

# **ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.000**

**ΦΥΛΛΟ "ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ"**

**ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΟ ΤΕΥΧΟΣ**

**Επιστημονικώς Υπεύθυνος: Καθηγητής Δημοσθένης ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ**

**2006**

# ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

## Φύλλο: ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ

Κλίμακα: 1:100.000

Επιστημονικώς Υπεύθυνος: Καθηγητής Δημοσθένης ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ερευνητική Ομάδα:

1. Μουντράκης Δημοσθένης, Καθηγητής Α.Π.Θ.	Ειδικότητα:	Τεκτονική Γεωλογία
2. Κίλιας Αδαμάντιος, Καθηγητής Α.Π.Θ.	“	Τεκτονική Γεωλογία
3. Παυλίδης Σπύρος, Καθηγητής Α.Π.Θ.	“	Νεοτεκτονική
4. Τρανός Μάρκος, Διδάκτορας Α.Π.Θ.	“	Τεκτονική Γεωλογία
5. Σπυρόπουλος Νικόλαος, Διδάκτορας Α.Π.Θ.	“	Τεκτονική Γεωλογία
6. Ζούρος Νικόλαος, Διδάκτορας Α.Π.Θ.	“	Τεκτονική Γεωλογία
7. Συρίδης Γεώργιος, Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.	“	Στρωματογραφία
8. Σκορδύλης Μανώλης, Επικ. Καθηγητής Α.Π.Θ.	“	Σεισμολογία
9. Βαβλιάκης Ελευθέριος, Καθηγητής Α.Π.Θ.	“	Γεωμορφολογία
10. Θωμαΐδου Ευφημία, Υποψήφια Διδάκτορας Α.Π.Θ.	“	Τεκτονική Γεωλογία -GIS

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
1.1 Γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής .....	3
1.2 Σκοπός και μεθοδολογία της έρευνας .....	3
2. ΑΛΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΑΛΠΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	7
3. ΜΕΤΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (Στρωματογραφία Νεογενούς-Τεταρτογενούς) .....	11
3.1 Λεκάνη Στρυμόνα .....	11
3.2. Παραλιακή λεκάνη Κόλπου Ορφανού (Στρυμονικού).....	22
3.3 Λεκάνη Μυθονιάς .....	25
4. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....	28
4.1 Νεοτεκτονικό πλαίσιο .....	28
4.2 Περιγραφή των ενεργών ρηγμάτων .....	30
1. Σεισμικό Ρήγμα Στρατωνίου.....	30
2. Ενεργό Ρήγμα Βαρβάρας .....	32
3. Ρήγματα Στρατονικού όρους.....	33
4. Ενεργό ρήγμα Νέας Μάδυτου.....	34
5. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Ολυμπιάδας-Βόλβης .....	34
6. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Μικρής Βόλβης-Βαμβακιάς .....	35
7. Ενεργό Ρήγμα Αρέθουσας .....	36
8. Ομάδα Ενεργών Ρηγμάτων Οφρυνίου-Γαληψού.....	37
9. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Παγγαίου.....	39
10. Ρήγματα περιοχής Δήμητρας.....	40
11. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Νιγρίτας-Σιτοχώριου-Δάφνης .....	41
12. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα περιοχής Ασπροβάλτας .....	44
5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ (Σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ) .....	45
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ .....	53
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	56

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## *1.1 Γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής*

Το φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κλίμακας 1:100.000 βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και ορίζεται από τις συντεταγμένες:

α) Γεωγραφικό Μήκος Ανατολικό 23°30' - 24°00'

β) Γεωγραφικό Πλάτος Βόρειο 40°30' - 41°00'

Κυρίαρχο φυσικογεωγραφικό στοιχείο της περιοχής του χάρτη είναι ο ποταμός Στρυμώνας με την καλά διαμορφωμένη λεκάνη του, που δεσπόζει στο κεντρικό-βόρειο τμήμα του χάρτη. Η λεκάνη του Στρυμώνα διαχωρίζει ουσιαστικά τον ορεινό όγκο των Κερδυλλίων με μέγιστο υψόμετρο 1032 m (δυτικό τμήμα χάρτη), από το όρος Παγγαίο (ανατολικό τμήμα χάρτη).

Στο ΝΔ τμήμα του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ ορθώνεται το Στρατονικό όρος με μέγιστο υψόμετρο 820 m, το οποίο διαχωρίζεται από το όρος των Κερδυλλίων με τη λίμνη Βόλβη.

## *1.2 Σκοπός και μεθοδολογία της έρευνας*

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 λεπτομερή 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 λεπτομερή υπαίθρια έρευνα,
- με την εξέταση αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:33.000

- 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. 10X10m).

- με την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων αναγλύφου με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Arc GIS, ver. B. 1)

Κατά την υπαίθρια εργασία αναζητήθηκαν 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 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 ρήγματος 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.

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.

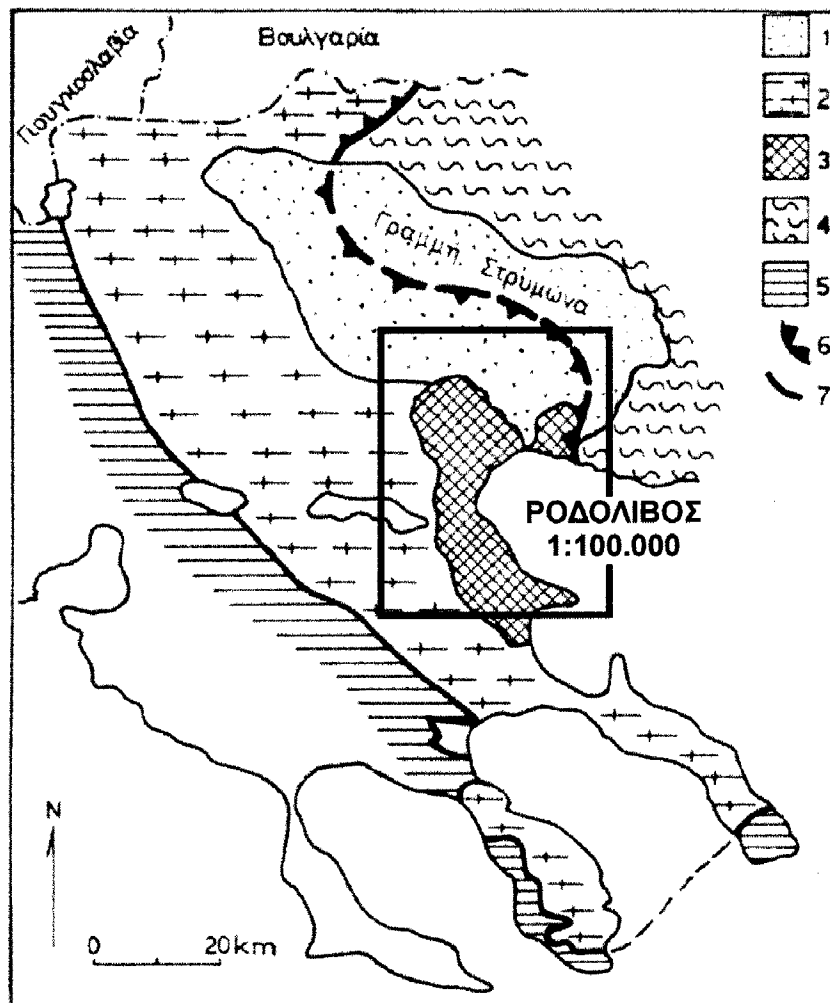
Στα ρήγματα του νεοτεκτονικού χάρτη σημειώνεται και η διεύθυνση ολίσθησης της τελευταίας (πιο πρόσφατης) τεκτονικής κίνησης όπως καθορίζεται από τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης. Δεν σημειώνονται οι παλαιότερες κινήσεις που διαπιστώθηκαν, για να μην προκληθεί σύγχυση στον κύριο στόχο που είναι η διαπίστωση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

Για την εκπόνηση του νεοτεκτονικού χάρτη, φύλλο «Ροδολίβος» έγινε αξιολόγηση και αξιοποίηση όλων των προγενέστερων γεωλογικών εργασιών και χαρτών σε συσχέτιση και με τα στοιχεία υπαίθρου που συλλέχτηκαν από την ερευνητική ομάδα. Λήφθηκαν υπόψη οι υπάρχοντες γεωλογικοί χάρτες της περιοχής: (1) Σιτοχώρι (ΙΓΕΥ 1970), (2), Σταυρός (ΙΓΜΕ 1978), (3) Στρατονίκη (ΙΓΜΕ 1978), (4) Ροδολίβος (ΙΓΜΕ 1984), όσο και των διαφόρων άλλων επιστημονικών εργασιών όπως π.χ. των Kockel et al. (1977).

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 τελική μορφή και σχεδίαση του νεοτεκτονικού χάρτη φύλλο «Ροδολίβος».

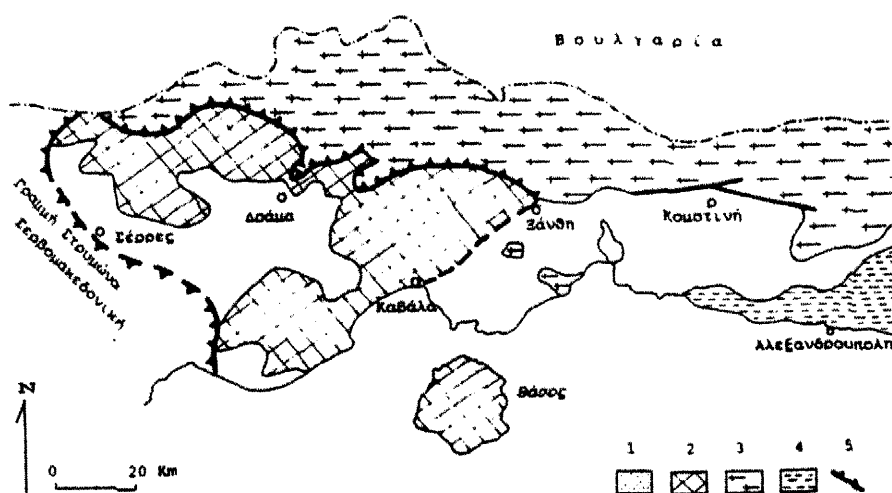
## 2. ΑΛΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΑΛΠΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή την οποία καλύπτει το φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ ανήκει από την άποψη της αλπικής-προαλπικής δομής στις Μάζες Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής, οι οποίες διαχωρίζονται από την "Τεκτονική Γραμμή Στρυμόνα" (σχ. 1).

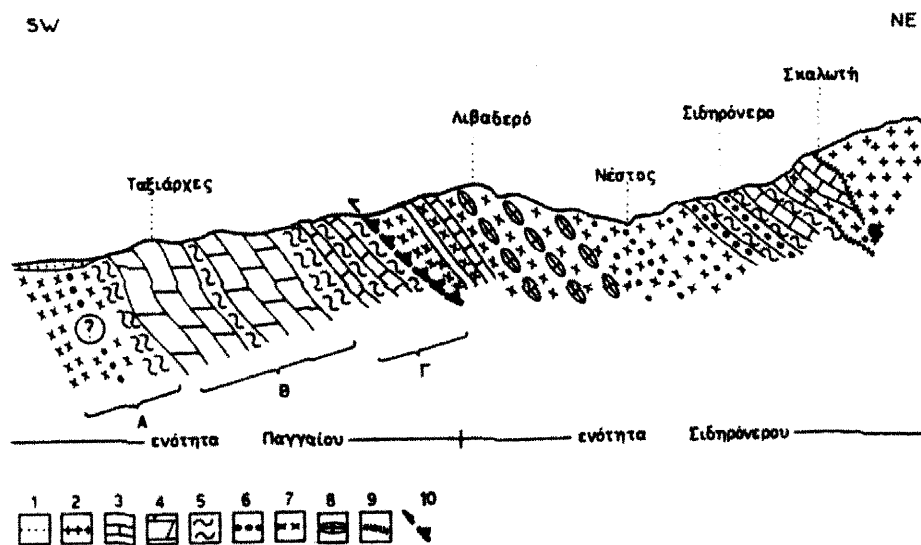


Σχ. 1. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας, στο οποίο προσδιορίζεται το φύλλο Ροδολίβος 1:100.000 (τροποποιημένο από Μουντράκης 1985). 1: μεταλλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμόνα, 2: σειρά του Βερτίσκου, 3: σειρά των Κερδυλλίων, 4: μάζα της Ροδόπης, 5: Περιοδοπική ζώνη, 6: ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμόνα), 7: δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής.





Σχ. 2. Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης. 1: Μεταλπικά ιζήματα, 2: ενότητα Παγγαίου, 3: ενότητα Σιδηρόνερου, 4: σχηματισμοί της Περιοδοπικής ζώνης, 5: γραμμή επώθησης (από Μουντράκης 1985)



Σχ. 3. Σχηματική γεωλογική τομή στην επριοχή Σιδηρόνερου Δράμας στην οποία απεικονίζονται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των δύο ενότητων Σιδηρόνερου και Παγγαίου. 1: προσχώσεις, 2: γρανίτης, 3: ενστρώσεις μαρμάρων, 4: ορίζοντας μαρμάρων μεγάλου πάχους, 5: μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, 6: αμφιβολίτες, 7: γνεύσιοι, 8: οφθαλμογνεύσιοι, 9: φαινόμενα διείδυσης του γρανίτη, 10: πιθανή επώθηση. Α,Β,Γ, οι τρεις ορίζοντες της ενότητας Παγγαίου, κατώτερος, μεσαίος, ανώτερος. ?: πιθανή συνέχιση κάτω από τις προσχώσεις του κατώτερου ορίζοντα Α, ο οποίος παρατηρείται επιφανειακά σε νοτιότερες περιοχές (από Μουντράκης 1985).

Η Μάζα της Ροδόπης συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία έχουν διαχωριστεί σε δύο τεκτονικές ενότητες (σχ. 2 και 3):

(Α) την ανώτερη τεκτονικά "Ενότητα Σιδηρόνερου" που βρίσκεται στα Βόρεια κατά μήκος των Ελληνοβουλγαρικών συνόρων και αποτελείται κυρίως από ορθογενέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες,

(Β) την κατώτερη τεκτονικά "Ενότητα Παγγαίου" στη νοτιοδυτική Ροδόπη που συγκροτείται από έναν κατώτερο ορίζοντα με ορθογενέσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και ένα ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων.

Η Ενότητα Σιδηρόνερου επιπτεύει την Ενότητα Παγγαίου από Βορρά προς Νότο κατά μήκος μιας μεγάλου μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής ΔΒΔ-ΑΝΑ (110°) διεύθυνσης.

Μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και των δύο ενοτήτων διεισδύουν μεγάλα και μικρότερα όξινα πλουτωνικά σώματα γρανιτικής κυρίως σύστασης ηλικίας Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου (50-25 εκατομμυρίων ετών).

Το φύλλο χάρτης ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κατέχεται από πετρώματα μόνο της Ενότητας Παγγαίου και κυρίως από μάρμαρα του μεσαίου ορίζοντα καθώς και ορισμένους γνεύσιους και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους του κατώτερου ορίζοντα.

Η Σερβομακεδονική μάζα είναι γνωστό ότι συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία τοποθετούνται σε δύο ενότητες (σχ. 1):

(Α) την κατώτερη "Ενότητα Κερδυλλίων" που συνίσταται από αλλεπάλληλους ορίζοντες γνευσίων, αμφιβολιτών και μαρμάρων με συχνά τα φαινόμενα μιγματιτώσεως των γνευσίων, και

(Β) την ανώτερη "Ενότητα Βερτίσκου" που αποτελείται από γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που

προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Συχνά μέσα στην Ενότητα Βερτίσκου παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές και οφειολιθικά πετρώματα.

Μέσα στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής διεισδύουν μεγάλα και μικρότερα όξινα πλουτωνικά σώματα Μεσοζωϊκής και Τριτογενούς ηλικίας, καθώς και πλήθος απλιτικών και πηγματιτικών φλεβών της ίδιας ηλικίας, πολλές από τις οποίες είναι οι φορείς της γνωστής πλούσιας μεταλλοφορίας μεικτών θειούχων της Χαλκιδικής. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για την όξινη πλουτωνική διείσδυση του Στρατωνίου (γρανοδιορίτης Άνω Ολιγοκαινικής ηλικίας, που βρίσκεται στα όρια του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ καθώς και την πλούσια φλεβική μεταλλοφορία ανάλογης ηλικίας που είναι γενικά εκτεταμένη στην ευρύτερη περιοχή Στρατωνίου-Ολυμπιάδας.

Στην παρούσα χαρτογράφηση όλα τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα όλων των ενοτήτων της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής αναφέρονται ενιαία ως πετρώματα του αλπικού και προαλπικού υποβάθρου και διακρίνονται χαρτογραφικά μόνο τα μάρμαρα, οι οφειόλιθοι και τα όξινα πλουτωνικά (γρανιτικά) πετρώματα.

### **3. ΜΕΤΑΛΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (Στρωματογραφία Νεογενούς-Τεταρτογενούς)**

Οι νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις που εμφανίζονται στο φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ, κλίμακας 1:100.000 αποτελούν τα υλικά πλήρωσης τριών λεκανών: Της λεκάνης του Στρυμώνα στο βόρειο τμήμα του χάρτη, της γειτονικής με αυτήν λεκάνης του Στρυμωνικού Κόλπου στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του χάρτη και της Μυγδονίας λεκάνης στο νοτιοδυτικό τμήμα του χάρτη.

Η περιγραφή των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων θα γίνει στη συνέχεια κατά λεκάνη και από τις παλαιότερες προς τις νεότερες αποθέσεις, σύμφωνα με την πιο εφικτή αναλυτική διαίρεση που επιτεύχθηκε κατά την παρούσα χαρτογράφηση με τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα στρωματογραφικά στοιχεία.

#### **3.1 Λεκάνη Στρυμώνα**

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η γεωλογία (τεκτονική και στρωματογραφία) της ευρύτερης λεκάνης του Στρυμώνα παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα που εκφράζεται με τις πολλές και διϊστάμενες απόψεις που έχουν δημοσιευθεί μέχρι σήμερα (Freyberg 1951; Παρασκευαΐδης 1952; Gramman & Kockel 1969; Armour-Brown et al. 1977; Καρυστιναίος 1984; Kiliyas & Mountrakis 1990; Dinter & Royden 1993; Kiliyas & Mountrakis 1998; Kiliyas et al. 1999; Syrides 2000).

Ιδιαίτερα για τα Νεογενή ιζήματα των λεκανών υπάρχει σημαντική ασυμβατότητα στις επιμέρους μελέτες. Η ασυμβατότητα αυτή των απόψεων παρατηρείται και στα υπομνήματα των γεωλογικών χαρτών "Σιτοχώρι, 1:50.000" (ΠΓΕΥ 1970) και "Ροδολίβος, 1:50.000" (ΙΓΜΕ 1984). Για το λόγο αυτό στην παρούσα μελέτη και το συνοδευτικό τεύχος που κατατίθεται επιχειρούμε να δώσουμε μία συνθετική στρωματογραφική διάρθρωση των ιζημάτων για τις επιμέρους λεκάνες και ταυτόχρονα η παρουσίαση να είναι τέτοια ώστε να είναι δυνατή μια παράλληλη συσχέτιση των λεκανών στο μεγαλύτερο τμήμα τους. Η περιγραφή που ακολουθεί

γίνεται από τους παλαιότερους σχηματισμούς προς τους νεότερους με τις απαραίτητες συσχετίσεις και τους παραλληλισμούς.

### **3.1.1. Ιζήματα Ανω Μειοκαίνου**

Τα παλαιότερα Νεογενή ιζήματα που αναγνωρίζονται στο φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ είναι τα ανωμειοκαινικά ιζήματα. Τα ιζήματα αυτά που έχουν πληρώσει τη λεκάνη του Στρυμόνα, εμφανίζονται σήμερα να καταλαμβάνουν τα περιθωριακά τμήματα της λεκάνης, όπως στη βόρεια πλευρά του όρους Κερδύλλια και στη δυτική πλευρά του Παγγαίου, όπου όμως καλύπτονται από ένα εκτεταμένο κάλυμμα νεότερων τεταρτογενών αποθέσεων. Στο παρών νεοτεκτονικό χάρτη διακρίθηκαν οι παρακάτω τρεις ομάδες ανωμειοκαινικών ιζημάτων από τα αρχαιότερα προς τα νεότερα:

**(1) Ms, co, c:** Βασικά κροκαλοπαγή. Πρόκειται για πολύμεικτα αδιαβάθμητα κροκαλοπαγή με καλά αποστρογγυλωμένες κροκάλες μαρμάρων, οφειολίθων, γνευσίων-σχιστολίθων, μεγέθους έως 70 cm. Εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Αμφίπολης πάνω στο υπόβαθρο, ενώ μικρότερες εμφανίσεις τους αναφέρονται Νότια του Κοκκινοχωρίου. Δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα, αλλά με στρωματογραφικά κριτήρια μπορούν να θεωρηθούν ως τα παλαιότερα νεογενή της ευρύτερης λεκάνης του Στρυμόνα και του Στρυμονικού Κόλπου. Τα ιζήματα αυτά υπόκεινται της Κατώτερης Ομάδας (Ms, co-lk) και πιθανότατα συνιστούν τη βάση της.

