs that present in the area of Apollonia are directly related to this fault and particularly they present where this segment crosses two other smaller faults with NE-SW trend.

The kinematics of Loutra Volvis - Apollonia fault as shown is characterized by normal to left-handed oblique-normal movement (fig. 9).

The total displacement of the Loutra Volvis-Apollonia fault segment is similarly estimated from sedimentological data at up to 250m.

(4) Seismic fault between the Volvi - Langada lakes

This constitutes a WNW-ESE trending fault branch of the seismic Gerakarou - Stivos - Nikomidino -

Peristerona fault segment and was also reactivated during the 1978 Thessaloniki earthquake. More precisely, a 5km long ground rupture initiating from the village of Stivos with WNW-ESE (N 115°) trend and NNE dip-direction, cutting across the Thessaloniki - Kavala national road and drifting up to Lake Langada was observed to have resulted from the 1978 earthquake. It was a normal fault of total displacement ranging from 2cm to 20cm, with heave as much as 15cm. However, the fault traces cannot now be observed, so we cannot now make any further estimation.

(5) Scholari Seismic fault

The Assiros - Analipsi - Scholari NW-SE trending and SW-dipping boundary fault zone, which bounds the Langada basin to the north, is also recognized among the master faults that dominate in the Langadas sheet. It may be divided into two fault segments: (i) the Assiros - Analipsi fault segment that is characterized as active and (ii) the seismic Scholari fault segment.

Indeed, the Scholari fault constitutes the seismic fault segment of this boundary fault zone, because it was the only segment that was reactivated during the 1978 Thessaloniki earthquake, with the formation of ground ruptures in the area of Evagellismos, Scholari and Stivos villages.

Having similar attitude to the main boundary fault zone, it might be characterized kinematically as a left-handed oblique-normal fault, because of the kinematics of the observed ground rupture formed during the 1978 earthquake and the measured striations (ft: 128° - 45° SW pt 45° SE normal) in the wider Scholari area (fig. 10).

The total exposed length of the ground rupture and consequently of the segment was 8km during the 1978 Thessaloniki earthquake.

The Scholari fault segment can be partly identifiable on the satellite (LANDSAT and SPOT) images and aerial photographs from the well exposed fault scarps in the areas of the Evangelismos and Scholari villages.

The observed displacement of this fault segment, which was associated with 2-3cm left-handed displacement during the 1978 reactivation, was as much as 25cm, while the heave ranged from 2 to 16cm.

(6) Assiros - Analipsi Active fault

The Assiros - Analipsi fault segment having a NW-SE strike (N130° - 150°) has a length of 20km. Although this segment is the NWward extension of the seismic Scholari fault segment, it has not been similarly characterized as seismic, but as active, because there exists no information directly connecting this fault segment with any historic seismic event.

Apart from the above, the segment is identifiable on LANDSAT and SPOT images and aerial photographs as a very distinct straight lineament, which however in the field is not so frequently associated with fault slickensides.

In the portion in between the Drakontio and Analipsi villages the striations recorded on the exposed fault slickensides lead us to determine the fault as a left-handed oblique fault (fig. 11).

The segment is fairly classified as active, because apart from the fact that it is the continuation of the seismic Scholari fault and bounds the neotectonic Langada graben, it affects the Quaternary sediments in the area close to village of Assiros.

In spite of fact that a plethora of microearthquakes have been recorded in the proximal area of this fault segment, as well as the strong earthquake of the 5th July 1902 with magnitude $M_s=6.6$, this segment has not been characterized as seismic, because its connection with the above could not be strongly established.

(7) Active and Probable Active faults of Nymphopetra - Megali Volvi

This concerns a discontinuous fault zone in the northern part of Lake Volvi, which is made up of some 2-4km long normal faults with E-W strike and S dip.

The fault zone is better defined in the field from the well observed fault scraps and terraces as well as the abrupt change of the river pattern.

In this area a great number of microearthquakes has been recorded. Some of them must be associated with these E-W trending faults, because the nodal planes of their focal mechanisms present a similar E-W trend. Therefore, this fault zone could be characterized as active and consequently the faults that separate the basement from the sediments are characterized as active, and the faults exposed exclusively within the basement as probable active.