**(2) Ms, co-lk:** Κατώτερη Ομάδα. Πρόκειται για χερσαία, χερσοποτάμια και λιμναία ανωμειοκαινικά ιζήματα, στα ανώτερα τμήματα των οποίων ενδιαστρώνονται κατά θέσεις λιγνιτοφόροι ορίζοντες (που έχουν περιγραφεί ως Σειρά Λιγνιτών, κατά Gramman & Kockel, 1969 και Σχηματισμός Λιγνιτών Σερρών, κατά Καρυστιναίο, 1984). Ειδικότερα, τα υποκείμενα των λιγνιτοφόρων οριζόντων είναι κυρίως ριπιδιοπαγή πολύμεικτα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες (τα οποία έχουν περιγραφεί ως Υποκείμενη σειρά, κατά Gramman & Kockel 1969; Σχηματισμός Κροκαλοπαγών βύθισης και Σχηματισμός Ψαμμιτών Λευκώνα, κατά Καρυστιναίο, 1984; Ριπιδιοπαγές

Ανω Μετοχίου, κατά Armour-Brown et al. 1977). Τα ιζήματα της Κατώτερης Ομάδας αντιπροσωπεύουν τα κλαστικά υλικά πλήρωσης κατά το σχηματισμό της ευρύτερης λεκάνης Στρυμώνα (Καρυστιναίος 1984). Τα ιζήματα μέσα στα οποία ενδιαστρώνονται οι λιγνίτες είναι λεπτόκοκκα κλαστικά και χημικά ιζήματα, όπως άμμοι-ψαμμίτες, ιλύες-άργιλοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι-ασβεστοψαμμίτες, τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι, με φακοειδείς παρεμβολές κροκαλοπαγών. Γενικά τα ιζήματα της Κατώτερης Ομάδας έχουν περιγραφεί ως Βασική Σειρά, κατά Gramman & Kockel 1969; Σχηματισμός Λευκώνα, κατά Armour-Brown et al. 1977; Ομάδα Λευκώνα, κατά Καρυστιναίο 1984). Ειδικότερα, στη δυτική πλευρά του Παγγαίου όρους αναγνωρίζονται κυανότεφρες σκληρές μάργες με λιμναία απολιθώματα *Planorbis* sp. *Melanopsis* sp. εντός των οποίων κατά θέσεις παρατηρούνται ενστρώσεις χονδρόκοκκων άμμων και μικρές επιφανειακές εμφανίσεις λιγνιτών, καθώς και πλευρικές παρεμβολές κροκαλοπαγών όπως στην περιοχή Πρώτης-Ροδολίβους. Υπερκείμενοι των μαργών, με βαθμιαία προς τα άνω μετάβαση σε πολλά σημεία, εμφανίζονται μαζώδεις μαργαϊκοί-τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της ηλικίας της Κατώτερης Ομάδας υπάρχουν τα εξής δεδομένα:

Στα ανώτερα τμήματα του Σχηματισμού Λιγνιτών Σερρών βρέθηκε ο *Steneofiber jaegeri* που δείχνει ανωμειοκαινική ηλικία (Melentis 1966), ενώ στα κατώτερα του τμήματα έχουν βρεθεί και προσδιορίζεται από τους Καρυστιναίο (1984) και de Bruijn et al. (1989) απολιθώματα μικροθηλαστικών με τα είδη: *Pliopetaurista bressana*, *Progonomys cathalai*, *Parapodemus* cf. *lugdunensis*, *Byzantinia* sp., *Kovalskia intermedia*, που δείχνουν Ανώτερο Βαλλέζιο (MN10). Παλυνολογικοί προσδιορισμοί αντίστοιχων ιζημάτων έδειξαν Ανώτατο Βαλλέζιο-Κατώτατο Τουρόλιο (Καρυστιναίος 1984; Karistinaios & Ioakim 1989).

Στα ανώτερα τμήματα του Σχηματισμού Λιγνιτών Σερρών βρέθηκε από τον Καρυστιναίο (1984) μια πλούσια πανίδα μικροθηλαστικών-θηλαστικών του Ανώτερου

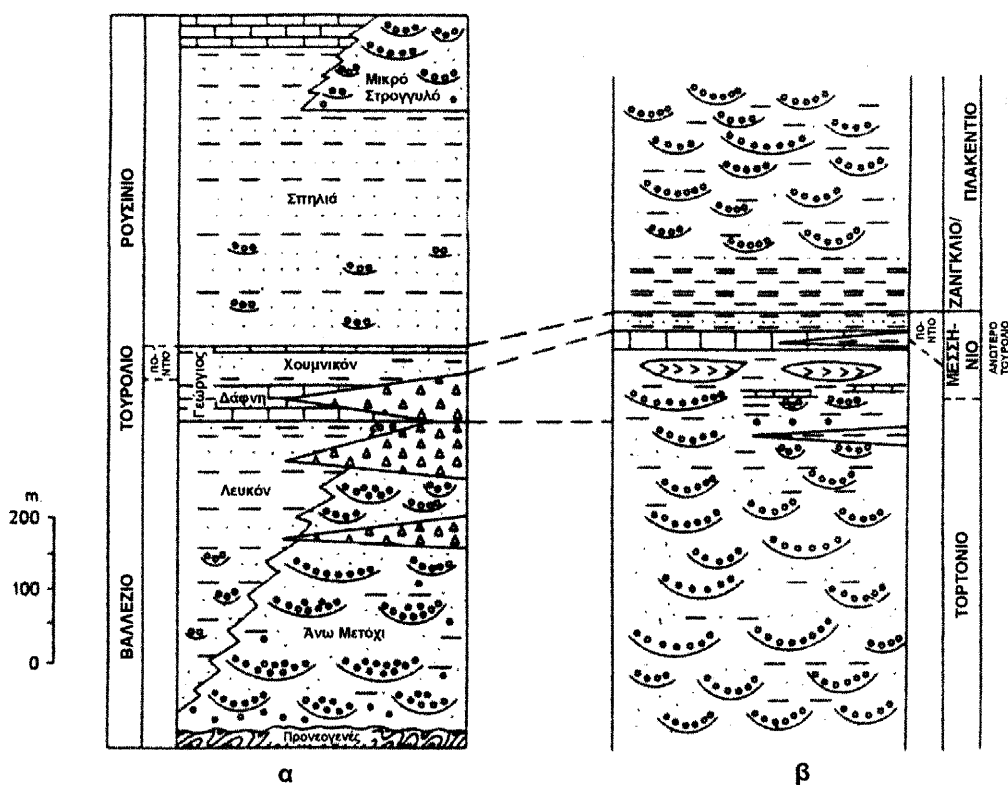
Τουρόλιου (MN-13). Με βάση τα παραπάνω η ηλικία των λιγνιτοφόρων ιζημάτων και ολόκληρης επίσης της κατώτερης ομάδας είναι Ανώ Μειόκαινο.

**(2) Ms, ma-lg:** Ανώτερη Ομάδα. Πρόκειται για θαλάσσια-υφάλμυρα ιζήματα τα οποία έχουν περιγραφεί ως Στρώματα Δάφνης και Στρώματα Χουμνικού, από τους Gramman & Kockel 1969; Σχηματισμός Γεωργίου από τους Armour-Brown et al. 1977; Και Ψαμμίτες Γεωργίου, από τον Καρυστιναίο 1984. Τα ιζήματα αυτά είναι απολιθωματοφόρα αρχικά θαλάσσιας και μετέπειτα υφάλμυρης φάσης, τα οποία έχουν αποτεθεί επικλυσιογενώς τόσο επάνω στα ιζήματα της Κατώτερης Ομάδας όσο και επάνω στο προ-Νεογενές υπόβαθρο. Τα κατώτερα τμήματα της Ανώτερης Ομάδας συγκροτούν τα Στρώματα Δάφνης, τα οποία αποτελούνται από ψαμμίτες και ασβεστόλιθους θαλάσσιας φάσης και εμφανίζονται κυρίως στη βόρεια πλευρά του όρους Κερδύλλια. Τα ανώτερα τμήματα της Ανώτερης Ομάδας συγκροτούν τα Στρώματα Χουμνικού, τα οποία αποτελούνται από μάργες, άμμους-ψαμμίτες, αργίλους υφάλμυρης-λιμνο-θαλάσσιας φάσης. Εμφανίζονται στους βόρειους πρόποδες του όρους Κερδύλλια και θεωρείται ότι αποτελούν την προς τα πάνω μετάβαση των υποκείμενων, θαλάσσιας φάσης, Στρωμάτων Δάφνης.

Οι Gramman & Kockel (1969) εντόπισαν στα Στρώματα Δάφνης πανίδες τρηματοφόρων οστρακωδών και μαλακίων ανωμειοκαινικής (Πόντιας) ηλικίας. Νεότερη έρευνα (Syrides, 2000) επιβεβαίωσε την ύπαρξη και τη χρονολόγηση αυτών των θαλάσσιων ιζημάτων (Στρώματα Δάφνης) καθώς και των αμέσως υπερκείμενων υφάλμυρων ιζημάτων (Στρώματα Χουμνικού) σε αρκετές θέσεις κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της λεκάνης Στρυμόνα. Τα Στρώματα Δάφνης αντιστοιχούν στην πρώτη είσοδο της θάλασσας στη λεκάνη Στρυμόνα, και μέσα σ' αυτά βρέθηκαν απολιθώματα θαλάσσιων μαλακίων (*Pecten*, *Ostrea*), τρηματοφόρων (*Borelis*) και κοράλλια (*Porites*), τα οποία τα χρονολογούν στο Ανώτερο Μειόκαινο. Τα υπερκείμενα Στρώματα Χουμνικού περιέχουν χαρακτηριστικές πανίδες μαλακίων της Παρατηθύος (*Limnocardiidae*, *Dreissenidae*) και αντιπροσωπεύουν ιζήματα ενός

εκτεταμένου υφάλμυρου περιβάλλοντος που κατά το Ανώτατο Μειόκαινο (Πόντιο) επικρατούσε στο χώρο του Βόρειου Αιγαίου (Syrides 1988).

Στην περιοχή Σερρών (κοιλάδα Χριστού) οι Armour-Brown et al. (1977) αναφέρουν αντίστοιχα ιζήματα με την ονομασία Σχηματισμός Γεωργίου και τα χρονολογούν στο Ανώτατο Μειόκαινο (Σχ. 4). Όμως κατά τους Καρυστιναίο (1984) και Karistineos et al. (1985/86) ο Σχηματισμός Γεωργίου, έπειτα από ανεύρεση, στην περιοχή Σερρών (κοιλάδα Χριστού), απολιθωμάτων μαλακίων *Anadara pectinata*, *Anadara* sp., *Anodonta (Loripimus) fragilis*, *Cardium* sp., *Dosinia exoleta*, *Lucina* sp. *Modiola* sp. *Nucula sulcata* *Nucula nucleus*, *Anomia ephippium*, *Corbula* sp. *Hinnites* sp. *Lutraria lutraria*, *Pecten benedictus*, *Tellina planata* *Tellina* sp., *Venus* sp., *Pinna* cf *tetragona*, και κοραλλίων *Siderastrea crenulata*, *Tarbelastrea* sp. θεωρήθηκε ηλικίας Κατωτέρου Πλειοκαίνου.



Σχ. 4. Συνθετικές λιθοστρωματογραφικές στήλες: (α) της περιοχής Σερρών, λεκάνη Σερμώννα (τροποποιημένο από Armour-Brown et al. 1977), (β) της περιοχής Στρυμωνικού κόλπου (τροποποιημένο από Steffens et al. 1979).



Τόσο οι Armour-Brown et al. (1977) όσο και ο Καρυστιναίος (1984) και Karistineos & Georgiades-Dikeoulia 1985/86) αναφέρονται στην ίδια τομή που εμφανίζεται στην κοιλάδα του χωριού Άνω Χριστός. Νεότερη μελέτη της ίδιας τομής (Syrides 2000) επιβεβαιώνει την παρουσία στα κατώτερα τμήματα της τομής θαλάσσιων απολιθωμάτων (Στρώματα Δάφνης), ενώ στα ανώτερα τμήματα εμφανίζονται Limnocardiiidae, Dreissenidae που δίνουν ηλικία Ανώτατο Μειόκαινο (Πόντιο) και εντάσσουν το τμήμα αυτό των ιζημάτων στα Στρώματα Χουμνικού, οπότε αυτά και συνεπώς η Ανώτερη Ομάδα είναι ηλικίας Ανω Μειοκαίνου και όχι Πλειοκαίνου.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ		ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΠΑΛΑΙΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ
ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ			Χερσαίο	Ριπιδοπαγή
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ	Ανώτερο		Λιμνοθαλάσσιο	
	Κατώτερο		Θαλάσσιο	
ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ	Ανώτατο (Πόντιο)		Υφάλμυρο είσοδος Παρατηθύος	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΧΟΥΜΝΙΚΟΥ
	Ανώτερο		Θαλάσσιο	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΔΑΦΝΗΣ
ΠΡΟ-ΝΕΟΓΕΝΕΣ			Ποτάμιο - Χερσαίο - Λιμναίο (λιγνίτες)	
			ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	

Σχ. 5. Συνθετική στρωματογραφική στήλη του νοτιοανατολικού τμήματος της Λεκάνης Στρυμόνα (από Syrides 2000).

### 3.1.2. Ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου

Στα ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου έχουν συμπεριληφθεί ιζήματα, τα οποία αν και παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση στη λεκάνη Στρυμόνα, εντούτοις τα διαθέσιμα στρωματογραφικά στοιχεία και απολιθώματα δεν επιτρέπουν προς το παρόν περαιτέρω διαχωρισμό και χρονολόγησή τους. Ενώ στις λίγες περιπτώσεις που αυτά χρονολογήθηκαν η έκτασή τους δεν είναι χαρτογραφήσιμη.

(1) **Ms-Pl, co-Ig:** Περιλαμβάνονται ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, στα οποία κατά θέσεις αναγνωρίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις. Ειδικότερα, στην περιοχή Νότια της Νιγρίτας εμφανίζονται ερυθροστρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως Στρώματα Τερπνής (ΙΓΕΥ 1970). Η στρωματογραφική τους θέση δεν είναι σαφής. Επειδή βρίσκονται στα περιθώρια της λεκάνης είναι πολύ πιθανό να αποτελούνται από επάλληλες αποθέσεις ερυθροστρωμάτων διαφορετικής ηλικίας. Στην περιοχή του Αηδονοχωρίου εμφανίζονται πολύμεικτα κροκαλοπαγή αποτελούμενα από εναλλαγές στρωμάτων-φακών αποστρογγυλωμένων κροκαλών και τεφροκίτρινης-τεφροπράσινης άμμου. Έχουν αποτεθεί ασύμφωνα με επιφάνεια διάβρωσης στα υποκείμενα ιζήματα και το περιβάλλον απόθεσής τους χαρακτηρίζεται λιμναίο-υφάλμυρο. Στα τμήματα του χαμηλού λοφώδους αναγλύφου που περιβάλλει την ευρύτερη περιοχή της αποξηρανθείσης λίμνης Αχινού, εμφανίζονται ως εναλλασόμενα ποικίλου πάχους στρώματα άμμων, ψαμμιτών, αργίλων, λεπτοστρωμένων αργιλούχων άμμων και λεπτών ενστρώσεων μαργαϊκών ψαμμιτών. Τρεις απολιθωματοφόρες θέσεις ασπονδύλων Δεκαλίστρα (DEK), Δραβήσκος (DRV) και Δήμητρα (DIM) (σχ. 5) εντοπίστηκαν μέσα σ' αυτά τα ιζήματα (Syrides 1995) με τις εξής πανίδες:

Θέση DEK: *Nucullana* cf. *pella*, *Anadara diluvii*, *Glycymeris*, sp., *Pectinidae* ind., *Anomia ehippium*, *Ostrea* sp., *Cardita* sp., *Glaus intermedia*, *Cerastoderma edule*, *Venus* sp., *Chamelea gallina*, *Tapes* sp., *Cerithium* sp., *Bethium* sp., *Triforis* sp., (Karistineos et al. 1985/86), *Nassarius* sp., *Dentalium* sp., *Elphidium* cf. *crispum*, *Nonion* sp., *Triloculina* sp.

Θέση DRV: *Ostrea* sp., *Cerastoderma edule*, *Mactra* sp., *Abra* sp., *Veneridae ind.*, *Donax* sp., *Barnea* sp., *Cerithium* sp., *Bittium* sp., *Epitomium* sp., *Neverita josephinia*, *Theodoxus* sp.

Θέση DIM: *Ostrea* sp., *Cerastoderma edule*, *Barnea* sp., *Abra* sp., *Certhium* sp., *Potamides* sp., *Bittium* sp., *Hudrobia* sp., *Nassarius* sp., ?*Murex* sp., *Dentalium* sp.

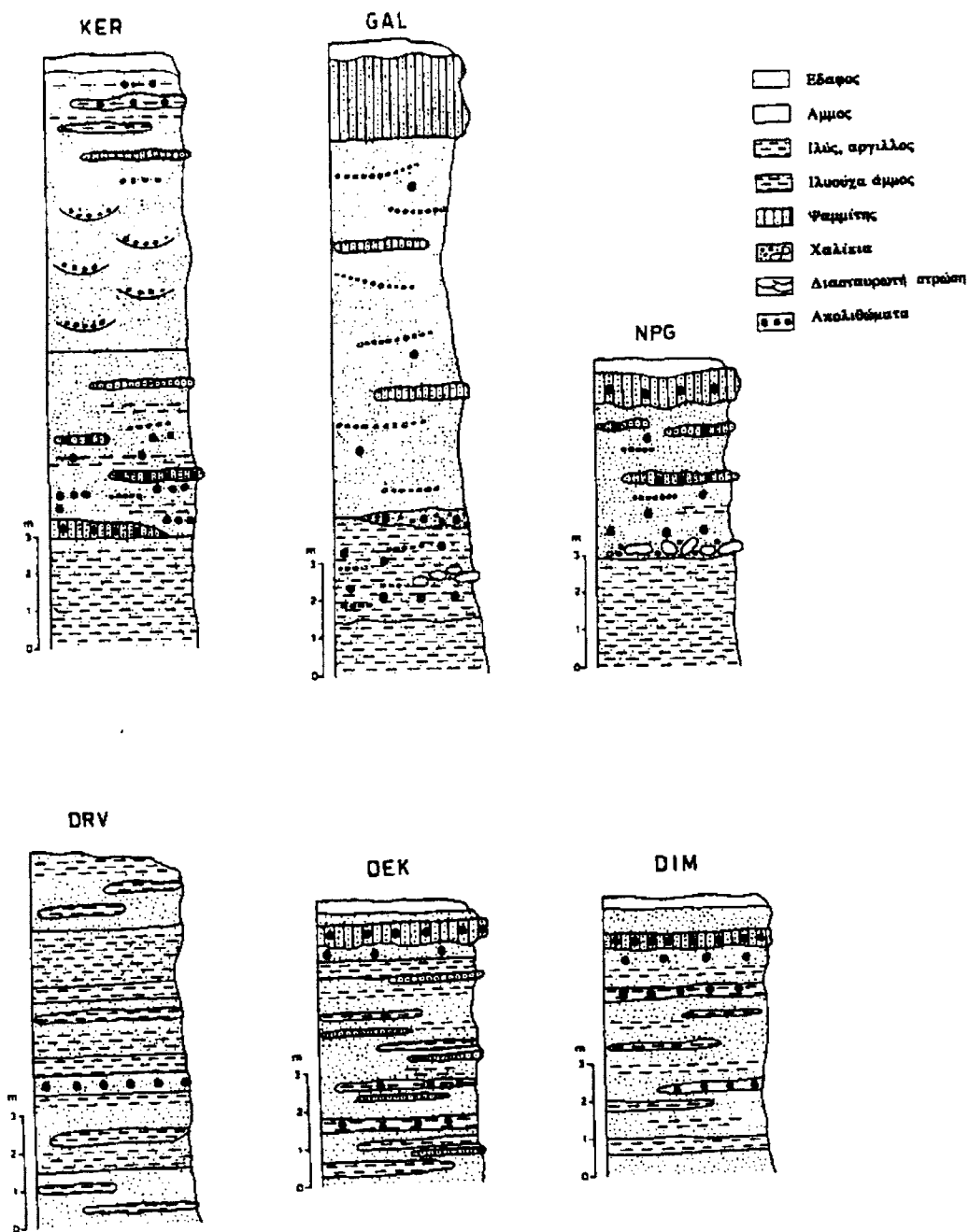
Όλες οι παραπάνω θέσεις περιέχουν πολυάριθμα μικρού μεγέθους *Cerastoderma edule*, *Cerithium* sp., *Potamides* sp., *Ostrea* sp., *Barnea* sp. και διάσπαρτους κρυστάλλους γύψου, ενώ στη θέση DRV εμφανίζονται *Theodoxus* sp.

Οι παραπάνω πανίδες δηλώνουν ρηχό θαλάσσιο-υφάλμυρο περιβάλλον με λεπτόκοκκη ιζηματογένεση, προσφορά γλυκού νερού (*Theodoxus* sp.) και κατά θέσεις εβαποριτικές συνθήκες (παρουσία γύψου).

### 3.1.3. Ιζήματα Πλειοκαίνου

(1) **Pl, ma:** Πλειοκαινικά θαλάσσια ιζήματα εντοπίζονται στην περιοχή της Νιγρίτας. Αποτελούνται από τεφροκίτρινους άμμους και ψαμμίτες, οι οποίοι περιέχουν απολιθώματα θαλάσσιων μαλακίων (Σχ. 5). Οι Σακελλαρίου-Μανέ & Συμεωνίδης (1968) αναφέρουν από την ευρύτερη περιοχή Νιγρίτας την εξής πλειοκαινική πανίδα μαλακίων: *Arca* sp. *Pecten benedictus*, *Chlamys scabrella*, *Anomia ephippium*, *Ostrea edulis* var. *lamellosa* *Pycnodonta cochlear* var. *navicularis*, *Cardium hians*, *C. echinatum*, *C. paucicostatum*, *Laevicardium oblongum*, *Venus gallina*. *Dosinia lupinus*, *Pitaria italica*, *Lutraria oblonga*, *Loripes lacteus*, *Metatrix chione*, *Circomphalus foliaceolamellosum pliocenicus*. *Tellina distorta*, *Mactra corallina*, *Panopea menardi*, *Pinna* sp. *Dreissena* sp., *Solen marginatus*, *Ensis ensis*, *Natica josephinia*, *Natica catena* var. *helicina*, *Nassa reticulata* *Terebra acuminata pergranularis*. *Aporrhais uttingerianus*, *Dentalium sexangulum*. Επίσης σε μια νέα απολιθωματοφόρα θέση στη Νιγρίτα (Σχ. 6, NPG) (Syrides 1995) έχει συλλεχτεί η εξής πλειοκαινική πανίδα: *Pecten benedictus*, *Chlamys* sp., *Ostrea* sp., *Anomia* sp., *Cardium* sp, *Chamelea gallina*, *Venus*

sp., *Circophalus* cf. *foliaceolamellosus*, *Callista italica*, *Panopea* sp., *Epitonium* sp., *Aporrhais pespelecani*, *Ditrupa* cf. *cornea*, *Elphidium* cf. *crispum*.