(8) Nea Apollonia Active fault

It is an E-W trending fault, passing 1km south of the village of Nea Apollonia. It affects both the basement rocks and the Neogene sediments of the Nea Apollonia - Marathousa subbasin. The fault has been characterized as active because:

- (1) it has similar trend with the Loutra Volvis-Apollonia active boundary fault.
- (2) it seems to influence the recent morphotectonic development of the area and particularly the hydrographic network.
- (3) along the fault some travertine deposits are aligned
- (4) it affects Pleistocene sediments in the areas of Nea Apollonia and Kokalou
- (5) in the wider area a great number of microearthquakes have been recorded.

In fact 71 microearthquakes, including that of 19th February 1984 with $M_s=5.2$ and $h=14$ km, have been concentrated in the wider area and mostly in its northern part. The distribution of these microearthquakes, which have depths up to 20km with mean that of 10km, are shown in the histogram of fig. 12. Among them the most shallow must be directly connected with the mapped faults of the area.

The kinematics of the fault are best described by the measured striation: $105^\circ - 80^\circ$ NNE pt 76° WNW normal. The general kinematics of the faults of the Nea Apollonia - Marathousa area are shown in figs. 13a, b.

The separation of the fault is estimated to have been as much as 5m during the Quaternary, while at its eastern end, where it separates the basement from the sediments the separation is somewhat larger.

(9) Probable Active fault in the basement rocks south of Lake Volvi

A N-S trending normal fault 6km long that affects the basement rocks in the area south of Lake Volvi and east of the village of Nea Apollonia. The fault seems almost vertical unless it dips E and associated with very well developed slickensides bearing exclusively vertical striations such as the following: ft: 0° - 88°E pt 85° S normal.

Because the fault slickensides are very well developed, affecting the landform of the area, and some fissures of 1-2cm heave have been observed at the base of these slickensides, the fault is considered as probable active.

(10) Marathousa Probable Active fault

In the central part of the Marathousa subbasin, an area of intense seismicity (fig 14, 15), and more strictly along the Mikro Rema, a NW-SE trending normal fault has been mapped by the use of aerial photographs, where it presents as a straight lineament that causes the asymmetric development of the hydrographic network.

The fault is developed exclusively within the early Pleistocene sediments and as a result it is characterized as probable active.

(11) Angelochori Active fault

A small NNE-SSW (N30°)-trending fault of 1.7km length dipping to WNW has been found in the ruins of the old village of Angelochori, east of Zangliveri to cut across the granitic gneiss and more importantly the elluvial sediments. The latter is evidenced by the presence of a fault scarp 0.5m high. Thus this fault is considered as active.

(12) Asvestochori - Polichni Active fault

This WNW-ESE (N120°)-trending fault is a normal fault dipping to NNE. Only the easternmost 6 km portion of the fault is exposed in this sheet and particularly in the northern outskirts of Thessaloniki, along the narrow valley of the Asvestochori - Pefka villates, because the fault extends towards NW into the next Thessaloniki neotectonic sheet of scale 1:100.000 presenting a total length of 15km. Moreover, in the Thessaloniki sheet it seems to continue across the Plio-Quaternary deposits.

It affects mainly the phyllites and recrystallized limestones of the Circum Rhodope Belt and is directly related to the present morphology of the area.

There is information that along the fault some ground ruptures occurred during the Thessaloniki earthquake of 1978 (Ms=6.5). More precisely in the Polichni area a small ground rupture of 1-2cm heave and 10cm displacement of left-lateral oblique-normal movement was occurred. In addition a series of microearthquakes along this fault line might be related to (Table III). Thus the fault is considered as active faults.

(13) Probable Active faults of the Zangliveri basin

A series of NW-SE trending normal faults (fig. 16) have been found to bound the Zangliveri basin and extend as far as the Marathousa basin. Having similar trend with the active faults of the northern Mygdonia area, they also seem to affect the morphology of the area. Furthermore, some thermometalic springs such as those of Doumbia and Sana occur along these faults. For these reasons

and mainly because they affect Plio - Pleistocene sediments they are considered as probable active faults.

(14) Sochos Active fault

This is the most spectacular and significant fault of the wider area, having an E-W trend and S dip. It runs through the Pente Vryses, Kryoneri, Avghi and Sochos villages and probably extends to the east as far as the village of Mavrouda, reaching a total length of 40km.