Σχ. 6. Λιθοστρωματογραφικές στήλες από απολιθωματοφόρες θέσεις της Λεκάνης Στρυμώνα (Νιγρίτα NPG, Δραβήσκος DRV, Δεκαλίστρα DEK, Δήμητρα DIM) και του Στρυμωνικού κόλπου (Κερδύλλια KER, Γαληψός GAL) (από Syrides 1993).

Στην περιοχή του χωριού Μυρρίνη (Θέση 3IER) εμφανίζονται μικρού πάχους άμμοι με *Ostrea*, *Pecten rhegienis*, *Flabellipecten Chlamys*, *Anomia*, Τρηματοφόρα και δόντι καρχαρία. Στη βάση τους κροκάλες μαρμάρων φέρουν σπές από λιθοφάγα δίθυρα και *Cliona* και επικολλημένες θυρίδες *Ostrea*, υποδηλώνοντας περιβάλλον παλαιοακτής (Syrides 2000). Τα στρώματα αυτά είναι πλειοκαινικής ηλικίας και επικάθονται ασύμφωνα σε κεκλιμένα ιζήματα αργύλων-ιλύων με *Dreissenidae*, *Limnocardiadae* τα οποία είναι στρωματογραφικά αντίστοιχα των Στρωμάτων Χουμνικού.

Η θέση αυτή είναι σημαντική γιατί δείχνει τη σαφή παρουσία μιας δεύτερης εισόδου της θάλασσας κατά το Πλειόκαινο στη λεκάνη του Στρυμόνα.

### **3.1.4. Ιζήματα Ανωτέρου Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου**

**(1) Pls-Pt, co:** Πρόκειται για κλαστικά ιζήματα που σχηματίστηκαν από τα υλικά διάβρωσης-αποσάθρωσης του υποβάθρου. Αποτελούνται από εναλλαγές φακοειδών ενστρώσεων λατυποκροκαλοπαγών και ερυθροστρωμάτων ποικίλου βαθμού συνοχής.

Η μεγαλύτερη τους εμφάνιση εντοπίζεται στους δυτικούς πρόποδες του Παγγαίου, όπου εμφανίζονται υπό μορφή εκτεταμένων αποθέσεων κυρίως ριπιδιοπαγών. Κοντά στο υπόβαθρο (μάρμαρα) επικρατούν ταγωνιώδη αδρόκοκκα υλικά στα ριπιδιοπαγή που είναι συνεκτικά και παχυστρωματώδη, ενώ σε μεγαλύτερη απόσταση παρατηρείται βαθμιαία μείωση του μεγέθους των λατύπων-κροκαλών και επικράτηση των ερυθροστρωμάτων.

Τα ιζήματα αυτά καλύπτουν ασύμφωνα τα υποκείμενα νεογενή σε μεγάλη έκταση, σχηματίζοντας ένα εκτεταμένο παχύ (40-80m) κάλυμμα στη δυτική πλευρά του Παγγαίου, αποτελούμενο από πολλές επάλληλες "γενιές" ριπιδίων.

Δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα, αλλά με συγκριτικές και λιθολογικές παρατηρήσεις θα μπορούσαν να θεωρηθούν ότι αποτέθηκαν κυρίως κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου. Είναι όμως πιθανό οι κατώτεροι ορίζοντες τους να άρχισαν να αποθέτονται στο Ανώτερο Πλειόκαινο.

### 3.1.5. Αποθέσεις Τεταρτογενούς

(1) **Pt-H, sc-cs**: Πλευρικά κορήματα και αλλουβιακά ριπίδια διαφόρων ηλικιών στους πρόποδες των ορέων Κερδύλλια και Παγγαίου.

#### 3.1.5α. Πλειστοκαινικές αποθέσεις

(1) **Pt, co**: Κλαστικά ιζήματα, άμμοι, χαλίκια, κροκάλες και καστανέρυθροι ιλύες, άργιλοι.

Στις αποθέσεις αυτές διακρίνονται τρία συστήματα ποτάμιων αναβαθμίδων. Το Ανώτερο, Μεσαίο, και Κατώτερο τα οποία βρίσκονται 30-40 m, 10-15 m και 5-6 m αντίστοιχα πάνω από τη σύγχρονη κοίτη των ποταμών.

Στα υλικά μιας αναβαθμίδας του μεσαίου συστήματος ανευρέθηκε και προσδιορίστηκε (Syrides & Koliadimou, 1994) πανίδα χερσαίων μαλακίων (*Amphimelania* cf. *holadri*, *Vertigo* sp., *Pupilla* sp., *Vallonia* sp., *Chondrula* cf. *tridens*, *Succinea* sp., *Clausiliidae* ind., ? *Pisidium* sp.) και πανίδα μικροθηλαστικών (*Arvicola* cf. *ferrestris*, *Microtus* cf. *arvalis*, *Apodemus sylvaticus/flavicolis* group, *Muridae* ind. *Spermophilus* ((*citellus*) *citeloides*). Με βάση την παραπάνω πανίδα η αναβαθμίδα χρονολογείται στο Ανώτερο Πλειστόκαινο.

#### 3.1.5β. Ολοκαινικές αποθέσεις

Σύμφωνα με τα λιθολογικά τους χαρακτηριστικά και την προέλευσή τους διακρίνονται:

(1) **H, al**: Αλλουβιακές αποθέσεις.

(2) **H, co**: Προσχώσεις κοιλάδων.

(3) **H, lk**: Λιμναίες αποθέσεις. Αμμούχοι άργιλοι, άργιλοι, ιλύες, λεπτόκοκκοι άμμοι και γενικά λιμναία ιζήματα των αποξηραμένων σήμερα Βρωμολιμνών και λίμνης Αχινού. Στην περιοχή της αποξηρανθείσης λίμνης Αχινού ανευρίσκονται κελύφη *Unio* sp. και σποραδικά *Planorbis* sp και *Viviparus* sp.

### **3.2. Παραλιακή λεκάνη Κόλπου Ορφανού (Στρυμονικού)**

Πρόκειται για τη συνέχεια προς ΝΑ της λεκάνης του Στρυμόνα από την οποία διαχωρίζεται με ένα στενό έξαρμα του προ-νεογενούς υπόβαθρου στο χώρο της Αμφίπολης. Ο σχηματισμός του εξάρματος και κατά συνέπεια και ο διαχωρισμός των δύο λεκανών πιθανότατα να οφείλεται στη ρηξιγενή τεκτονική που επέδρασε στη περιοχή κατά το Πλειστόκαινο. Η λεκάνη έχει πληρωθεί με αντίστοιχης ηλικίας ιζήματα, στα οποία όμως το θαλάσσιο περιβάλλον είναι πιο εκτεταμένο απ' ότι στη λεκάνη Στρυμόνα.

#### **3.2.1. Ιζήματα Ανω Μειοκαίνου**

(1) **Ms, co, c:** Βασικά κροκαλοπαγή. Είναι τα ίδια ιζήματα με αυτά της λεκάνης Στρυμόνα δηλαδή κροκαλοπαγή και άμμοι κυρίως ποταμοχειμάρρειας προέλευσης, τα οποία εμφανίζονται να καλύπτουν το υπόβαθρο, βόρεια του χωριού Νέα Κερδύλια.

(2) **Ms, co-lk:** Ιζήματα ανάλογα της Κατώτερης Ομάδας της λεκάνης Στρυμόνα.

#### **3.2.2. Ιζήματα Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου**

Πρόκειται για ποικίλα, κυρίως κλαστικά ιζήματα, τα οποία λόγω μη ευρέσεως απολιθωμάτων δεν μπορούν να χρονολογηθούν και να διαχωριστούν. Τα ιζήματα αυτά τα οποία τοποθετούμε στο Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο αδιαίρετα μόνο με συγκριτικά στρωματογραφικά και ιζηματολογικά κριτήρια.

(1) **Ms-Pl, co-lg:** Περιλαμβάνονται χερσαία, υφάλμυρα με σύντομες θαλάσσιες παρεμβολές ιζήματα, όπως: (α) Κλαστικά ιζήματα αποτελούμενα από λεπτοστρωμένους άμμους-αργίλους με παρεμβολές κατά θέσεις μαργών, και στρωμάτων άμμου που περιέχουν, κατά θέσεις *Ostrea*, (β) Τραβερτινοειδούς υφής, μαζώδεις-μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, το πάχος των οποίων φθάνει κατά θέσεις τις μερικές δεκάδες μέτρα. Οι

ασβεστόλιθοι αυτοί υπέρκεινται των προαναφερθέντων κλαστικών ιζημάτων και σχηματίζουν εκτεταμένα μορφολογικά καλύμματα στη νότια πλευρά του Παγγαίου.

### 3.2.3. Ιζήματα Πλειοκαίνου

Πρόκειται για ιζήματα που έχουν χρονολογηθεί στο Κάτω Πλειόκαινο και αντιστοιχούν στην επίκλυση του Κάτω Πλειοκαίνου (2<sup>η</sup> είσοδος της θάλασσας).

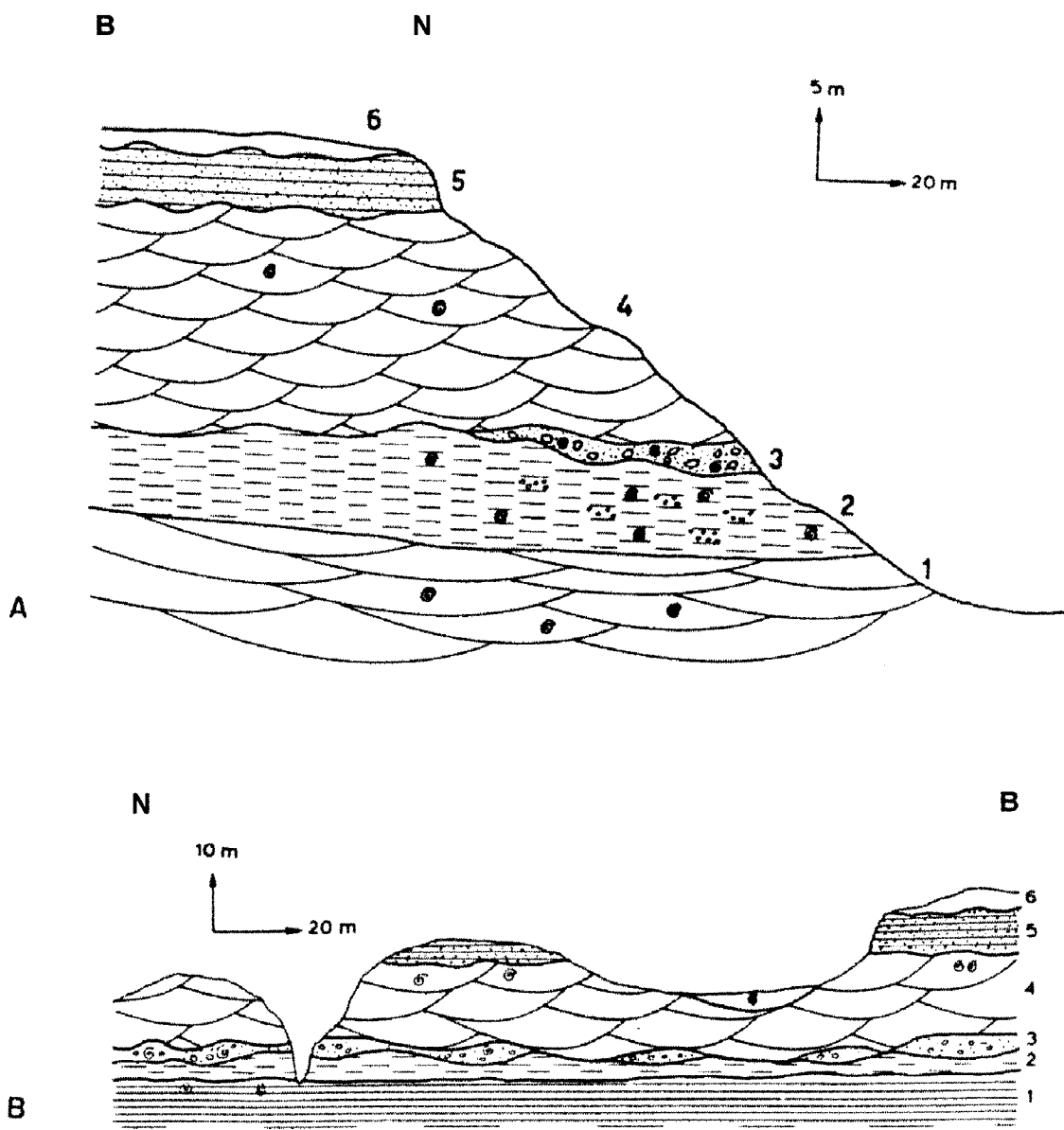
(1) **Pl, ma:** Απολιθωματοφόροι άμμοι-ψαμμίτες λευκού-κιτρινωπού χρώματος και κροκαλοπαγή, τα οποία εμφανίζονται κυρίως στους νότιους πρόποδες του Παγγαίου στην περιοχή της Γαληψού (σχ. 6 (GAL), 7). Περιέχουν πλούσια πανίδα απολιθωμάτων (πάνω από 70 διαφορετικά είδη) μεταξύ των οποίων *Amussium cristatum*, *Chlamys bollenensis*, *Chlamys scabrella*, *Chlamys radians*, *Pecten rhegiensis*, *Flabellipecten flabelliformis*, *Fl. Nigromagnus*, *Circompholus foliaceolamelosus*, *Pinctada margaritifera*, *Cerithium varicosum*, *Lunatia helicina*, *Neverita josephinia*, *Natica mullepunetata*, *Xenophora crispa*, *Strombus coronatus*, *Gyrineum marginatum*, *Hinia pysmatica*, *Narona dertovaricosa*, *Bathytoma cataphracta*, *Terebra acuminata*, *Terebratula ampulla*, *T. terebratula*, *Phapsirhynchiha sanctapaulensis*, η οποία τα χρονολογεί στο Κάτω Πλειόκαινο (Psilovikos & Syrides 1983, Syrides 1993).

Αντίστοιχης ηλικίας ιζήματα με Πλειοκαινικά απολιθώματα μαλακίων, όπως *Anadara diluvii*, *Pecten* sp., *Ostrea*, *Glans intermedia*, *Cardium hians*, *Circomphalus foliaceolamellosus*, *Callista italica*, *Solen*, *Panopea*, *Danax*, *Clavagella*, *Trochius*, *Natica josephinia*, *Hinia interdentata*, *Cancellaria cancelata*, *Cancellaria piscatorial*, *Conus pyrula*, *Subula fuscata*, *Strioterebrum pliocenicum* εντοπίστηκαν στην περιοχή Δυτικά των Νέων Κερδυλλίων (σχ. 6, KER) (Syrides 1993, 1995).

### 3.2.4 Αποθέσεις Τεταρτογενούς

(1) **Pt-H, sc-cs:** Χερσαία πλευρικά κορήματα και αλλουβιακά ριπίδια διαφόρων ηλικιών.





Σχ. 7. Φυσικές τομές κατά μήκος του δεύτερου (Α) και τρίτου (Β) χειμάρρου Δυτικά της Γαληψού. 1 & 4. άμμοι με διαστρωρωτή στρώση, 2. άργιλοι και ιλύες, 3. άμμοι και άμμοι με κροκάλες, 5. ψαμμίτες, 6. έδαφος (από Psilonikos & Syrides 1983)

### **3.2.4α Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

(1) **Pti, co:** Πρόκειται για μικρές εμφανίσεις ερυθροστρωμάτων αποτελούμενων από εναλλαγές κροκαλών-άμμων-ιλύων-αργίλων με ερυθροκαστανό χρώμα. Δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα, αλλά βάση της στρωματογραφικής τους θέσης (υπέγκεινται με επιφάνεια διάβρωσης των ιζημάτων που εντάσσονται στη χαρτογραφική μονάδα Pl, ma) και της ομοιότητάς τους στη λιθολογία συσχετίζονται με τα αντίστοιχα ιζήματα του Σχηματισμού Γερακαρούς (λεκάνη Μυγδονίας) και για το λόγο αυτό εντάσσονται στην ίδια χαρτογραφική μονάδα. Στο Νεοτεκτονικό Χάρτη Λαγκαδά 1:100.000 (Μουντράκης κ.ά. 1996α, 1997α) η χαρτογραφική αυτή μονάδα προσδιορίζεται χρονικά στο Κάτω Πλειστόκαινο με τα κατώτερα τμήματά αυτής να χρονολογούνται με νεότερες έρευνες στο Ανώτερο Πλειόκαινο (Koufos et al. 1995, 1997).

(2) **Pt, co:** Όπως λεκάνη Στρυμώνα.

### **3.2.4β Ολοκαινικές αποθέσεις**

(1) **H:** Κυρίως σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις από άμμους και χαλίκια.

(2) **H al:** Αλλουβιακές αποθέσεις.

(3) **H, sq:** Σύγχρονες αποθέσεις στο δέλτα του Στρυμώνα με άμμους, χαλίκια και αμμοχάλικα.

## **3.3 Λεκάνη Μυγδονίας**

Στο ΝΔ τμήμα του χάρτη ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ 1:100.000 εμφανίζονται τα ιζήματα της λεκάνης Μυγδονίας (λεκάνη λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης). Τα ιζήματα αυτά έχουν διαχωριστεί σε δύο ομάδες, την Προμυγδονιακή (Άνω Μειόκαινο-Κάτω Πλειστόκαινο) και τη Μυγδονιακή (Μέσο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο) (Ψιλοβίκος 1977).

Η κύρια εμφάνιση και ανάπτυξη των παραπάνω ιζημάτων γίνεται στο Δυτικό και στο Κεντρικό-Νότιο τμήμα της Μυγδονίας (Φύλλο Νεοτεκτονικού Χάρτη ΛΑΓΚΑΔΑΣ, 1:100.000, Μουντράκης κ.ά. 1996α) και λεπτομερής περιγραφή τους γίνεται στο συνοδευτικό του τεύχους (Μουντράκης κ.ά. 1997α).

Στο φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ (Ανατολικό τμήμα της Μυγδονίας) εμφανίζονται κυρίως ιζηματα της Μυγδονιακής ομάδας.

### **3.3.1 Αποθέσεις Τεταρτογενούς**

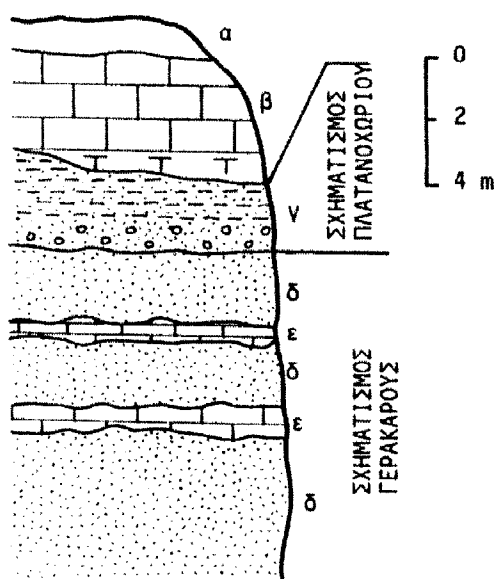
(1) **Pt-H, sc-cs**: Χερσαία πλευρικά κορήματα και αλλουβιακά ριπίδια διαφόρων ηλικιών.

#### **3.3.1α Πλειστοκαινικές αποθέσεις**

(1) **Pt, co**: Περιλαμβάνει Πλειστοκαινικές αδιαίρετες αποθέσεις κυρίως από χαλίκια, άμμους, ψηφίδες και ιλύες, οι οποίες έχουν καστανέρυθρο χρώμα και η μη εύρεση απολιθωμάτων δεν επιτρέπει ακριβέστερη χρονολόγηση και διαίρεση τους.

(2) **Pti-co**: Περιλαμβάνονται μικρού πάχους χερσοποτάμιες αποθέσεις αργίλων, άμμων και χαλικιών γκρί-ερυθρού χρώματος (ερυθροστρώματα) Κάτω Πλειστοκαινικής ηλικίας στον περιμετρικό χώρο της λίμνης Βόλβης, οι οποίες αποτελούν τα ανώτερα τμήματα της Προμυγδονιακής ομάδας (Koufos et al. 1989). Δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα, αλλά βάση της στρωματογραφικής τους θέσης (υπέρκεινται με επιφάνεια διάβρωσης των ιζημάτων που εντάσσονται στη χαρτογραφική μονάδα Pl, ma) και της λιθολογίας τους θεωρούνται στρωματογραφικά αντίστοιχα του Σχηματισμού Γερακαρούς (σχ. 8), ο οποίος προς τα πάνω μεταβαίνει σε διάφορες θέσεις στο Σχηματισμό Πλατανοχωρίου, που αποτελείται από μικρές υπολλειματικές εμφανίσεις ποταμολιμναίων αργιλοαμμωδών στρωμάτων και λιμναίων αργίλων (Koufos et al. 1989, 1995). Γενικά αυτή η χαρτογραφική μονάδα αποτελείται από μεγάλου πάχους ερυθροστρώματα, τα οποία στο φύλλο "ΛΑΓΚΑΔΑΣ, 1:100.000" (Μουντράκης κ.ά., 1996α, 1997α) προσδιορίζονται χρονικά στο Κάτω Πλειστόκαινο με τα κατώτερα τμήματά αυτής να χρονολογούνται με νεότερες έρευνες στο Ανώτερο Πλειόκαινο (Koufos et al. 1995, 1997).

(3) **Ptm-s, lk**: Πρόκειται για λιμναίες αποθέσεις του Μέσου-Ανωτέρου Πλειστοκαίνου, αποτελούμενες κυρίως από οριζόντιες λεπτοστρωματώδεις άμμους



Σχ. 8. Φυσική τομή που δείχνει το Σχηματισμό Πλατανοχωρίου (κατά KOUFOS *et al.*, 1988).

α. Έδαφος, β. Μαζώδεις-τοφφώδεις ααβεστόλιθοι. Η βάση του αποτελείται από αργιλλούχο κονδυλώδη μάργα, γ. Γκριζοπράσινη ιλύς-άργιλλος πλούσια σε άμμους και κροκάλες στη βάση της, με απολιθώματα μικροθηλαστικών. δ. Κα-  
στανέρυθρη μέσο-λεπτόκοκκη άμμος που αντιπροσωπεύει τα ανώτατα τμήματα του Σχηματισμού Γερακαρούς. ε. Ασβεστοψαμμιτικά σώματα με κονδυλώδη επιφάνεια.

τεφρού χρώματος. Στα ανώτερα τμήματα εμφανίζονται χημικά ιζήματα (τραβερτίνες) από αποθέσεις θερμών πηγών, τα οποία θεωρούνται Ολοκαινικής ηλικίας.

### 3.3.1β Ολοκαινικές αποθέσεις

Σύμφωνα με τα λιθολογικά τους χαρακτηριστικά και το περιβάλλον απόθεσής τους διαχωρίζονται σε:

- (1) **H, al:** Αλλουβιακές αποθέσεις. Αμμοι, άργιλοι, ιλύες, χαλίκια.
- (2) **H, co:** Προσχώσεις κοιλάδων. Αποτελούνται κυρίως από χαλίκια, άμμους, ιλύ και αμμούχους αργίλους.
- (3) **H, lk:** Λιμναίες αποθέσεις. Αποτελούνται από αμμούχους αργίλους, αργίλους, ιλύ και λεπτόκοκκους άμμους.

## 4. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

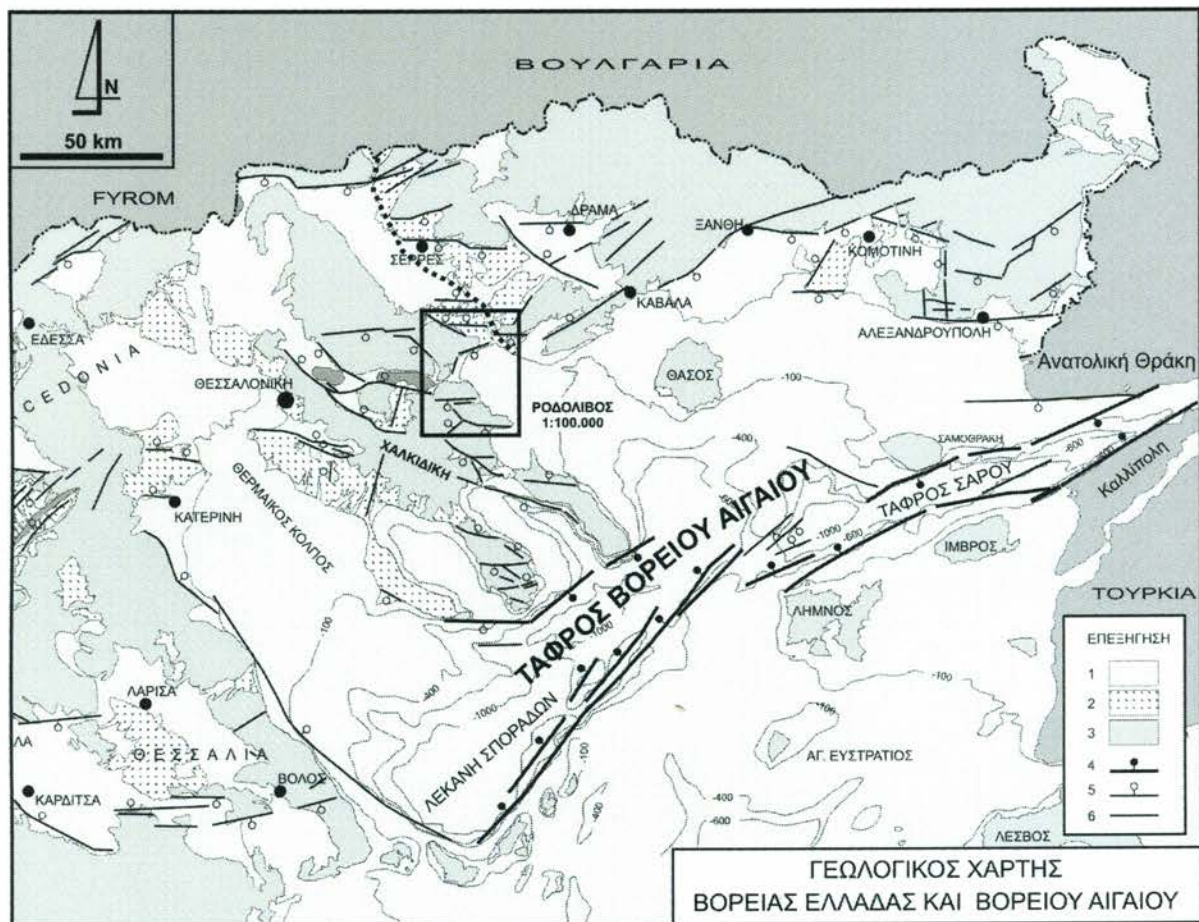
### 4.1 Νεοτεκτονικό πλαίσιο

Το φύλλο "ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κλίμακας 1:100.000" όπως ήδη έχει αναφερθεί καλύπτει το χώρο του ορίου της Σερβομακεδονικής Μάζας με τη Μάζα της Ροδόπης. Το όριο αυτό ταυτίζεται ουσιαστικά με τη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης τεκτονική γραμμή που είναι γνωστή ως "Τεκτονική Γραμμή του Στρυμώνα" (σχ. 9). Η τεκτονική αυτή γραμμή είχε θεωρηθεί από τους Koukoulzas (1972) και Kockel & Walther (1965) ως γραμμή επώθησης της Σερβομακεδονικής επί της Ροδοπικής μάζας, ενώ από τον Καρυστιναίο (1984) ως ρήγμα οριζόντιας συστροφικής μετατόπισης. Νεότερες έρευνες καθόρισαν τη συγκεκριμένη τεκτονική γραμμή ως εκτατικό ρήγμα αποκόλλησης που σχηματίστηκε σε θραυστιγενείς συνθήκες κατά την εφελκυστική τεκτονική του Μειοκαίνου (Dinter & Royden 1993; Dinter 1998; Kiliyas et al. 1999).

Ανεξάρτητα από τις διάφορες απόψεις που έχουν εκφραστεί για τη γραμμή Στρυμώνα, γεγονός είναι ότι αποτελεί μια μεγάλης σπουδαιότητας για τον Ελληνικό γεωλογικό χώρο τεκτονική γραμμή, καθ' όσον μάλιστα στη λεκάνη του Στρυμώνα έχει εντοπιστεί σημαντικό γεωθερμικό πεδίο που ενισχύει την άποψη ότι πρόκειται ουσιαστικά για μια τεκτονική γραμμή με νεότερες επαναδραστηριοποιήσεις και πιθανόν ενεργό τεκτονική δράση.

Το νεοτεκτονικό πλαίσιο που διέπει το Βορειοελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα το χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας έχει προσδιοριστεί από νεοτεκτονικές και σεισμοτεκτονικές εργασίες που έγιναν τα τελευταία χρόνια στον ευρύτερο χώρο Μακεδονίας-Θράκης και του Βορείου Αιγαίου (Papazachos et al. 1979, 1980, Fountoulis 1980, Mountrakis et al. 1983, Mercier et al. 1983, 1989 Psilovikos 1984, Lyberis 1984, , Pavlides & Kiliyas 1987, Pavlides & Mountrakis 1987, Pavlides et al. 1990, Pavlides 1993, Μουντράκης et al. 1995, 1996α,β, 1997α,β, Tranos et al. 1995, 2003, Τρανός 1998, Tranos & Mountrakis 1998). Ο χώρος αυτός θεωρείται ως ηπειρωτικός χώρος

πίσω από το τόξο και συνεπώς σε εξάρτηση από την ενεργό υποβύθιση της λιθόσφαιρας της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από την Ευρασιατική. Στο χώρο αυτό από το Άνω Μειόκαινο μέχρι σήμερα επικρατεί ένα ενιαίο εφελκυστικό εντατικό πεδίο που τείνει στη συνεχή λέπτυνση του ηπειρωτικού φλοιού. Η διεύθυνση του μέγιστου εφελκυσμού προσδιορίζεται σε: (1) ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση κατά το διάστημα Άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, (2) σε διεύθυνση Β-Ν, από το Κάτω Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα.



Σχ. 9. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης και των κύριων τεκτονικών γραμμών της ευρύτερης περιοχής της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. 1. Τεταρτογενή ιζήματα και αποθέσεις, 2. Νεογενή ιζήματα, 3. προαλπικό υπόβαθρο, 4. Κύριο ρήγμα της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου (με ένδειξη της μετάπτωσης), 5. Ρήγμα (με ένδειξη της μετάπτωσης), 6. Ρήγμα.

Αποτέλεσμα του Β-Ν εφελκυσμού είναι η σύγχρονη σεισμική δραστηριότητα που παρουσιάζει τόσο ο χώρος της Κεντρικής Μακεδονίας, όσο και ο χώρος του Βορείου Αιγαίου, μολονότι ο τελευταίος υφίσταται πρόσθετα και την επίδραση του μεγάλου δεξιόστροφου ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας και παραμορφώνεται σαν αποτέλεσμα ενός εφελκυσμού τυπικού οπισθοτόξιας περιοχής με σημαντικές όμως κινήσεις οριζόντιας μετατόπισης.

Ετσι η λεκάνη του Στρυμόνα και η προς τα ΒΔ συνέχεια αυτής λεκάνη Σερρών, πιστεύεται ότι δημιουργήθηκαν από τη δράση ενός έντονου και συνεχούς εφελκυστικού πεδίου από το Ανω Μειόκαινο μέχρι σήμερα. Το πεδίο αυτό είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό κατά βάση κανονικών ή πλαγιοκανονικών ρηγμάτων.

Τα ρήγματα της περιοχής παρουσιάζουν κύρια τρεις διευθύνσεις ανάπτυξης: (1) Α-Δ, (2) ΒΔ-ΝΑ και (3) ΒΑ-ΝΔ. Τα περισσότερα από αυτά λειτούργησαν τουλάχιστο από την περίοδο του Μειοκαίνου, ενώ ορισμένα εξακολουθούν να βρίσκονται σε ενεργό κατάσταση εμφανίζοντας σαφείς ενδείξεις ότι έχουν λειτουργήσει κατά το Τεταρτογενές.

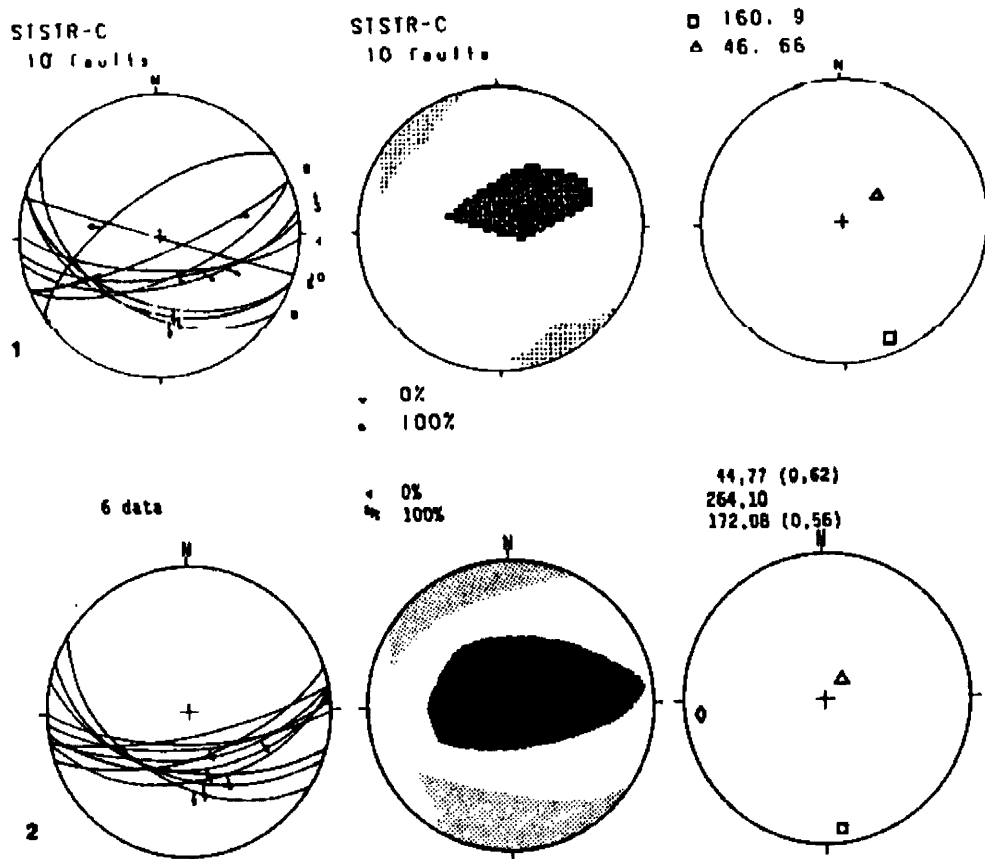
## ***4.2 Περιγραφή των ενεργών ρηγμάτων***

### **1. Σεισμικό Ρήγμα Στρατωνίου**

Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει γενική Α-Δ διεύθυνση και μήκος περί τα 15 km. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς Νότο που στα Δυτικά ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας.

Διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμήματα: (1) το βόρειο (footwall block) που χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατονικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου και (2) το νότιο (hangingwall block) που συμπίπτει ευρύτερα με το μυχό της Ιερισσού και χαρακτηρίζεται από ένα χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο.

Κατά μήκος του ρήγματος παρατηρούνται αρκετές αποθέσεις πλευρικών κορημάτων συνδεδεμένων με την πρόσφατη δράση του ρήγματος, που σύμφωνα με τα γνωστά σεισμολογικά δεδομένα έλαβε χώρα το 1932 (σεισμός της Ιερισσού 1932,  $M=7.0$ ). Τα σεισμικά ίχνη από το σεισμό της Ιερισσού έχουν χαρτογραφηθεί από τους Μαραβελάκη (1933), Georgalas & Galanopoulos (1953) και Pavlides & Tranos (1991). Επίσης το ρήγμα του Στρατωνίου ταυτίζεται σε διεύθυνση με την Α-Δ ανάπτυξη των ισόσειστων καμπυλών του παραπάνω σεισμού (Papazachos et al. 1982). Ετσι το ρήγμα του Στρατωνίου, το οποίο θεωρείται το σεισμογόνο ρήγμα για το σεισμό της Ιερισσού, χαρακτηρίζεται ως σεισμικό ρήγμα.



Σχ. 10. Στερεογραφική προβολή: (1) των νεοτεκτονικών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής του ρήγματος του Στρατωνίου, (2) των γραμμώσεων τεκτονικής ολίσθησης του σεισμικού ρήγματος Στρατωνίου και του εφελκυστικού εντατικού πεδίου που προσδιορίζουν (από Pavlides & Tranos 1991).



Στο σχ. 10 φαίνεται η πρόσφατη κινηματική του συμπεριφορά, η οποία είναι αποτέλεσμα του ενεργού εφελκυστικού πεδίου σε διεύθυνση B-N.

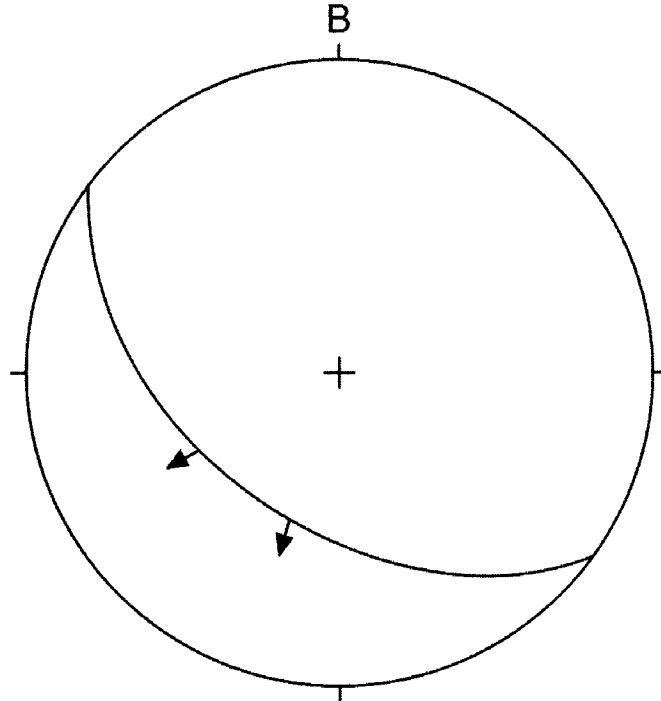
## **2. Ενεργό Ρήγμα Βαρβάρας**

Το ρήγμα αυτό αποτελεί στην πραγματικότητα συνέχεια του ρήγματος Στρατωνίου, όμως θεωρείται ενεργό και όχι σεισμικό όπως του Στρατωνίου, αφού η γενική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση που παρουσιάζει, δεν είναι απόλυτα συμβατή με το σημερινό εκτατικό πεδίο διεύθυνσης B-N και συνεπώς είναι μικρή η πιθανότητα μιας αυτόνομης δραστηριοποίησης του και η πρόκληση ενός ισχυρού σεισμού. Άλλωστε στον ευρύτερο χώρο, οι μεγάλοι σεισμοί κατά κανόνα προκύπτουν από τα ρήγματα που προσανατολίζονται σε γενική Α-Δ διεύθυνση, όπως π.χ. συμβαίνει με το σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς (σεισμός Θεσσαλονίκης 1978). Αντίθετα το ρήγμα Αγίου Βασιλείου που αποτελεί την προς τα ΒΔ συνέχεια του ρήγματος Γερακαρούς με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ θεωρείται στο νεοτεκτονικό φύλλο "ΛΑΓΚΑΔΑΣ, κλίμακα 1:100.000" (Μουντράκης κ.ά. 1996α, 1997α), μόνο ενεργό με γεωλογικά κριτήρια και όχι σεισμικό.

Παραταύτα, το ρήγμα της Βαρβάρας μπορεί να ενεργοποιηθεί δευτερογενώς από τη δραστηριοποίηση του ρήγματος του Στρατωνίου. Έχει μήκος, περίπου 6 km, διαμορφώνει μια μεγάλη κοιλάδα ή χαράδρα κόβοντας μάρμαρα και γνεύσιους της Ενότητας Κερδυλλίων και παρουσιάζει μετάπτωση προς τα ΝΝΔ. Σε επιφάνειες του ρήγματος, εντός του μαρμάρου, βρέθηκαν ασβεστιτικές τεκτονικές βαθμίδες (fibersteps) με γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι οποίες αντιστοιχούν σε δύο κανονικές κινήσεις (σχ. 11).

Οι κινήσεις αυτές είναι κανονικές και μπορούν να συνδεθούν με τα εφελκυστικά πεδία αντίστοιχα του Άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και Κάτω Πλειστοκαίνου-σήμερα διεύθυνσης B-N. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε το ρήγμα να κόβει νέα ιζήματα, αφού ουσιαστικά υπάρχουν μόνο πετρώματα του υποβάθρου και συνεπώς δεν υπάρχουν πληροφορίες για τυχόν πρόσφατη δραστηριοποίησή του. Υπάρχει όμως

γεωμετρική ταύτιση των δύο καταγραφέντων τεκτονικών γραμμώσεων ολίσθησης με γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης σε ρήγματα με παρόμοιο προσανατολισμό μέσα στα ιζήματα που αποδίδονται στα προαναφερθέντα εντατικά πεδία.



Σχ. 11. Στερεογραφική προβολή των δύο γραμμώσεων τεκτονικής ολίσθησης που έχουν καταγραφεί επί κατοπτρικών επιφανειών του ενεργού ρήγματος της Βαρβάρας μέσα στα μάρμαρα της Ενότητας Κερδυλλίων.

### 3. Ρήγματα Στρατονικού όρους

Πρόκειται για τα ρήγματα που εντοπίζονται στα πετρώματα του υποβάθρου στο χώρο Βόρεια του ρήγματος του Στρατωνίου, όπου το Στρατονικό όρος εισχωρεί προς τα Ανατολικά μέσα στη θάλασσα.

Τα ρήγματα αυτά έχουν ίδια Α-Δ διεύθυνση με το σεισμικό ρήγμα Στρατωνίου και μετάπτωση είτε προς Νότο είτε προς Βορρά, όμως δεν θεωρούνται ενεργά. Ιδιαίτερα, το στα βόρεια αμέσως παράλληλο του ρήγματος Στρατωνίου, το οποίο δείχνει μετάπτωση προς την ίδια διεύθυνση, θεωρείται ανενεργό γιατί μορφοτεκτονικά

προκύπτει ότι οι τριγωνικές επιφάνειες, που είχαν σχηματιστεί παλαιότερα κατά μήκος του, έχουν διαβρωθεί σημαντικά και έχουν μετατραπεί σχεδόν σε πεταλοειδούς μορφής επιφάνειες γεγονός που δείχνει ότι δεν έχει προκληθεί πρόσφατη επαναδραστηριοποίηση του. Θεωρείται επομένως ότι υπάρχει μετατόπιση της ενεργού δραστηριοποίησης προς Νότο στη τεκτονική γραμμή του ρήγματος Στρατωνίου και τα βορειότερα ρήγματα του Στρατονικού όρους καθίστανται πλέον ανενεργά.

Μία άλλη ομάδα ρηγμάτων είναι αυτά σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, τα οποία για παρόμοιους λόγους έχουν χαρτογραφηθεί ως ανενεργά.

#### **4. Ενεργό ρήγμα Νέας Μάδυτου**

Αποτελεί την προς τα Ανατολικά συνέχεια του ενεργού ρήγματος Νέας Απολλωνίας που έχει χαρτογραφηθεί στο νεοτεκτονικό χάρτη κλίμακας 1:100.000; φύλλο ΛΑΓΚΑΔΑΣ, (Μουντράκης κ.ά. 1996α). Διατηρεί και στο χώρο αυτό διεύθυνση Α-Δ και μετάπτωση προς Βορρά, αποτελώντας το κρασπεδικό (περιθωριακό) ρήγμα που διαχωρίζει τα πετρώματα του υποβάθρου από τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

Το ρήγμα Νέας Μάδυτου χαρακτηρίζεται ενεργό γιατί: (1) συνδέεται άμεσα με το σύγχρονο μορφοανάγλυφο και ιδιαίτερα με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, (2) κατά μήκος του ρήγματος εμφανίζονται Ολοκαινικές τραβερτινικές αποθέσεις, (3) επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα, (4) αποτελεί την προς τα Ανατολικά συνέχεια του ενεργού ρήγματος της Νέας Απολλωνίας.