The fault is very well observed both on LANDSAT and SPOT images and aerial photographs, but in the field only some parts like that between Kryoneri and Sochos villages are easily observed, because there the fault, acting as boundary fault, separates two geomorphologically distinct domains: the Socho- Askos - Profitis depression to the south from the Vertiskos mountain to the north. The Sochos fault can be geomorphologically divided into two segments: the westernmost Pente Vryses-Kryoneri fault segment and the easternmost Kryoneri-Sochos fault segment. The first is characterized by the typical alignment of the streams and the gentle morphological contrast of the hanging wall and the foot-wall along it, whereas the later is characterized by the very high morphological contrast between the hanging wall (Vertiskos mountain) and the foot wall (Sochos, Askos, Profitis depression). These geomorphological features as well as the abrupt changes of the slope inclination in the fault zone are indicative of the recent reactivation of the Sochos fault. The measured striations (fig. 17) along the fault slickensides such as a. 85° - 60° S pt 86° E normal and b. 96° - 62° S pt 86° W normal, are similar to the striations measured along certain seismic and active faults of the sheet.

Also it is very possible that it is connected with the 1932 earthquake of magnitude $M_s=6.2$ (40.8 N-23.3), the latter having a macroseismic epicentre the Sochos village, as well as with the recorded microearthquakes that are shown in Tabel IV.

For all the above mentioned reasons the Sochos fault is considered as active.

The total displacement of the fault since the Quaternary is estimated upon the sedimentological data in the Vromolimni area and the tectonic one in the Sochos area at much as 130-150m.

(15) Probable Active faults of the Nigrita - Terpni area

The faults, which present as three parallel fault strands, have been found in the area south of the Nigrita town to affect the basement rocks, the Neogene, and in some places the Pleistocene sediments. They are E-W trending normal faults dipping to the North and forming staircase geometry, so that they permit the progressive subsidence of the Nigrita basin.

It is also interesting to mention that the hydrographic pattern is directly related to these faults and is characterized as parallel, because the main streams developed along these faults.

Since these faults might extend eastwards into the next Rhodolivos sheet (scale 1:100.000), their length, which is about 3-5km, could be greater.

(16) Probable Active faults of Palea Chrisavghi

Small normal faults with either NW-SE or E-W strike and consequently either SW or S dip, that have been mapped within the basement and the Eocene - Oligocene molasse-type sediments in the area of

the Palea Chrisavghi village. Some of them seem to affect even the Pleistocene deposits, forming gentle fault scarps, and generally to modify the landscape. For these reasons and also because they are parallel to either the Assiros - Analipsi active fault or the Sochos active fault they are considered as probable active faults.

(17) Faults of the Xilopolis- Nikopolis area

In the wider area of Xilopolis and Nikopolis villages and close to the Thessaloniki - Serres national road, some NE-SW trending normal faults have been mapped. They are commonly synthetic faults that dip to the NW, but there are also some antithetic ones. The faults are exposed as a rule in the basement rocks of the Serbomacedonian massif so their activity could not be evaluated.

For only this reason and not because of their inactivity, the faults have been grouped together with the inactive ones. On the other hand, these faults might be responsible for the NE-SW trending depression of about 23km length (or graben, if this is the case) observed along the road.

It is important to mention that the activity of these faults cannot be evaluated even from the seismological data, because no microearthquake sequence has been recorded in the area in recent years.

6. SEISMICITY

6.1 Seismic activity in the wider area during this century

Fig 18 shows all the earthquakes of magnitude $M_s \geq 4$ that have struck the wider area of northern Greece during this century. It is obvious that the intense seismic activity concentrated along the Serbomacedonian massif and more precisely in the wider areas of the Mygdonian basin and Lerissos gulf as well as along the North Aegen Trough.

Among these strong recorded earthquakes the two strongest ones occurred in the area of the Serbomacedonian massif. The first, of magnitude $M_s=7.6$, struck on 4 April 1904 in the Kresna area (SW Bulgaria), while the second of magnitude $M_s=7.4$ struck on 8 November 1905 in the area of Agion Oros (easternmost peninsula of Chalkidiki).

The main seismic activity presented along the Serbomacedonian massif during this century can be divided into three distinct periods. The first period arises with the strong earthquake of magnitude $M_s=6.6$ that struck the Assiros area on 5 July 1902. The seismic activity drifted northwards during the following years (1903-1904) with the occurrence of the above mentioned strong earthquake in the Kresna area and finished with the 1905 Agion Oros earthquake. The second period started with two strong earthquakes of magnitudes $M_s=6.1$ and $M_s=6.6$ respectively that struck in the Valandovo region of South Yugoslavia on 7 and 8 March 1931. The seismic activity continued towards SW in the areas of Lerissos and the Mygdonian basin also with strong earthquakes with magnitudes up to $M_s=7.0$ during 1932 and 1933. On 20 June 1978 a strong earthquake of magnitude $M_s=6.5$ struck in the Mygdonian basin. This earthquake is the first strong earthquake with a magnitude $M_s=6.5$ that has occurred along the Serbomacedonian massif after 45 years of relative quiescence and might represent a new seismic period of activity.