#### **5. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Ολυμπιάδας-Βόλβης**

Πρόκειται για μια σειρά συνεχών ή ασυνεχών ρηξιγενών γραμμών με σταθερή γενικά διεύθυνση Α-Δ και μετάπτωση είτε προς Βορρά είτε προς Νότο, που διαμορφώνει το μορφοανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής από την Ολυμπιάδα ως τη Νέα Μάδυτο.

Στο χώρο της Ολυμπιάδας, αναγνωρίζονται δύο παράλληλες συνεχείς ρηξιγενείς γραμμές διεύθυνσης Α-Δ. Τη βόρεια από αυτές, ονομάζουμε "Ρήγμα Ολυμπιάδας" έχει μήκος 10km, και παρουσιάζει γεωμετρικά στοιχεία ανάλογα με αυτά του ρήγματος Στρατωνίου. Η νότια γραμμή είναι ένα μικρότερο ρήγμα αντιθετικό στο ρήγμα Ολυμπιάδας και μαζί διαμορφώνουν το μικρό βύθισμα της Ολυμπιάδας.

Στο χώρο Νότια από τη Νέα Μάδυτο έχει χαρτογραφηθεί μία μεγάλη ευθύγραμμη ρηξιγενής γραμμή Α-Δ διεύθυνσης και μετάπτωσης προς Βορρά. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα, το οποίο αποτελεί το φυσικογεωγραφικό όριο ανάμεσα σε μια παλιά επιφάνεια επιπέδωσης και το χώρο ανάπτυξης της σημερινής λεκάνης της λίμνης Βόλβης. Αποτελεί δηλαδή ένα ευθύγραμμο όριο υψομετρικής διαφοροποίησης, το οποίο όμως χαρακτηρίζεται ως πιθανό ενεργό ρήγμα, αφού δεν υπάρχουν σαφείς γεωλογικές ενδείξεις ότι το ρήγμα δραστηριοποιήθηκε πρόσφατα. Ωστόσο, η καταγραφόμενη σεισμικότητα της περασμένης δεκαετίας στο χώρο αυτό που παρουσιάζει σημαντική διασπορά, δημιουργεί την υπόνοια ότι πιθανόν πολλά μικρά ρήγματα προκαλούν μικρού μεγέθους σεισμούς. Σε πρόσφατη εργασία (Tranos et al. 2003) αναφέρεται ότι τα ρήγματα αυτά, όπως και το ρήγμα Νέας Μάδυτου, είναι ενδεχόμενα κλάδοι ρηγμάτων της σεισμικής ζώνης Θεσσαλονίκης-Ρεντίνας η οποία αποτελείται από ΔΒΔ-ΔΝΑ διεύθυνσης μεγάλου μήκους ρήγματα και μικρότερα ΑΒΑ-ΔΝΔ ρήγματα.

## **6. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Μικρής Βόλβης-Βαμβακιάς**

Πρόκειται για μια ομάδα κανονικών παράλληλων ρηγμάτων, μήκους 2 ως 4 km, διεύθυνσης Α-Δ και διεύθυνσης κλίσης προς Νότο, που προσδιορίζουν το βόρειο περιθώριο της λίμνης Βόλβης και κυρίως το όριο ανάμεσα στα Πλειστοκαινικά ιζήματα και το υπόβαθρο. Στην περιοχή της Βαμβακιάς, τα ιζήματα είναι ερυθροστρώματα Πλειστοκαινικής ηλικίας, ενώ στο χώρο του βόρειου τμήματος της λίμνης Βόλβης είναι επίσης Πλειστοκαινικής ηλικίας, ανοιχτότεφροι άμμοι με διασταυρωτή στρώση, εντός

των οποίων βρέθηκαν μικρά κανονικά ρήγματα παρόμοιας γεωμετρίας με αυτά των περιθωριακών ρηγμάτων.

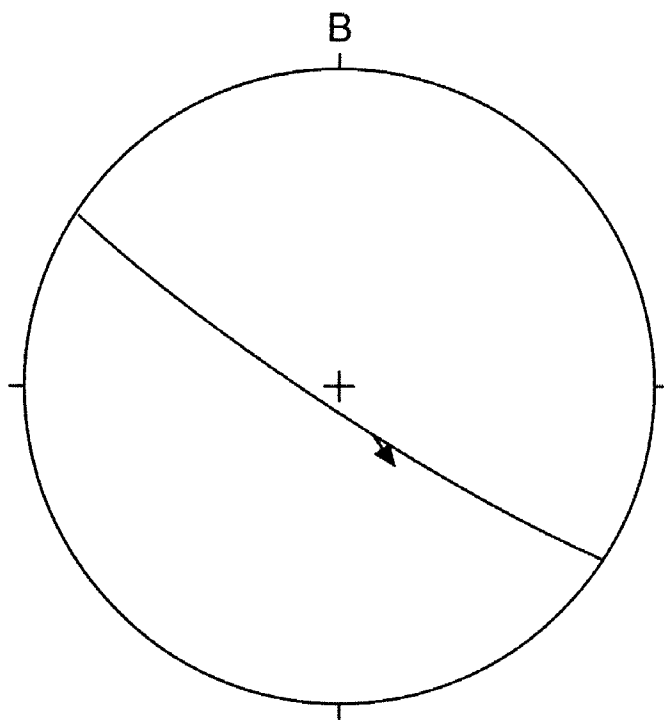
Τα ρήγματα έχουν χαρακτηριστεί γενικά ως πιθανά ενεργά γιατί αποτελούν την προς τα Ανατολικά συνέχεια των ενεργών και πιθανών ενεργών ρηγμάτων Νυμφόπετρας-Μεγάλης Βόλβης, αλλά και γιατί επηρεάζουν πλειστοκαινικά ιζήματα. Επιπλέον στην περιοχή αυτή καταγράφεται σημαντική σεισμικότητα. Αντίθετα, δεν υπάρχουν μορφοτεκτονικά στοιχεία που να δείχνουν πρόσφατη ενεργό δράση των ρηγμάτων αυτών. Έτσι τα ρήγματα αυτά έχουν χαρακτηριστεί ως πιθανά ενεργά.

## **7. Ενεργό Ρήγμα Αρέθουσας**

Είναι ένα κανονικό ρήγμα περιθωρίου, ορατού μήκους περίπου 5 km, γενικής ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και μετάπτωσης προς τα ΝΔ, το οποίο ορειοθετεί το ΝΑ περιθώριο της αποξηρανθείσης λίμνης Λάντζας. Το ρήγμα Αρέθουσας, διαμορφώνει ένα ιδιαίτερα απότομο πρανές και διαχωρίζει τα οφειολιθικά πετρώματα από τις νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Το πρανές είναι δομημένο από συμπαγές κατακλαστικό υλικό που έχει προέλθει από παλιές τεκτονικές δράσεις του ρήγματος και το οποίο κόβουν νέες λειασμένες ρηξιγενείς επιφάνειες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το απότομο, σχεδόν κατακόρυφο πρανές και τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (σχ. 12), οι οποίες είναι παρόμοιες με αυτήν των ενεργών ρηγμάτων του ευρύτερου χώρου υποδηλώνει ότι το ρήγμα Αρέθουσας είναι ενεργό.

Παρόμοιας γεωμετρίας και κινηματικής είναι και η μεγάλη ρηξιγενής γραμμή Σκεπαστού, η οποία περιλαμβάνει ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ διεύθυνσης τμήματα ρηγμάτων. Το γεγονός ότι τα ρήγματα αυτά, τα οποία βρίσκονται βορειότερα και παράλληλα στο ρήγμα Αρέθουσας, οριοθετούν τα Τεταρτογενή (Πλειστοκαινικά) ιζήματα, τα οποία όμως καλύπτουν το ίχνος του ρήγματος, μας επιτρέπει να τα χαρακτηρίσουμε ως πιθανά ενεργά. Τα δύο παράλληλα ρήγματα Αρεθούσας και Σκεπαστού οριοθετούν το

σημαντικό βύθισμα Λάντζας-Βρωμολιμνών και αναμφισβήτητα συνδέονται μεταξύ τους.



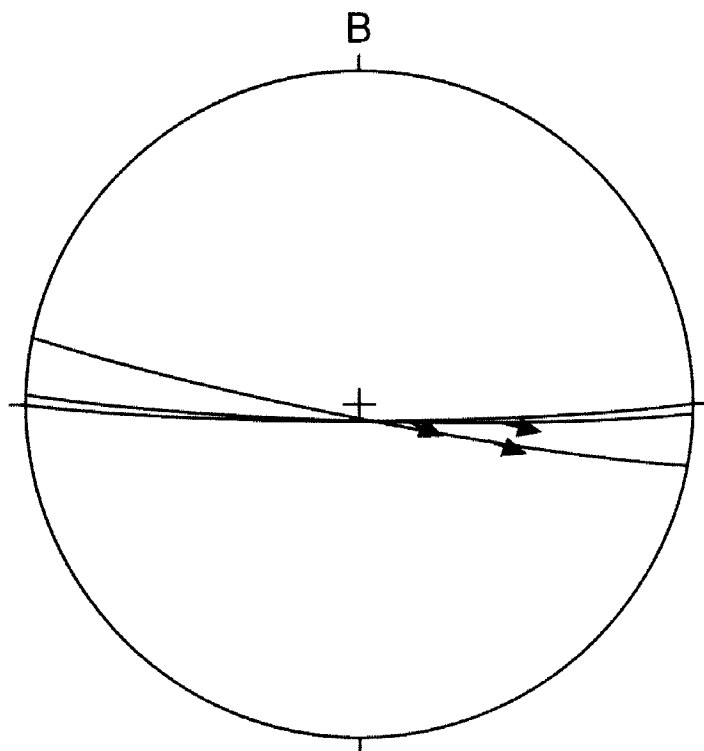
Σχ. 12. Γραμμές τεκτονικής ολίσθησης του ρήγματος Αρέθουσας.

## 8. Ομάδα Ενεργών Ρηγμάτων Οφρυνίου-Γαληψού

Πρόκειται για μια ομάδα παράλληλων κανονικών ρηγμάτων γενικής Α-Δ διεύθυνσης με μήκη που κυμαίνονται από 3 ως 10 km στις νότιες παρυφές του Παγγαίου όρους. Αναγνωρίζονται τουλάχιστον τρεις κύριες ρηξιγενείς γραμμές παράλληλες μεταξύ τους που κλιμακωτά ταπεινώνουν τη νότια πλευρά του Παγγαίου, με κυριότερη τεκτονική γραμμή αυτή που διέρχεται Βόρεια από τα χωριά Οφρύνιο και Γαληψός.

Η τεκτονική αυτή γραμμή αποτελεί το περιθωριακό κανονικό ρήγμα που διαχωρίζει τα Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα στα Νότια, από τα πετρώματα του υποβάθρου, (μάρμαρα και γνεύσιοι της Μάζας της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής αντίστοιχα), στα Βόρεια. Κατά μήκος του ρήγματος εμφανίζονται τριγωνικές επιφάνειες

(triangular facets) και απότομα πρηνή κλίσης περίπου  $70^\circ$ . Το συνολικό του μήκος είναι 10km.



Σχ. 13. Γραμμές τεκτονικής ολίσθησης ρήγματος Οφρυνίου-Γαληψού.

Σημαντική είναι η κινηματική αυτού του ρήγματος και ιδιαίτερα η ενεργός δράση του, όπως προκύπτει από: (1) τις γραμμές τεκτονικής ολίσθησης (σχ. 13), οι οποίες σε συσχετισμό με άλλα γνωστά, της ίδιας γεωμετρίας, ενεργά ρήγματα στις γειτονικές περιοχές, παρουσιάζουν συμβατότητα με το B-N εφελκυστικό πεδίο που επικρατεί και σήμερα στην ευρύτερη περιοχή και (2) ότι στο χωριό Γαληψός βρέθηκαν, μέσα σε αλλουβιακά ριπίδια Τεταρτογενούς ηλικίας, μικρά κανονικά ρήγματα παράλληλα προς αυτό και με μετάπτωση προς Νότο.

Οι άλλες δύο νοτιότερες ρηξιγενείς γραμμές κόβουν Ανω Μειοκαινικά και Πλειοκαινικά ιζήματα, στα οποία προκαλούν απότομες αλλαγές στην κλίση της στρώσης. Νοτιότερα παρατηρούνται αρκετές, μεσοσκοπικής κλίμακας, ρηξιγενείς

επιφάνειες της ίδιας Α-Δ διεύθυνσης, και επιπλέον τα παράλληλα επιμήκη ρέμματα που ξεκινούν από τις παρυφές του όρους Παγγαίου και κατευθύνονται στον κόλπο του Ορφανού εκτρέπονται τοπικά σε συγκεκριμένα σημεία, τα οποία υλοποιούν νοητές γραμμές Α-Δ διεύθυνσης.

Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται και άλλων διευθύνσεων ρήγματα όπως ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης με μικρότερη όμως σημασία όπως προκύπτει από την υπαίθρια παρατήρηση και τη μελέτη των αεροφωτογραφιών.

## **9. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Παγγαίου**

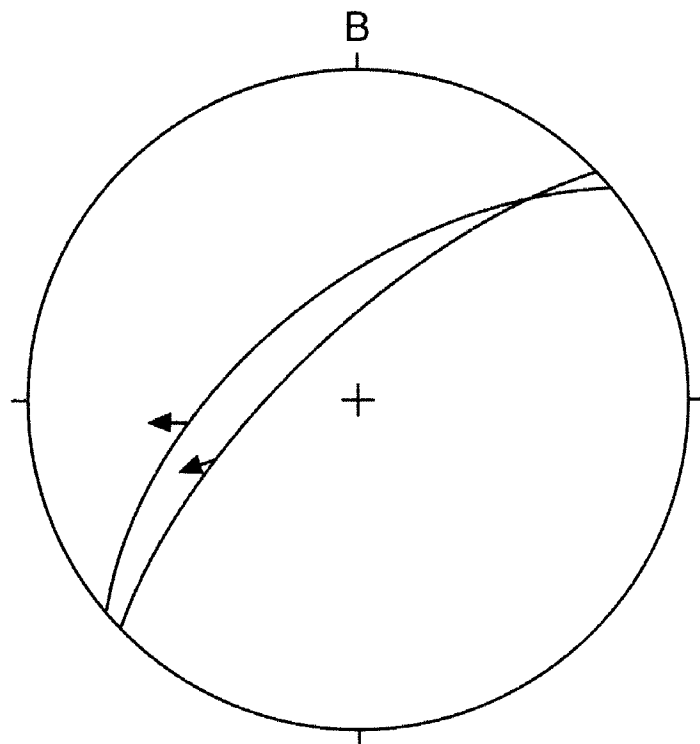
Πρόκειται για μια σειρά παράλληλων-υποπαράλληλων συνθετικών κανονικών ρηγμάτων, τα οποία με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ καθορίζουν το βορειοδυτικό περιθώριο του Παγγαίου όρους παρουσιάζοντας στο σύνολο τους μετάπτωση προς τα ΒΔ. Εντοπίζονται κύρια εντός του υποβάθρου δηλαδή εντός των μαρμάρων της ενότητας Παγγαίου της Ροδοπικής μάζας.

Σε όλο σχεδόν το μήκος της ρηξιγενούς γραμμής του Παγγαίου παρατηρούνται πολύ ισχυρά φαινόμενα κατάκλασης των μαρμάρων του Παγγαίου σε ζώνες πλάτους αρκετών μέτρων στο όριο των μαρμάρων με τα νέα ιζήματα της λεκάνης του Στρυμώνα, γεγονός που δείχνει την έντονη νεοτεκτονική δράση των ρηγμάτων κατά τη διάρκεια της μορφοποίησης του ορίου του Παγγαίου με τη λεκάνη.

Τα ρήγματα παρουσιάζουν κλιμακωτή ανάπτυξη με μετάπτωση προς τα ΒΔ. Κατά μήκος αυτών, συγκεκριμένα Νότια του χωριού Νέα Φυλή, παρατηρούνται και τραβερτινικές αποθέσεις οι οποίες κι αυτές επηρεάζονται από τα ρήγματα αυτά καταδεικνύοντας έτσι την νεοτεκτονική δράση των ρηγμάτων.

Κινηματικά συμπεριφέρονται ως πλαγιοκανονικά ρήγματα με αντιπροσωπευτική μέτρηση την: 320-74 pt 55 ΝΔ (Σχ. 14).





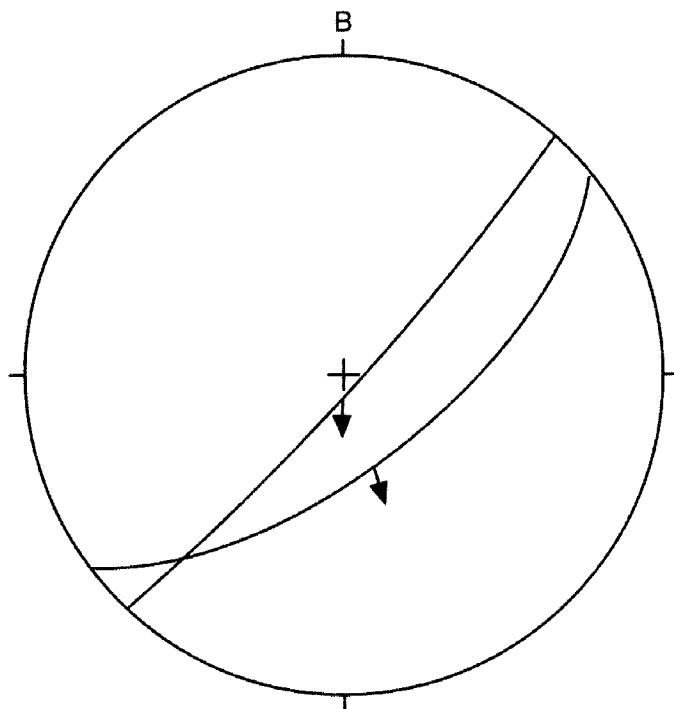
Σχ. 14. Αντιπροσωπευτικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης των ρηγμάτων Παγγαίου.

Μέσα στα νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα βρέθηκαν μικρά ρήγματα, παρόμοια σε προσανατολισμό με τα ρήγματα του υποβάθρου, στο χώρο μεταξύ του Ροδολίβους και της Πρώτης. Το μεγάλο ευθύγραμμο ρέμα Δυτικά της Παλαιοκώμης με παρόμοια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, μολονότι φαίνεται να υλοποιείται επί μιας τεκτονικής γραμμής μεγάλου μήκους δεν κατέσκει δυνατό να ανιχνευτούν κατά την υπαίθρια παρατήρηση ρηξιγενείς επιφάνειες ή κάποιο άλμα των εκατέρωθεν τεμαχών που θα το επιβεβαίωνε.

#### 10. Ρήγματα περιοχής Δήμητρας

Τα ρήγματα αυτά προσδιορίζονται στο ΒΑ τμήμα του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ 1:100.000 και εντός των Ανω Μειοκαινικών-Πλειοκαινικών ιζημάτων που βρίσκονται στις λοφώδεις εκτάσεις. Παρουσιάζουν γενική διεύθυνση από Α-Δ ως ΒΑ-ΝΔ και

δείχνουν μετάπτωση κυρίως προς τα Νότια και ΝΑ. Τα ρήγματα αυτά έχουν χαρακτηριστεί ως πιθανά ενεργά επειδή κόβουν Πλειοκαινικά ιζήματα, αλλά με ισχυρή επιφύλαξη διότι ούτε σεισμικότητα παρατηρείται στο χώρο αυτό, ούτε και υπάρχουν στοιχεία που να δείχνουν κάποια πιθανή πρόσφατη δράση τους. (σχ. 15).



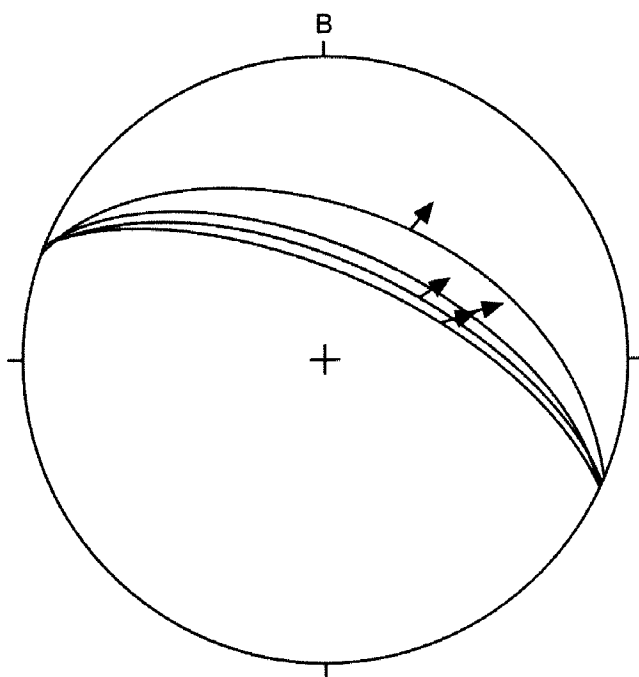
Σχ. 15. Γράμμωσεις τεκτονικής ολίσθησης ΒΑ-ΝΑ ρηγμάτων Ανατολικά της Δήμητρας.

## 11. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα Νιγρίτας-Σιτοχώριου-Δάφνης

Το βόρειο περιθώριο των Κερδυλλίων παρουσιάζει σημαντική ευθύγραμμη ανάπτυξη, εξαιτίας της ρηξιγενούς τεκτονικής που διαμόρφωσε το όριο του ορεινού όγκου με τη λεκάνη του Στρυμόνα. Το όριο αυτό με ΔΒΔ-ΑΝΑ γενική διεύθυνση αρχίζει από το χωριό Θερμά και τελειώνει Ανατολικά του χωριού Νέα Κερδύλλια. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ γενικής διεύθυνσης που δημιουργήθηκαν αρχικά κατά την περίοδο του Ανωτέρου Μειοκαίνου. Έχουν διεύθυνση κλίσης κατά

κανόνα προς τα ΒΒΑ και μήκος που κυμαίνεται από 2-5 km. Επηρεάζουν τα πετρώματα του υποβάθρου, αλλά και τα Ανω Μειοκαινικά-Πλειοκαινικά ιζήματα.

Στις επιφάνειες των ρηγμάτων αυτών παρατηρούνται γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που αντιστοιχούν σε μία πλαγιοκανονική κίνηση που συνδέεται με τον ΒΑ-ΝΔ εφελκυσμό που κυριάρχησε στο Βορειοελλαδικό χώρο κατά την περίοδο Ανωτέρου Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου. Αντιπροσωπευτική μέτρηση είναι η 24-60 pt 70 ΑΝΑ (σχ. 16).



Σχ. 16. Αντιπροσωπευτικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης των ΔΒΔ-ΑΒΑ ρηγμάτων.

Στο χώρο αυτό του δυτικού περιθωρίου της λεκάνης του Στρυμόνα έχουν χαρτογραφηθεί και κανονικά ρήγματα γενικής Α-Δ διεύθυνσης, τα οποία κι αυτά παρουσιάζονται ως παράλληλα συνθετικά ευθύγραμμα ρήγματα με διεύθυνση κλίσης κύρια προς Βορρά, τα οποία επηρεάζουν σε αρκετές περιπτώσεις τα ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης. Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης είναι νεότερα, αφού κόβουν τα προαναφερθέντα ΔΒΔ-ΑΝΑ ρήγματα, γεγονός που πιστοποιήθηκε και στα νεοτεκτονικά φύλλα "ΛΑΓΚΑΔΑΣ" και ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, κλίμακας 1:100.000"

(Μουντράκης κ.ά. 1996α, β, 1997α, β) και συνδέονται με το εφελκυστικό πεδίο διεύθυνσης B-N που κυριαρχεί από το Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα και θεωρείται ότι είναι υπεύθυνο για τους μεγάλους σεισμούς στο Βορειοελλαδικό χώρο.

Σημαντικά και μεγάλα ρήγματα της διεύθυνσης ABA-ΔΝΔ είναι τα ρήγματα της Νιγρίτας, της Δάφνης, του Αηδονοχωρίου και του Καστρορέμματος, τα οποία με μετάπτωση προς τα ΒΒΔ καθορίζουν την ανάπτυξη των μεγάλων ρεμάτων του υφιστάμενου υδρογραφικού δικτύου.

Το ρήγμα του Καστρορέμματος δεν εμφανίζει κάποια συγκεκριμένη ρηξιγενή επιφάνεια, αλλά εντοπίζεται στην υπαίθρια χαρτογράφηση επειδή αποτελεί το ευθύγραμμο διαχωριστικό όριο της Κατώτερης από την Ανώτερη Ομάδα ανωμειοκανικών ιζημάτων και διότι προσδιορίστηκε και από τις σεισμικές τομές που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή από τη Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (αδημοσίευτα στοιχεία).

Το ρήγμα αυτό συνδέει τα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης περιθωριακά ρήγματα του όρους των Κερδυλλίων με τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα της περιοχής Παλαιοκόμης και γενικά του Παγγαίου όρους, διαμορφώνοντας έτσι το νότιο περιθώριο της λεκάνης του Στρυμώνα, που έχει τοξοειδή παρόμοια ανάπτυξη, όπως αυτή που παρατηρείται στην περιοχή Βασιλούδι-Γερακαρού-Νικομηδινό-Στίβος από τα αντίστοιχης διεύθυνσης ρήγματα (φύλλο ΛΑΓΚΑΔΑΣ, 1:100.000), (Μουντράκης κ.ά. 1996α, 1997α) και για τα οποία πρόσφατη έρευνα (Tranos et al 2003) τα εντάσσει στη σεισμικά ενεργή ζώνη Θεσσαλονίκης-Ρεντίνας, η οποία αποτελείται από ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης ρήγματα και ΑΒΑ-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ ρήγματα - γέφυρες. Η κινηματική συμπεριφορά του ρήγματος Καστρορέμματος έχει προσδιοριστεί από παράλληλα ρήγματα μέσα στα ιζήματα και είναι συμβατή με το B-N εφελκυσμό.

Η μεγάλη συγκέντρωση των σεισμών της περασμένης δεκαετίας στην περιοχή του νοτίου περιθωρίου της λεκάνης του Στρυμώνα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τόσο τα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης όσο και τα Α-Δ διεύθυνσης ρήγματα της περιοχής είναι πιθανά

για μια μελλοντική επαναδραστηριοποίηση. Και σε συνδυασμό με τα δεδομένα της ηλικίας των ιζημάτων που επηρεάζονται από τα ρήγματα, αλλά και την επίδραση αυτών στο υδρογραφικό δίκτυο έχουν χαρακτηριστεί ως πιθανά ενεργά ρήγματα.

## **12. Πιθανά Ενεργά Ρήγματα περιοχής Ασπροβάλτας**

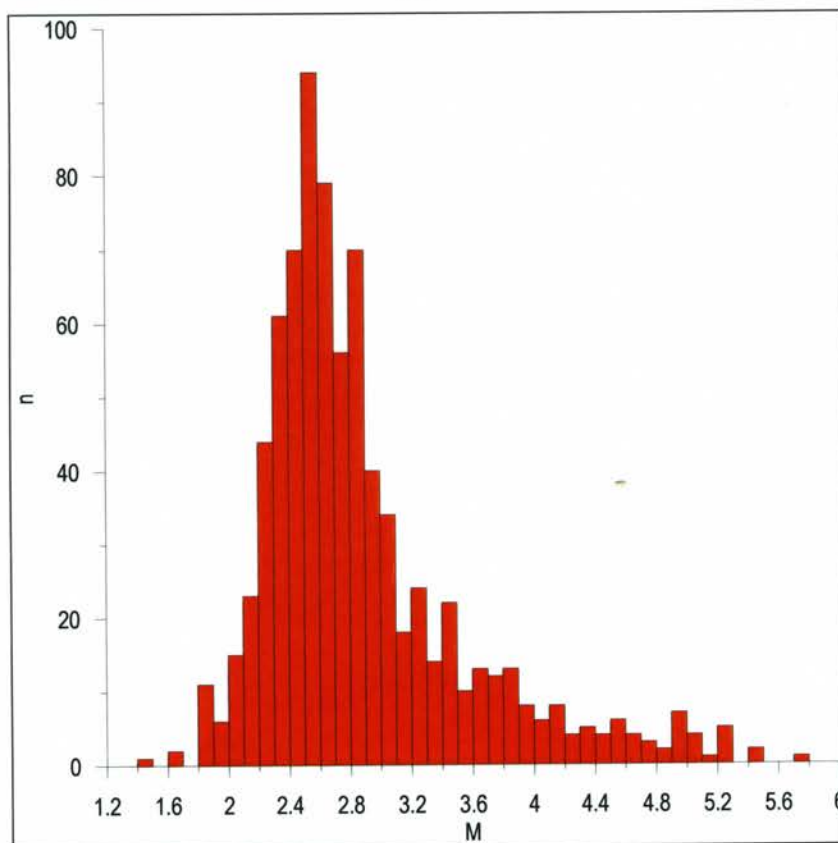
Η περιοχή Ασπροβάλτας-Βρασνών χαρακτηρίζεται από τη σύνθετη δράση δύο ομάδων ρηγμάτων:

(1) παράλληλα συνθετικά κανονικά ρήγματα ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνσης με κυρίαρχο αυτό που διέρχεται από το χωριό Ζεστά Νερά διαμορφώνοντας ουσιαστικά τις βόρειες ακτογραμμές του κόλπου του Ορφανού (Στρυμονικού). Τα ρήγματα ταπεινώνουν σταδιακά προς Νότο τον ευρύτερο χώρο και θεωρούνται πιθανά ενεργά γιατί βρέθηκαν μικρότερα ρήγματα μεσοσκοπικής κλίμακας της ίδιας γεωμετρίας να κόβουν Πλειστοκαινικά ιζήματα.

(2) παράλληλα συνθετικά κανονικά ρήγματα ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης, τα οποία βαθμιαία ταπεινώνουν το μορφοανάγλυφο της περιοχής προς τα Ανατολικά και καθορίζουν το σχήμα της ακτογραμμής του Κόλπου του Ορφανού (Στρυμονικού) στην περιοχή της Ασπροβάλτας.

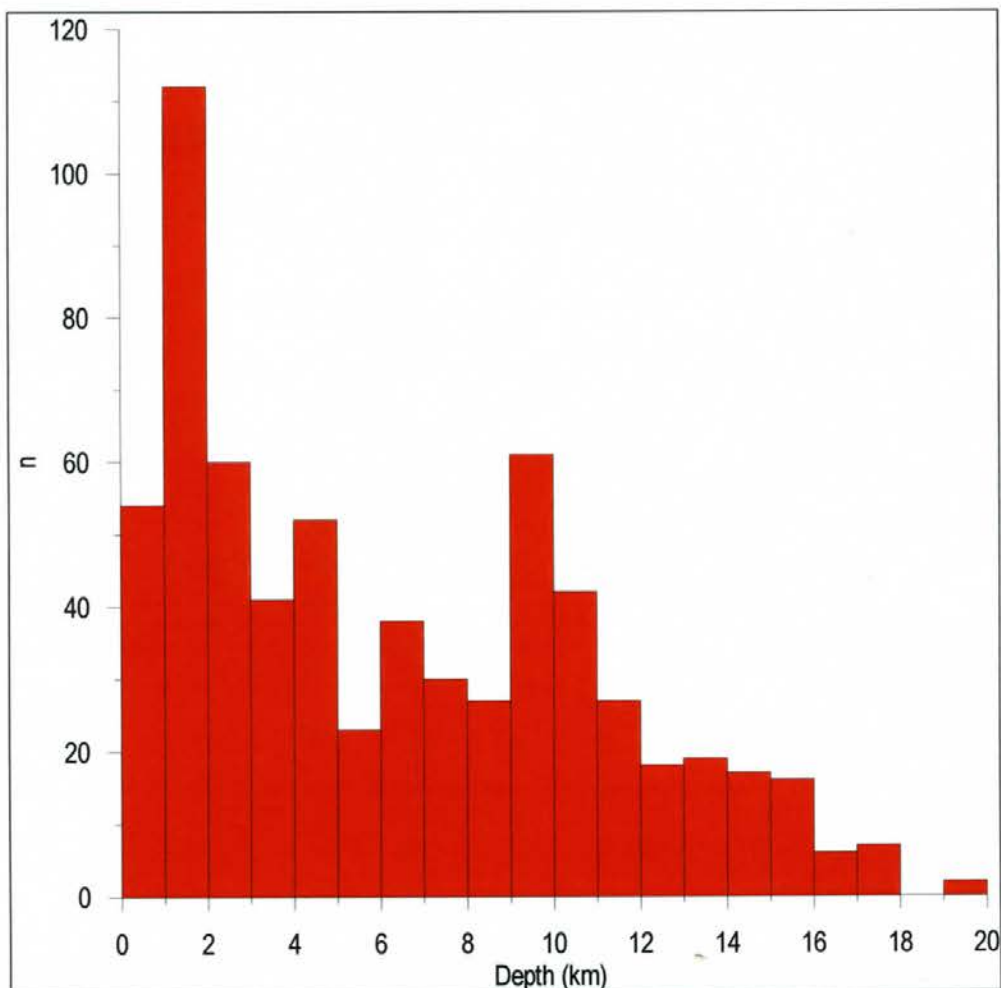
## 5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ (Σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ)

Τα δεδομένα των σεισμών της περιοχής του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή καλύπτουν το χρονικό διάστημα 1930 - 2003 και προέρχονται από τον κατάλογο των Papazachos et al. (2000) που περιέχει πληροφορίες για όλους τους γνωστούς σεισμούς της Ελλάδας και των γύρω περιοχών που έγιναν από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι το τέλος του 1999, συνδυασμένες πληροφορίες από διεθνείς σεισμολογικούς φορείς (ISC, NEIC, Harvard κλπ) καθώς και από αναγραφές του δικτύου σειсмоγράφων του εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία 804 γνωστών σεισμών με μεγέθη  $M \geq 1,5$ . Το διάγραμμα συχνότητας των μεγεθών δίνεται στο σχήμα 17.



Σχ. 17. Κατανομή των τιμών των μεγεθών όλων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κατά το χρονικό διάστημα (1930-2002).

Παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι σεισμοί είχαν μεγέθη μεταξύ  $M=2,0$  και  $M=3,5$ , ενώ ο μεγαλύτερος της τελευταίας δεκαετίας έγινε στις 4 Μαΐου 1995 στην περιοχή μεταξύ της Αρναίας και του κόλπου της Ιερισσού και είχε μέγεθος  $M=5,3$ .



Σχ. 18. Κατανομή των τιμών των εστιακών βαθών των σεισμών της περιοχής του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κατά τη δεκαετία 1930-2003

Από το διάγραμμα συχνότητας των εστιακών βαθών των σεισμών αυτών (σχήμα 18) παρατηρούμε ότι όλοι οι σεισμοί είναι επιφανειακοί με εστιακά βάθη που δεν ξεπερνούν τα 20 km ενώ η κύρια συγκέντρωση των εστιακών βαθών παρατηρείται μεταξύ 2 και 16 km. Μια τοπική συγκέντρωση που παρατηρείται στα πρώτα 2 km είναι

μάλλον πλασματική και οφείλεται στο γεγονός ότι στο μοντέλο της δομής του φλοιού που χρησιμοποιήθηκε υπήρχε μια ασυνέχεια στο 1,5 km. Το μέσο εστιακό βάθος υπολογίσθηκε ίσο προς  $h = 6,0 \pm 5$  km.

Στο χάρτη του σχήματος 19 είναι σημειωμένα τα επίκεντρα όλων των γνωστών σεισμών (ιστορικών και πρόσφατων μέχρι και το Μάιο του 2003) που έγιναν στην περιοχή που καλύπτει το φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ (σημειώνεται με λεπτές γραμμές) και γύρω απ' αυτήν. Ο χάρτης αυτός περιέχει τα επίκεντρα 1710 γνωστών σεισμών με μεγέθη από 1,7 μέχρι 7,0 που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος κατά το συνολικό χρονικό διάστημα 620-2003. Τα στοιχεία των ισχυρότερων από τους σεισμούς αυτούς που τα επίκεντρά τους εντοπίζονται μέσα στην κλειστή περιοχή ενδιαφέροντος δίνονται στον Πίνακα II.

**Πίνακας II.** - Στοιχεία όλων των γνωστών σεισμών με  $M \geq 4.0$  που έγιναν στην περιοχή του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ.

Year	Mo /Da	Time HR:MN:SC	Latit. (°N)	Long. (°E)	Depth (km)	M
620	00/00	00:00:00	40.7	23.5	0.0	7.0
1931	08/18	09:47:10	40.7	23.5	0.0	5.1
1932	04/23	09:57:36	40.7	23.5	0.0	5.0
1932	09/26	21:26:56	40.5	23.8	0.0	6.0
1932	09/28	16:52:17	40.5	23.8	0.0	5.7
1932	09/29	06:50:45	40.5	23.9	0.0	5.0
1932	10/01	08:08:00	40.5	23.9	0.0	5.0
1932	10/01	13:36:22	40.5	23.9	0.0	5.0
1932	10/09	06:24:52	40.5	23.9	0.0	5.1
1932	10/12	02:59:16	40.5	23.9	0.0	5.1



1932	10/21	03:26:04	40.5	23.8	7.0	5.0
1932	11/01	16:19:34	40.5	23.8	0.0	5.5
1932	12/21	03:26:45	40.5	23.8	0.0	5.3
1932	12/29	08:53:04	40.5	23.8	7.0	5.3
1933	05/25	13:30:00	40.5	23.8	7.0	5.3
1933	10/25	23:50:35	40.5	23.9	7.0	5.3
1936	04/08	04:17:18	41.0	23.5	0.0	5.5
1952	06/27	13:09:18	40.7	23.5	0.0	5.0
1970	04/16	22:39:31	40.6	23.5	8.0	5.2
1981	06/19	19:45:43	40.6	23.7	9.0	4.1
1981	07/06	21:34:48	40.8	23.5	2.0	4.0
1981	07/15	03:49:50	40.5	23.5	7.0	4.0
1982	04/12	03:39:30	40.5	23.7	9.0	4.7
1982	06/13	04:25:25	40.5	23.6	1.0	4.0
1985	03/20	13:10:36	40.8	23.6	1.0	4.2
1985	03/29	22:39:32	40.8	23.6	1.0	4.0
1985	03/31	00:13:16	40.8	23.6	0.0	4.2
1985	04/09	07:19:13	40.8	23.7	1.0	4.1
1990	04/25	11:31:59	40.8	23.8	1.0	4.0
1990	11/27	16:29:05	40.6	23.8	0.0	4.2
1992	05/02	09:41:04	40.6	23.5	2.0	4.1
1995	04/04	17:10:10	40.5	23.6	8.0	4.6
1995	04/04	17:27:06	40.5	23.6	8.0	4.3
1995	05/03	04:45:48	40.5	23.5	4.0	4.0
1995	05/03	14:16:41	40.5	23.6	8.0	4.4
1995	05/03	15:39:56	40.5	23.6	7.0	4.7
1995	05/03	18:56:39	40.5	23.6	1.0	4.3

1995	05/03	21:36:54	40.5	23.6	8.0	5.0
1995	05/03	21:43:27	40.5	23.6	11.0	5.1
1995	05/04	00:34:10	40.5	23.6	9.0	5.3
1995	05/04	00:43:41	40.5	23.5	5.0	4.1
1997	06/25	20:25:43	40.5	23.9	10.0	4.0
1999	12/12	19:25:58	40.5	23.6	10.0	4.5

---

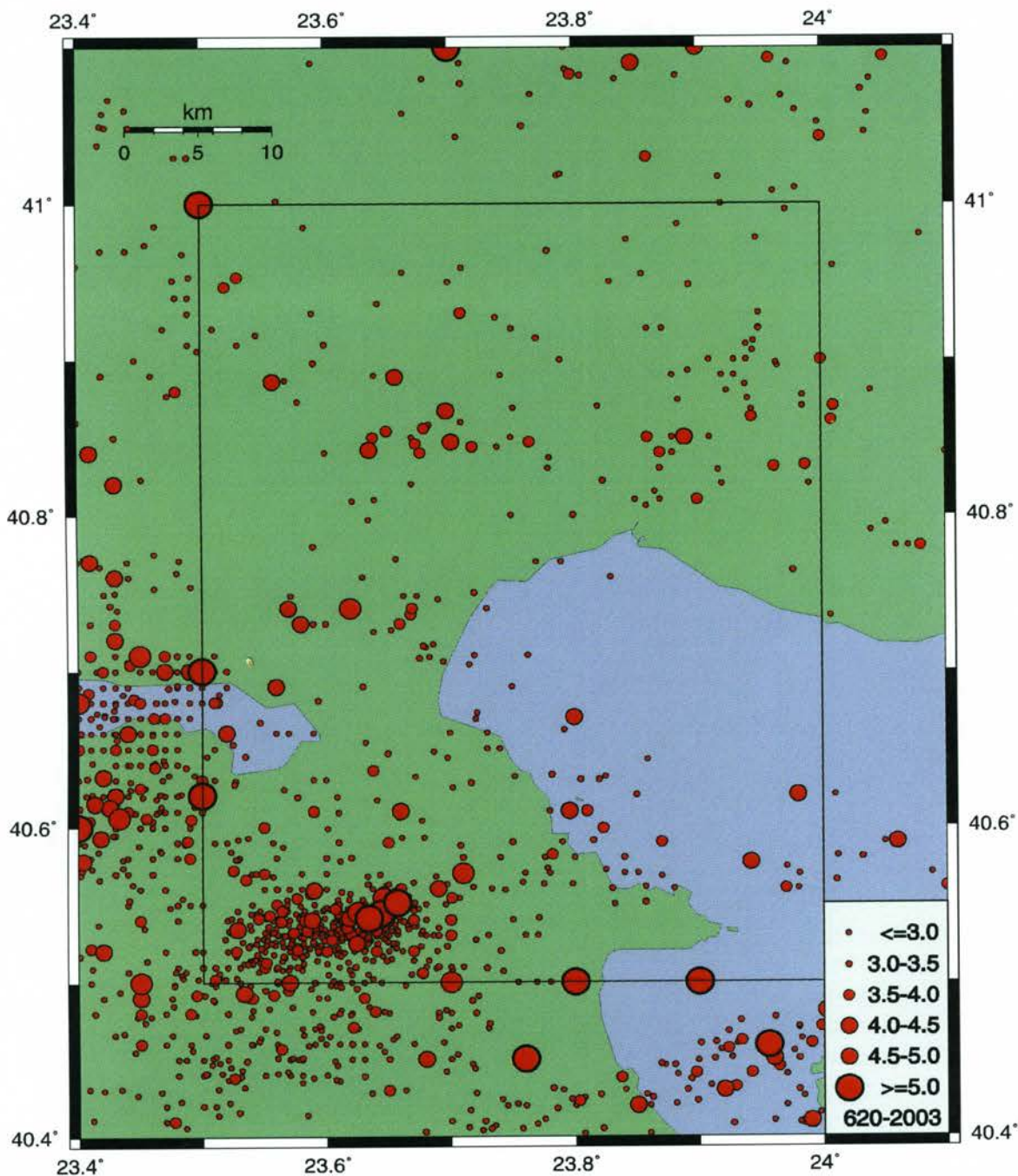
Η πληρότητα των δεδομένων για τους σεισμούς αυτούς ελέγχθηκε για διάφορα χρονικά διαστήματα από το 1930 μέχρι και το 2003. Τα δεδομένα κατά τα προηγούμενα χρόνια ήταν ελάχιστα καθιστώντας αδύνατη την εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου για τον καθορισμό πληρότητας. Οι κατά μέγεθος κατανομές δίνονται στα τρία διαγράμματα που ακολουθούν (σχήμα 20). Έπειτα από δοκιμές για διάφορα χρονικά «παράθυρα» προέκυψε πληρότητα των δεδομένων για τα παρακάτω μεγέθη και κατά τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα:

$M \geq 5,0$  1930 - 1980

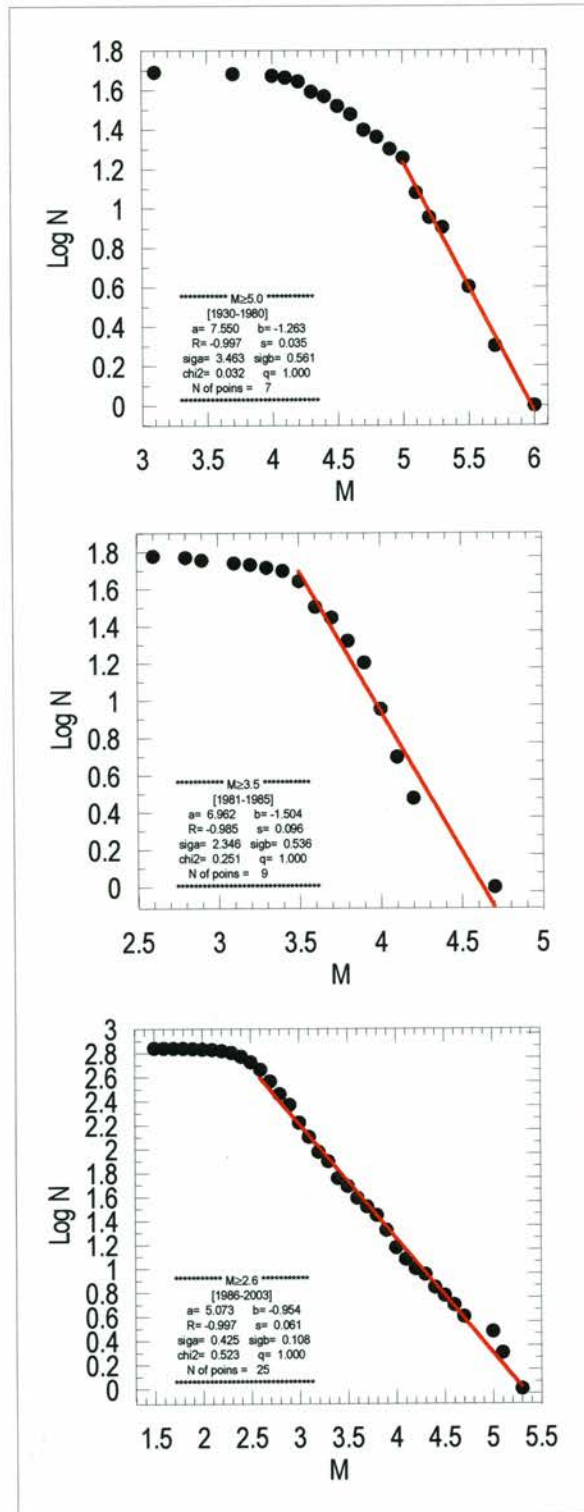
$M \geq 3,5$  1981 - 1985

$M \geq 2,6$  1986 - 2003

Η παράμετρος  $b$  για το χρονικό διάστημα 1986-2003 έχει τιμή  $b=0,954$  (συντελεστής συσχέτισης  $r=0,997$ ) (σχ. 20). Η τιμή αυτή βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με την τιμή  $b=0,92$  που προέκυψε για το Ελληνικό τμήμα της Σερβομακεδονικής ζώνης και της γύρω περιοχής από τα δεδομένα του τηλεμετρικού σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής για τη χρονική περίοδο 1981 - 1984 (Σκορδύλης 1985).