6.2 Seismic activity of the area after 1980

Since 1981, when a detailed seismological study of the northern Greece domain started, a great deal of data have been collected concerning the seismicity. A first assessment is that although there was a continuous seismic activity for at least 10 years after the main Thessaloniki earthquake, strong earthquakes with magnitude $M_s \geq 5.5$ have not been recorded. Moreover, the depth of the earthquake epicentres of the area during the 1981-1985 period ranges from 5 to 15 km with a mean depth of 9 km. The main geographical distribution of the shocks is concentrated: (1) in the Mygdonian basin, and more precisely along the seismic fault that is related to the 1978 Thessaloniki earthquake (faults numbered (1), (2), (3), (4) (5)), (2) in the Lerissos area, (3) in the entrance of the Kassandra gulf and (4) in the far internal part of the Thermaikos gulf. The microseismic investigation has revealed that the area from the Mygdonian basin to the Lerissos gulf might be characterized by relatively intense seismic activity. This area concentrates high amounts of the seismic energy of the whole area and at particular time periods releases this energy creating rather big earthquakes, so that this area can be considered as the largest source of seismic hazard.

6.3 Recent crustal stress field of the area

The seismic sequence of 20 June 1978 was starting point for many seismological and neotectonic

studies dealing with the recent stress field in the wider area of Mygdonian basin. These studies have identified a well established extensional contemporary stress field with N-S trending, almost horizontal, tensional direction. Due to this contemporary stress field, which from the neotectonic studies has been constrained since the middle Pleistocene, the pre-existing normal faults (the faults that had already formed the Mygdonian basin) were reactivated giving rise to the present seismicity. Similar conclusions can be drawn from the focal mechanisms recorded from 1981 to 1984 and from microearthquake focal mechanisms.

Moreover, most of the above mentioned neotectonic studies have also show that an extensional stress field with NE-SW trending tensional direction governed the area during the late Miocene - early Pleistocene.

6.4 Seismic activity of the Langadas sheet

The conclusions concerning the seismicity of the Langadas sheet are based on:

(a) the published earthquakes of the period 1900-1986. These data can be divided into the following periods of seismicity:

$M_s > 5.5$	1901-1910
$M > 4.9$	1911-1949
$M_s > 4.5$	1950-1980

However the data are sufficient for the following magnitudes and time periods of the seismic events:

$M_s > 6.5$	1901 -1910
$M_s > 5.2$	1911-1949
$M_s > 4.8$	1950-1980
$M_s > 4.5$	1964-1980

Additionally, the focal parameters of the earthquakes occurring after 1970 have been recalculated.

(b) the instrumentally recorded microearthquakes (magnitude $M_s > 1.5$) of the period 1981 - 1986. These data are sufficient for the microearthquakes of $M_s > 2.6$. Their focal depths have been estimated with the use of the programme HYPO 71 (revised) so that the calculation error is less than 3km.

(c) the data derived from two research seismic experiments in the area of Mygdonia based on the collaboration between the Geophysical Laboratory of Aristotle University and Geophysical institute of Grenoble (IRIGM) carried out. The focal parameters of the recorded earthquakes were calculated using the HYPO 71 (revised) programme and the calculation error is less than 3km. However, the magnitudes of these microearthquakes were not calculated.

Thus we can conclude that the seismicity of the Langadas neotectonic sheet is very intense and is mostly concentrated in the Mygdonian basin as shown from the geographical distribution of the earthquakes (superimposed transparency). In fact, the Mygdonian basin concentrates the largest seismic activity in northern Greece. In particular, on the superimposed earthquake map transparency 482 earthquakes are shown of which 306 have estimated magnitudes (fig. 19).

Additionally there are some dispersed concentrations of earthquake epicentres in the rest of the sheet, without however certain preference. Their magnitude as shown in fig. 19 ranges from $M_s=1.5$ to $m_s=6.6$, but the most common are from $M_s=2.0$ to $M_s=3.5$. During this century the strongest earthquake occurred in the area of Assiros on July 1906 with $M_s=6.6$

Finally, the focal depth of the earthquakes in the sheet are shown in fig. 20 and are less than 20 km (there are 3 exceptional earthquakes). The most common focal depths are between 5-15 km and the mean is 9 km.