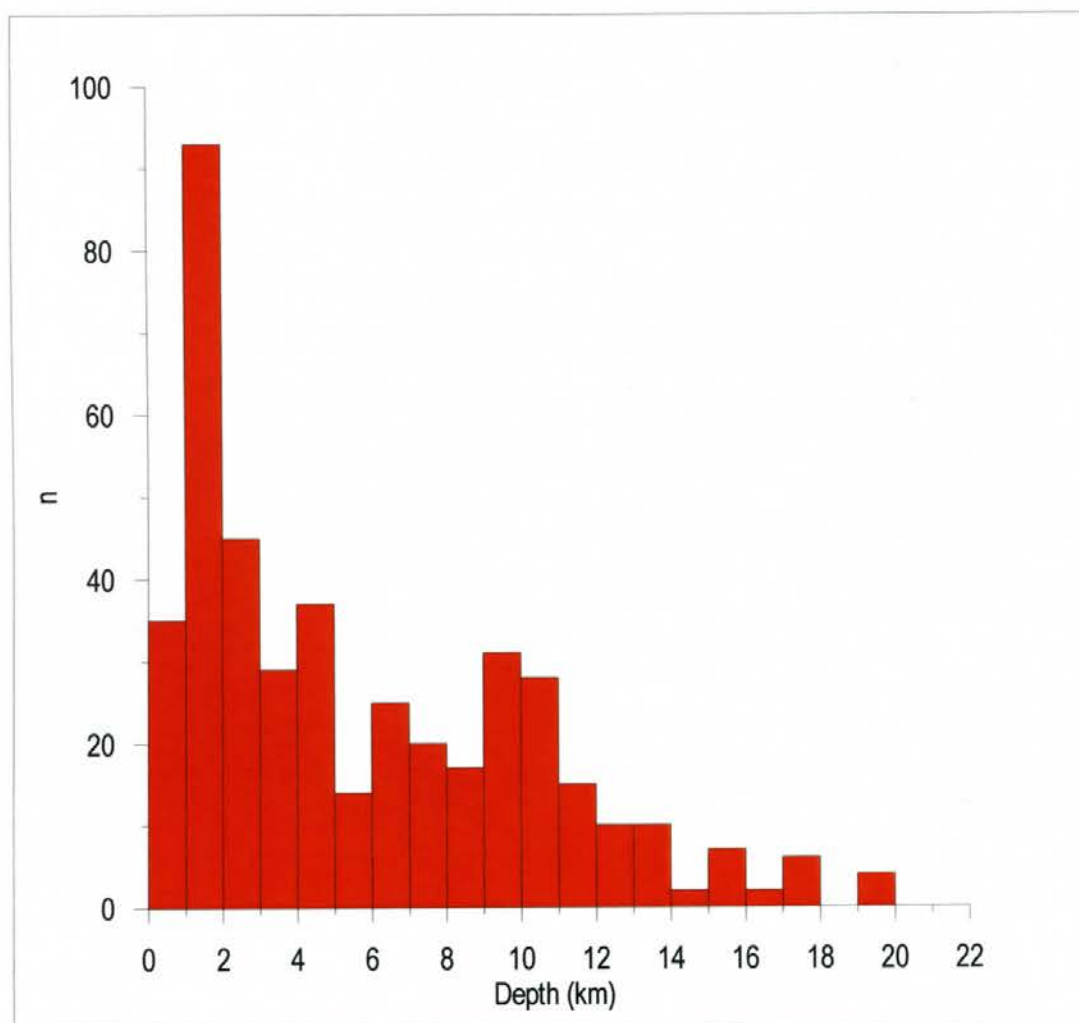


Σχ. 19. Γεωγραφική κατανομή των σεισμών, ιστορικών και πρόσφατων, που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ. Οι πληρότητες των μεγεθών αναφέρονται στο κείμενο.



Σχ. 20. Κατά μέγεθος κατανομές, για διάφορα χρονικά διαστήματα των σεισμών της περιοχής του φύλλου ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ που έγιναν κατά το διάστημα 1930-2002.

Από τη γεωγραφική κατανομή των επικέντρων που φαίνεται στο σχήμα 19 παρατηρείται μία αξιοσημείωτη συγκέντρωση επικέντρων που εντοπίζεται στην περιοχή που εκτείνεται από την Αρναία ως τον κόλπο της Ιερισσού με διεύθυνση περίπου  $N87^{\circ}E$  (σχεδόν Ανατολή-Δύση). Οι σεισμοί της περιοχής αυτής χαρακτηρίζονται από μεγάλα, σχετικά, μεγέθη και εστιακά βάθη που φθάνουν τα 20km (Σχ. 21). Το μέσο εστιακό βάθος για τους σεισμούς της συγκέντρωσης αυτής είναι  $h=7,5\text{km}$ .



Σχ. 21. Κατανομή των τιμών των εστιακών βαθών των σεισμών της Αρναίας.

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

Συμπερασματικά από τη μελέτη της κινηματικής και δυναμικής της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης της περιοχής Βόλβης-Ανατολικής Χαλκιδικής που επιτεύχθηκε μέσω της εκπόνησης του νεοτεκτονικού χάρτη, φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ κλίμακας 1:100.000 καθώς και της μελέτης της σεισμικότητας της περιοχής, καταλήγουμε στα ακόλουθα αποτελέσματα:

(1) Στην ευρύτερη περιοχή του φύλλου αναγνωρίστηκαν μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και ρήγματα κυρίως σε γενική Α-Δ διεύθυνση, που στο σύνολο τους είναι ενεργά ή πιθανά ενεργά για τη πρόκληση μέτριου και πιθανώς μεγάλου μεγέθους σεισμού. Τα ρήγματα αυτά παρουσιάζουν απότομα πρηνή, διαμορφώνουν το σύγχρονο μορφοανάγλυφο και το υδρογραφικό δίκτυο, καθορίζουν τους χώρους απόθεσης των Τεταρτογενών ιζημάτων και συνδέονται σε πολλές περιπτώσεις με τη παρουσία γεωθερμικών ρευστών και γενικά πηγών, ιδιαίτερα όπου συνδυάζονται με άλλης διεύθυνσης ρήγματα. Πρόκειται γενικά για μεγάλης γωνίας κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ, που εμφανίζονται πολλές φορές να συνδέουν εξελικτικά τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, τα οποία αποτελούν παλαιότερα ρήγματα, όπως αναγνωρίζεται από τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι οποίες προσδιορίζουν παλαιότερες δραστηριοποιήσεις. Αυτή η τεκτονική εικόνα παρατηρείται στο νότιο περιθώριο της λεκάνης του Στρυμόνα και στη περιοχή Αγίου Βασιλείου-Γερακαρούς-Νικομηδηνού-Στίβου στο φύλλο ΛΑΓΚΑΔΑΣ, 1:100.000. Κινηματικά τα ρήγματα παρουσιάζουν γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που αντιστοιχούν σε διάνυσμα κίνησης (pitch  $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ ).

Τα ρήγματα της κατηγορίας αυτής που χαρτογραφήθηκαν είναι το Σεισμικό ρήγμα Στρατωνίου, τα Ενεργά ρήγματα Νέας Μάδυτου και Οφρυνίου-Γαληψού, τα Πιθανά

Ενεργά ρήγματα Ολυμπιάδας-Βόλβης, Μικρής Βόλβης-Βαμβακιάς, Δήμητρας, Νιγρίτας, Δάφνης και Καστρορέμματος.

(2) Το σύγχρονο εντατικό πεδίο που προσδιορίζεται από τα ενεργά και σεισμικά ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί στο φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ είναι εφελκυστικό, με γενική διεύθυνση κύριου εφελκυσμού Β-Ν. Από τα ιζήματα που επηρεάζουν τα παραπάνω ρήγματα προκύπτει ότι ο εφελκυσμός που κυριαρχεί στον ευρύτερο χώρο χρονολογείται από το Μέσο Πλειστόκαινο ως σήμερα (ενεργός).

(3) Ανιχνεύεται κι ένα παλαιότερο εντατικό πεδίο, επίσης εφελκυστικό με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση μέγιστου εφελκυσμού, το οποίο προσδιορίζεται στο διάστημα Ανω Μειόκαινο-Κάτω Πλειστόκαινο. Από τα προαναφερθέντα Α-Δ διεύθυνσης ρήγματα όσα λειτούργησαν κατά το εφελκυστικό αυτό πεδίο της περιόδου εκείνης λειτούργησαν ως πλάγια κανονικά ρήγματα. Κατά βάση όμως την περίοδο εκείνη δημιουργήθηκαν τα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγματα, τα οποία αργότερα επαναδραστηριοποιήθηκαν με το σύγχρονο εφελκυστικό πεδίο και αποτέλεσαν τα ενεργά ρήγματα της Αρέθουσας και της Βαρβάρας, το πιθανό Ενεργό ρήγμα του Σκεπαστού, αλλά και τα ΒΔ-ΝΑ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ ρήγματα κατά μήκος της γραμμής Νιγρίτας-Σιτοχωρίου-Δάφνης.

(4) Εντονη σεισμική δραστηριότητα παρουσιάζουν οι παρακάτω περιοχές:

(α) η περιοχή Στρατωνίου-Βαρβάρας-Ολυμπιάδας-Βόλβης. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλα βάθη επιφανειακών σεισμών που φτάνουν και τα 25km ενώ κύριο χαρακτηριστικό είναι η διάσπαρτη, σ' όλο το χώρο, κατανομή των epicέντρων των σεισμών με μεγέθη  $M_L$  από 2 ως 4.2. Αξιοσημείωτο είναι ότι παρατηρείται μια σχετική μείωση εμφάνισης σεισμών προς τα Βόρεια (περιοχή Βόλβης-Ολυμπιάδας) και ότι οι μεγάλοι σεισμοί παρατηρούνται μόνο στα Νότια, επί της γραμμής του ρήματος Στρατωνίου. Το γεγονός αυτό έχει προκύψει και από την χαρτογράφηση των ρηγμάτων στο τμήμα αυτό του χάρτη.

(β) η περιοχή του Παγγαίου, όπου παρατηρείται μία πολύ καλή, ευθύγραμμη κατανομή των epicέντρων των σεισμών σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Χαρακτηρίζεται από μικρά εστιακά βάθη και μεγέθη των σεισμών, οι οποίοι συνδέονται επιφανειακά με τα ρήγματα του Παγγαίου όρους.

(γ) η περιοχή Δάφνης, όπου φαίνεται ότι η σεισμικότητα είναι αποτέλεσμα της παράλληλης δραστηριοποίησης κυρίως των Α-Δ διεύθυνσης και δευτερευόντως των ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης ρηγμάτων με τα epicέντρα να συγκεντρώνονται όχι μόνο επί των Α-Δ ρηγμάτων, αλλά και στις διασταυρώσεις τους με τα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης ρήγματα.



## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ARMOUR-BROWN, A., DE BRUINJ, H., MANIATI, C., SIATOS, G., NIESEN, P. (1977): The geology of the Neogene Sediments North of Serres and the use of Rodent fauna for biostratigraphic control. VII Colloquium on the Geology of the Aegean Region, 2, 615-622, Athens.
- CARVER, D. & BOLLINGER, G. A. (1981). Aftershocks of the June 20, 1978, Greece earthquake: a multimode faulting sequence. *Tectonophysics* 73, 343-363.
- COMNINAKIS, P.E. & PAPAZACHOS, B. C. (1986). A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1985. *Publ. Geophys. Laboratory, Univ. Thessaloniki*, 1, 1-167.
- DE BRUINJ H. (1989). Smaller mammals from the Upper Miocene and Lower Pliocene of the Strimon basin, Greece. Part 1. Rodentia and Lagomorpha, *Bull. Soc. Paleont. Italiana*, 28, 189-195.
- DINTER, D. A. & ROYDEN, L. (1993). Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment system and Rhodope metamorphic core complex. *Geology*, 21, 45-48.
- FOUNTOULIS, D. (1980). Etude neotectonique et seismotectonique du bassin de Langadha (Macedoine, Grece). Thesis 3e cycle, Univ. de Paris Sud.
- FREYBERG, B. VON, (1951). Geologie und Lagerstättenkunde des Braunkohlenreviers von Serrae (Makedonien). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 3, 81-154.
- GEORGALAS, G. & GALANOPOULOS, A. (1953). Das grosse Erdbeben der Chalkidike vom 26 September 1932. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 1, 11-63.
- GRAMANN, F., KOCKEL, F. (1969). Das Neogen im Strimonbecken (Griechisch-Ostmazedonien). Teil. I. Lithologie, Stratigraphie und Palaeogeographie. *Geol.*

Jb. 87 S., 445-484, 7 Abb. 4 Tab. 2 Taf. Hannover.

- HATZFELD, D., CHRISTODOULOU, A. A., SCORDILIS, E. M., PANAGIOTOPOULOS, D. G. & HATZIDIMITRIOU, P. M. (1987). A microearthquake study of the Mygdonian graben (Northern Greece). *Earth and Planetary Science letters*, 81, 379-396.
- ΙΓΕΥ (1970). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο ΣΙΤΟΧΩΡΙ.
- ΙΓΜΕ (1978). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο ΣΤΑΥΡΟΣ.
- ΙΓΜΕ (1978). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο ΣΤΡΑΤΟΝΙΚΗ.
- ΙΓΜΕ (1984). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο ΡΟΔΟΛΙΒΟΣ.
- ΚΑΡΥΣΤΙΝΑΙΟΣ, Ν. (1984). Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης των Σερρών. Λιθοστρωματογραφία, Βιοστρωματογραφία και Τεκτονική. Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης.
- KARISTINEOS, N. GEORGIADES-DIKEOULIA, E. (1985/86). The marine transgression in the Serres basin. *Ann. Geol. pays Hell.*, 33, 1, 221-232, Athens.
- KARISTINEOS, N., IOAKIM, C. (1989). Palaeoenvironmental and palaeoclimatic evolution of the Serres basin (N. Greece) during the Miocene Palaeogeogr. *Palaeocl. Palaeoec.*, 70, 275-285.
- KILIAS, A., FALALAKIS, G. & MOUNTRAKIS, D. (1999). Cretaceous-Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece). *Int. Journ. Earth Sciences*, 88, 513-531.
- KILIAS, A. & MOUNTRAKIS, D. (1990). Kinematics of the crystalline sequences in the Western Rhodope Massif. In: 2nd Hellenic Bulgarian Symposium (Soldatos, K. ed.), *Geol. Rhodopica*, 2, 100-116.
- KILIAS, A & MOUNTRAKIS, D. (1998). Tertiary extension of the Rhodope massif associated with granite emplacement (Northern Greece). *Acta Vulcanologica*,

10, 2, 331-337.

- KOCKEL, F., MOLLAT, H. & WALTHER, H. W. (1977). Erläuterungen zur geologischen karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord Griechenland). Bund. Fur Geowiss, v. Rohstoffe, 110p. Hannover.
- KOCKEL, F. & WALTHER, H. W. (1965). Die Strimon-linie als Grenze zwischen Serbo-Mazedonischen und Rila-Rhodope Massiv in Ost-Mazedonien. Geol. Jb., 83, 576-602.
- KOUFOS, G. D., & KOSTOPOULOS, D. S. (1997). Biochronology and succession of the Plio-Pleistocene Macromammalian localities of Greece. Actes Congres BIOCHROM 1997. Mém. Trav. E.P.H.E., Inst. Montpellier 21, 619-634.
- KOUFOS, G. D., SYRIDES, G. E. & KOLIADIMOU, K. K. (1989). A new Pleistocene mammal locality from Macedonia (Greece). Contribution to the study of Villafranchian (Villanyan) in Central Macedonia. Bull. Geol. Soc. Greece, 23, 2, 113-124.
- KOUFOS, G.D., SYRIDES, G.E., KOSTOPOULOS, D.S. & KOLIADIMOU, K.K. (1995). Preliminary results about the stratigraphy and palaeoenvironment of Mygdonia basin, Macedonia, Greece. Geobios M.S., 18, 243-249.
- KOUKOUZAS, C. (1972). Le chevauchement de Strymon dans la region de la frontiere greco-bulgare. 2. Deuts. Geol. Ges. 123.
- LYBERIS, N. (1984). Tectonic evolution of the North Aegean trough. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (eds: Dixon, J. E & Robertson, A. H. F.), Geol. Soc. Lond., Spec. Publ., 17, 709-725.
- ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ. (1933). Επί των γεωλογικών και μακροσεισμικών χαρακτηριστικών των σεισμών της Χαλκιδικής (Σεπτέμβριος 1932). Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- MELENTIS, I. (1966). Steneofiber jageri aus Ligniten von Serre und die Datierung der

Fund-schichten Ann. Geol. Pays Hell., 17, 289-297.

MERCIER, J-L., CAREY-GAILHARDIS, E., MOUYARIS, K., SIMEAKIS, K.,  
ROUNDYANNIS T. & ANGHELIDIS, C. (1983). Structural analysis of  
recent and active faults and regional state of stress in the epicentral area of the  
1978 Thessaloniki earthquakes (Northern Greece). Tectonics, 2, 577-600.

MERCIER, J-L., SIMEAKIS, K., SOREL, D. & VERGELY, P. (1989). Extensional  
tectonic regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. Basin Research, 2,  
49-71.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. Univ. Stud. Press, Θεσσαλονίκη.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ,  
Ε., ΣΥΡΙΔΗΣ, Γ., ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, Ε., ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν.,  
ΖΟΥΡΟΣ, Ν. & ΦΑΣΟΥΛΑΣ, Χ. (1994). Κινηματική και Δυναμική της  
Νεοτεκτονικής Παραμόρφωσης στην περιοχή Βόλβης-Ανατολικής Χαλκιδικής.  
Σύνταξη του Νεοτεκτονικού Χάρτη, Φύλλο Ροδολίβος, Θεσσαλονίκη, 1-60.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ, Α.,  
ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΑΣΤΑΡΑΣ, Θ., ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε., ΚΟΥΦΟΣ, Γ.,  
ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β., ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, Μ.,  
ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., ΠΑΤΡΑΣ, Δ., ΣΥΡΙΔΗΣ, Γ.,  
ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ, Ν. & ΛΑΓΓΑΛΗΣ, Θ. (1996α). Νεοτεκτονικός Χάρτης της  
Ελλάδας, φύλλο Λαγκαδά, κλίμακας 1:100.000. Έκδοση Οργανισμού  
Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και του Ευρωπαϊκού  
Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (ΕΚΠΠΣ).

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ, Α.,  
ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΑΣΤΑΡΑΣ, Θ., ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε., ΚΟΥΦΟΣ, Γ.,  
ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β., ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, Μ.,  
ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., ΠΑΤΡΑΣ, Δ., ΣΥΡΙΔΗΣ, Γ.,

ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ, Ν. & ΛΑΓΓΑΛΗΣ, Θ. (1996β). Νεοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Θεσσαλονίκη, κλίμακας 1:100.000. Έκδοση Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (ΕΚΠΠΣ).

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ, Λ., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΑΣΤΑΡΑΣ, Θ., ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε., ΚΟΥΦΟΣ, Γ., ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β., ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, Μ., ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., ΠΑΤΡΑΣ, Δ., ΣΥΡΙΔΗΣ, Γ., ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ, Ν. & ΛΑΓΓΑΛΗΣ, Θ. (1997α). Ειδική έκδοση του Νεοτεκτονικού Χάρτη της Ελλάδας, φύλλο Λαγκαδάς (Επεξηγηματικό τεύχος). Έκδοση Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (ΕΚΠΠΣ), 1-79.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ, Λ., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α., ΑΣΤΑΡΑΣ, Θ., ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ, Ε., ΚΟΥΦΟΣ, Γ., ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ., ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ, Β., ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, Μ., ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., ΠΑΤΡΑΣ, Δ., ΣΥΡΙΔΗΣ, Γ., ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ, Ν. & ΛΑΓΓΑΛΗΣ, Θ. (1997β). Ειδική έκδοση του Νεοτεκτονικού Χάρτη της Ελλάδας, φύλλο Θεσσαλονίκης (Επεξηγηματικό τεύχος). Έκδοση Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών (ΕΚΠΠΣ).

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ., ΚΙΛΙΑΣ, Α., ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ., ΚΟΥΦΟΣ, Γ., ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ν., ΤΡΑΝΟΣ, Μ., ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Κ., ΖΟΥΡΟΣ, Ν. & ΦΑΣΟΥΛΑΣ, Χ. (1995). Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Χώρου, Περιοχή Μακεδονίας, κλίμακα 1:300.000, Έκθεση ΟΑΣΠ, 1-106.

- MOUNTRAKIS, D., PSILOVIKOS, A. & PAPAACHOS, B. (1983). The geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquake. In: The Thessaloniki, northern Greece, earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence (Eds: Papazachos, B. & Karydis, P.). Technical Chamber of Greece, 11-27.
- PAPAACHOS, B., COMNINAKIS, P., HATZIDIMITRIOU, P., KIRIAKIDIS, E., KIRATZI, A., PANAGIOTOPOULOS, D., PAPADIMITRIOU, E., PAPAIOANNOU, CH., PAVLIDES, S. & TZANIS, E. (1982). Atlas of Isoseismal Maps for earthquakes in Greece 1902-1981. Geophys. Lab. Univ. Thessaloniki.
- PAPAACHOS, B., MOUNTRAKIS, D., PSILOVIKOS, A. & LEVENTAKIS, G. (1979). Surface fault traces and fault plane solutions of May-June 1978 major shocks in the Thessaloniki area, Greece. *Tectonophysics* 53, 171-183.
- PAPAACHOS, B., MOUNTRAKIS, D., PSILOVIKOS, A. & LEVENTAKIS, G. (1980). Focal properties of the 1978 earthquakes in the Thessaloniki area. *Bulgar. Geophys. Journal*, 6, 72-80.
- ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Β. & ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ, Κ. (1989). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΙΔΗΣ, Η. (1952). Σέρραι, Παγγαίον το Νεογενές και η γεωλογία του λιγνίτου. *Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλ. Γεωφυσ. Μελ.* II/4 181-248.
- PAVLIDES, S. B. (1993). Active faulting in multi-fractured seismogenic areas; examples from Greece. *Z. Geomorph. N.F.*, 94, 57-92.
- PAVLIDES, S. B. & KILIAS, A. A. (1987). Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece). *Annls. Tectonicae* 1, 97-104.
- PAVLIDES, S. & MOUNTRAKIS, D. (1987). Extensional tectonics of Northwestern Macedonia, Greece, since the Late Miocene. *J. Struct. Geol.*, 9, 385-392.
- PAVLIDES, S., MOUNTRAKIS, D., KILIAS, A. & TRANOS, M. (1990). The role of

strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. In: Active and recent strike-slip tectonics (Eds: Boccaletti, M. & Nur, A.). Spec. Publs Annls Tectonicae 4, 2, 196-211.

PAVLIDES, S. & TRANOS, M. (1991). Structural characteristics of two strong earthquakes in the North Aegean: Ierissos (1932) and Agios Efstratios (1968). In: Characteristics of active faults (Eds: Hancock, P. L., Yeats, R. S. & Sanderson, D. J.). Spec. Publs J. Struct. Geol. 13, 2, 205-214.

PSILOVIKOS, A. (1984). Geomorphological and structural modification of the Serbomacedonian massif during the neotectonic stage. Tectonophysics 110, 27-45.

PSILOVIKOS, A. SYRIDES, G. (1983). Stratigraphy, sedimentation and palaeogeography of the Strymon basin, Eastern Macedonia/N. Aegean sea, Greece. Clausthaler Geol. Abh. No 44, p. 55-87.

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-MANE, E. (1966). Συμβολή εις την γεωλογία της περιοχής του κόλπου Ορφανού Ανατολικής Μακεδονίας. Επιστ. Επετ. Φυσικομαθ. Σχολής 10/1-48.

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-MANE, E. & ΣΥΜΕΩΝΙΔΗΣ, N. (1968). Στρωματογραφική έρευνα εις την περιοχή της λεκάνης Νιγρίτης. Ann. Geol. Pays Hell. 18/21-29, Αθήνα.

ΣΚΟΡΔΥΛΗΣ, E. M. (1985). Μικροσεισμική μελέτη της Σερβομακεδονικής ζώνης και των γύρω περιοχών. Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

SCORDILIS, E. M., KARAKAISIS, G. F., PAPADIMITRIOU, E. E. & MARGARIS, B. N. (1989). Microseismicity of the Serbomacedonian zone and the surrounding area. Geologica Rhodopica 1, 79-83.

SCORDILIS, E. M., KARAKOSTAS, B. G., PAPAIOANNOU, CH. A., &

- PAPAZACHOS, B. C. (1992). Seismic sources affecting the city of Thessaloniki. Publ. Geophys. Laboratory, Univ. Thessaloniki, 10, 1-27.
- SIMEAKIS, C., MERCIER, J-L., VERGELY, P. & KISSEL, C. (1989). Late Cenozoic rotations along the North Aegean trough fault zone (Greece): structural constraints. In: Paleomagnetic rotations and continental deformation (Eds: Kissel, C. & Laj), 131-143.
- SOUFLERIS, CH. (1980). The Thessaloniki (North Greece) 1978 earthquake sequence. Ph. D. Thesis, Cambridge University.
- SOUFLERIS, CH., JACKSON, J. A., KING, G. C. P., SPENCER, C. P. & SCHOLZ, C. H. (1982). The 1978 earthquake sequence near Thessaloniki (northern Greece). Geophys. J. R. Astr. Soc. 68, 429-458.
- SOUFLERIS, CH., JACKSON, J. A., KING, G. C. P., SPENCER, C. P. (1983). Thessaloniki 1978 earthquakes: Locally recorded aftershocks. In: The Thessaloniki, northern Greece, earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence (edited by: Papazachos, B. & Karydis, P.). Technical Chamber of Greece, 159-185.
- STEFFENS, P., DE BRUIJN H., MEULENKAMP E., & BENDA L. (1979). Field guide to the Neogene of Northern Greece (Thessaloniki area and Strimon basin). Publ. of the Dept. of Geol. Paleont. Univ. Athens, Series A. No 35, 14 p., Athens.
- SYRIDES, G. (1993). Preliminary report on a new locality with Neogene mollusk fauna from Strymonikos gulf (Macedonia, Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece, 28, 3, 145-149.
- SYRIDES, G. (1995). Neogene mollusk faunas from Strymon basin, Macedonia, Greece. First results for Biochronology and Palaeoenvironment. Geobios M.S., 18, 381-388.



- SYRIDES G. & KOLIADIMOU K. (1994). A new Pleistocene site from Strymon basin, Macedonia, Greece with continental mollusks and micromammals. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 30, 1, 331-339.
- SYRIDES, G. (1998). Paratethyan Mollusc faunas from the Neogene of Macedonia and Thrace, Northern Greece. 10<sup>th</sup> Proc. R.C.M.N.S. Congress, Bucharest, Rom. *J. Stratigraphy*, 78, 171-180.
- SYRIDES, G. (2000). Neogene marine cycles in Strymon basin, Macedonia, Greece. *Proc. Interim Coll. R.C.M.N.S., Geol. Soc. Greece, Special Publ.*, 9, 217-225.
- TRANOS, M. D., PAVLIDES, S. B. & MOUNTRAKIS, D. M. (1995). Neotectonic joints, indicators of the contemporary stress directions in the seismically active Chalkidiki peninsula (N. Greece). In: *Mechanics of Jointed and Faulted Rock 2*, (Ed: Rossmanith, H.P.), Balkema, Rotterdam, 273-278.
- ΤΡΑΝΟΣ, Μ. Δ. (1998). Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο του Βορείου Αιγαίου και της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- TRANOS, M. D. & MOUNTRAKIS, D. M. (1998). Neotectonic joints: their significance on the active deformation of Northern Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 32, 1, 209-219.
- TRANOS, M. D., E. E. PAPADIMITRIOU & KILIAS, A. A. (2003). Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): The western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *J. Struct. Geol.* (in press).
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ, Α. (1977). Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης Μυγδονίας (Λαγκαδάς-Βόλβη, Ελλάδα). Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

**NEOTECTONIC MAP OF GREECE**  
**SCALE 1:100.000**

**SHEET: RHODOLIVOS**

**EXPLANATORY TEXT**

# NEOTECTONIC MAP OF GREECE

Sheet: RHODOLIVOS

Scale: 1:100.000

Scientific responsible: Professor Demosthenis Mountrakis

Department of Geology

Aristotle University of Thessaloniki (Auth)

Research group:

1. Mountrakis Demosthenis	Structural Geology:	Prof. Auth
2. Kiliadis Adamantios	Structural Geology	Prof. Auth
3. Pavlides Spiros	Neotectonics	Prof. Auth
4. Tranos Markos	Dr Structural Geology	(Auth)
5. Spyropoulos Nikolaos	Dr Structural Geology	(Auth)
6. Zouros Nikolaos	Dr Structural Geology	(Auth)
7. Syrides Georgios	Stratigraphy	(Auth)
8. Skordilis Manolis	Seismology	(Auth)
9. Vavliakis Eleptherios	Geomorphology	(Auth)
10. Thomaidou Efi	MCs. Structural Geology –GIS	(Auth)

# CONTENTS

1. INTRODUCTION .....	4
1.1. Geographic setting of the area.....	4
1.2. Scope and methodology of the mapping .....	4
2. GEOLOGICAL SETTING (Pre-Alpine and Alpine Structures).....	6
3. NEOGENE-QUATERNARY STRATIGRAPHY .....	7
3.1. Strymon basin .....	7
3.2. Basin of Orfanos (Strymonikos) gulf .....	11
3.3. Mygdonia basin.....	13
4. NEOTECTONICS, SEISMOTECTONICS AND DESCRIPTION OF THE FAULTS .....	15
4.1. Neotectonic setting.....	15
4.2. Description of Active and Probable active faults .....	16
1. Straton Seismic Fault .....	16
2. Varvara Active Fault .....	17
3. Faults of Stratonikon Mt. ....	18
4. Nea Madytos Active Fault.....	18
5. Olympiada-Volvi Probable Active Faults .....	18
6. Mikri Volvi-Vamvakia Probable Active Faults.....	19
7. Arethousa Active Fault.....	19
8. Ophrinio-Galipsos group of Active Faults .....	20
9. Pangeon Mt. Probable Active Faults.....	20
10. Faults of Dimitra region .....	21
11. Nigrita-Sitochori-Dafni Probable Active Faults.....	21
12. Probable Active Faults of the Asprovalta region.....	22
5. SEISMIC (Seismic activity in the area of the “Rhodolivos” sheet of map) .....	23
6. FINAL RESULTS AND CONCLUSIONS OF THE RESEARCH .....	24

# 1. INTRODUCTION

## ***1.1. Geographic setting of the area***

The neotectonic sheet Rhodolivos of scale 1:100.000 is located in the eastern part of Central Macedonia and defined by the coordinates:

α) East 23°30' - 24°00'

β) North 40°30' - 41°00'

The main physicogeographic feature of the area is the well developed valley of the Strymon river, which dominates the north and central part of the sheet and separates the Kerdillia Mt to the west from the Paggaion Mt. to the east. In the southern part of the sheet the Stratoniko Mt., is separated through the E-W trending Volvi lake from the Kerdillia Mt.

## ***1.2. Scope and methodology of the mapping***

The need for a better picture of the seismic hazard in the wider area of the Rhodolivos sheet inspired the detection, mapping and description of the area's faults, which resulted in this neotectonic sheet. The research group of the Department of Geology of the Aristotle University of Thessaloniki has carried out a detailed fault study dividing them, 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 occurred 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 activated since the late Pleistocene.
- (3) Probable Active faults are those that were activated from late Pliocene to late Pleistocene.
- (4) Inactive faults are those that do not exhibit 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:

the existence of fresh and recent natural fault slickensides  
the possible connection between the epicentres of the microearthquakes and the faults  
linear development of several thermal springs along faults  
the continuation of a fault with another certain active fault  
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 concentrated our interest because they are considered as 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.

To accomplish our research we also evaluate all the previous published geological information and mostly that derived from the geological maps of the Institut of Geological and Mineral Research (IGME) of the area i.e. sheets of “Sitochori”, “Stavros”, “Stratoniki”, “Rhodolivos” and the geological map of Kockel et al. (1977).

## **2. GEOLOGICAL SETTING (PRE-ALPINE AND ALPINE STRUCTURES)**

The exposed rocks of the Rhodolivos sheet, apart from the Neogene and Quaternary sediments that were recognised along the Strymon valley and around the Volvi lake, comprise Pre-Neogene crystalline rocks and magmatic rocks that have been incorporated to the Alpine orogenetic cycle and constitute the Pre-Neogene basement of the area. The latter has been grouped into two geotectonic zones, the Rhodope massif at the east and the Serbomacedonian massif at the west. A large tectonic structure that figured out by the the Strymon river and thus called “Strymon tectonic line” separated these geotectonic zones. However, the Strymon tectonic line presents a complex structure, the origin and behaviour of which is still under debate.

The massif of Rhodope comprises crystalline rocks that have been grouped into the Upper (Sidironero) Tectonic Unit and the Lower (Pangeon) Tectonic Unit. The Sidironero Unit crops out at the North along the Greek-Bulgarian borders and consists of orthogneisses, mica schists, amphibolites, thin interbeds of marbles and migmatites. The Pangeon Unit crops out in the SW Rhodope and consists at the base of orthogneisses, schists and amphibolites, at the middle of a thick marble and in the upper part of marble and schist alternations. The Sidironero Unit overthrusts the Pangeon Unit along a WNW-ESE tectonic line, namely Nestos shear zone. Smaller or larger acid plutonic rocks dated radiometrically to the Hocene-Oligocene times (50-25My) have intruded the rocks of both units. In the Rhodolivos sheet the exposed rocks of the Rhodope massif belong to the middle and upper parts of the Pangeon Unit.

The Serbomacedonian massif consists of crystalline rocks that belong to the Lower Kerdilion Unit and the Upper Vertiskos unit. The Lower kerdilion Unit consists

of successive horizons of gneisses, amphibolites and marbles where migmatization is well developed, whereas the Upper Vertiskos Unit consists of gneisses, mica schists, amphibolites and ophiolites.

The crystalline rocks of the Serbomacedonian massif have been intruded by acid plutonic rocks of Mesozoic and Tertiary age. From them the most important ore-bearing body is the Stratoní granodiorite, which was emplaced into the Kerdilion Unit in the Late Oligocene and now exposes in the wider Stratoní-Olympiada region (southern part of the sheet).

In the present mapping the pre-Neogene basement is uniformly referred and only the marbles, ophiolites and the acid plutonic rocks have been distinguished.

### **3. NEOGENE-QUATERNARY STRATIGRAPHY**

The Neogene and Quaternary sediments that exposed in the Rhodolivos sheet could be attributed to three different basins which are: (1) the Strymon basin, (2) the basin of Orfanos (Strymonikos) gulf and (3) the Mygdonia basin.

The description of the Neogene and Quaternary sediments would be done for each basin separately from the older to younger ones.

#### ***3.1. Strymon basin***

The stratigraphy and tectonics of the Strymon basin are quite complex as indicated by the different published opinions (Freyberg 1951; Paraskevaidis 1952; Gramman & Kockel 1969; Armour-Brown et al. 1977; Karistineos 1984; Kiliás &



Mountrakis 1990, 1998; Dinter & Royden 1993; Tranos 1998; Kiliass et al. 1999; Syrides 2000).

### **3.1.1. Upper Miocene sediments**

They are the older Neogene sediments exposed in the sheet to cover the boundary parts of the Strymon valley with the adjacent mountains, like the northern slopes of the Kerdilia Mt and the NW slopes of the Pangeon Mt. In our mapping we distinguish the following map units:

**(1) Ms, co, c:** Basal conglomerates. They are polymictic, unsorted conglomerates with well rounded cobbles and boulders of marbles, ophiolites, gneiss-schists. They expose mainly in the area of Amphipolis to rest directly onto the basement rocks, whereas smaller exposures have been found south of Kokkinochori. Although, no fossils have been found, they are considered as the oldest Neogene sediments of the Strymon basin. These sediments are overlaid by the next unit named Lower Group (Ms, co-lk) and more possibly they constitute its basal part.

**(2) Ms, co-lk:** Lower Group. It consists of terrestrial, fluvio-terrestrial and lacustrine sediments, in the upper parts of which there exist lignite interbeds. The latter have been described as Lignites Series or Lignite Formation. The sediments underlying the lignitic horizons are mostly polymictic conglomerates and sandstones, whereas the lignite-bearing sediments are more fine-grained clastic or chemical ones, i.e., sandstones, silts, clays, marls, marlstones and travertines, to which some intercalations of conglomerates have been found. The sediments of the Lower Group have been dated in the Upper Miocene.

**(2) Ms, ma-lg:** Upper Group. It consists of marine-brackish sediments that have been described as Dafni Beds and Choumnikon Beds from Gramman & Kockel (1969), Georgios Formation and Georgiou Sandstones. They are fossiliferous marine and later brackish sediments that have been transgressively deposited over the sediments of the Lower Group and the pre-Neogene basement. The lower part consists of sandstones and shallow marine carbonates which expose in the northern slopes of the Kerdillion Mt. (Dafni Beds). The upper part, which is also exposed in the northern slopes of the Kerdillion Mt., consists of brackish and lagoonal sediments like marls, sands and sandstones, clays (Choumnikon Beds) and they reveal the upward gradual transition from the marine environment to the more brackish one. All the sediments of the Upper Group have been dated by fossils in the Upper Miocene.

### **3.1.2. Upper Miocene-Pliocene sediments**

These are sediments that although present a large extent in the Strymon basin are timely poorly constrained by stratigraphic indexes or fossils. Thus, they are grouped into the map unit named Upper Miocene-Pliocene sediments (Ms-Pl, co-lg).

**(1) Ms-Pl, co-lg:** It concerns various types of sediments dating in Late Miocene-Pliocene. More precisely, in the area south of Nigrita there are redbeds (Terpni Beds) the stratigraphic position of which is not clear, since it is possible to constitute not only one but several successive and of different age redbed deposits. In the area close to Aidonochori, polymictic conglomerates are exposed in alternations with beds or lenses of well rounded and sorted gravels as well as grayish yellow or grayish green colored sands. They have been deposited unconformably over the underlying sediments and their environment is lacustrine-brackish. At the low relief parts around the drained

Achinos lake alternated sediments and of various thickness such as sands, sandstones, clays, thin-bedded clayey sands and thin interbeds of marly sandstones are exposed. Fossils sites of invertebrates which have been found are indexes of shallow marine-brackish environment with fine-grained clastic and carbonate sedimentation having influences of evaporitic conditions.

### **3.1.3. Pliocene sediments**

(1) **Pl, ma**: Shallow marine sediments dated in Pliocene. They have been found in the wider area of Nigrita. They include grey-yellow colored sands and sandstones abundant in fossils of marine molluscs. They are indicatives of a second transgression of the sea into the Strymon basin during the Pliocene.

### **3.1.4. Upper Pliocene-Pleistocene sediments**

(1) **Pls-Pt, co**: They consist of redbeds alternated with variously cohesive lensoid beds of breccio-conglomerates that made up extensive fanglomerates especially in the NW pediments of the Mt. Pangeon forming an extensive blanket of thickness about 40-80m to the underlying Neogene sediments. They are the erosional products of the pre-Neogene basement. More precisely, in the proximal parts these fanglomerates are more coarse-grained, unsorted and poorly reworked, whereas in the more distal parts there is a gradual diminish of the breccio-conglomerates and the redbeds are more prevalent. They lack of fossils, but using stratigraphic and lithological indexes could be considered as Pleistocene deposits. However, its basal part could be deposited in the uppermost Pliocene.

### **3.1.5. Quaternary deposits**

(1) **Pt-H, sc-cs:** Scree and alluvial fan deposits of different ages in the pediments of the Kerdillion Mt. and Pangeon Mt.

#### **3.1.5a. Pleistocene deposits**

(1) **Pt, co:** Clastic sediments like sands, gravels and redish brown silts and clays forming three distinct depositional river terraces. They are: (1) the upper terrace system, which is found 30-40m, (2) the middle terrace system, which is found 10-15m and (3) the lower terrace system, which is found 5-6m above the current river bed respectively. The middle terrace system has been dated by terrestrial mollusks in Late Pleistocene.

#### **3.1.5b. Holocene deposits**

The Holocene deposits are subdivided according to their lithological features and their origin as follows:

(1) **H, al:** Alluvial deposits

(2) **H, co:** Valley deposits

(3) **H, lk:** Lacustrine deposits. Fine-grained clastic lacustrine sediments like sandy clays, clays, silts and fine-grained sands in the area of draining Vromolimnes and the Achinos lake. In the draining Achinos lake shells of *Unio* sp. and sporadically *Planorbis* sp καὶ *Viviparus* sp. have been found.

### **3.2. Basin of Orfanos (Strymonikos) gulf**

The basin of Orfanos (Strymonikos) gulf consists of the extension of the Strymon basin towards the SSE, and it was separated from the latter by a narrow horst formed by pre-Neogene rocks in the area of Amphipolis. The horst formation and

consequently the separation of the two basins possibly resulted by the fault activity during the Quaternary. The basin of the Orfanos gulf is also filled up with Neogene and Quaternary sediments like the Strymon basin, but here the shallow marine environment is more prevalent.

### **3.2.1. Upper Miocene sediments**

(1) **Ms, co, c:** Basal conglomerates. They include fluvio-terrestrial sediments such as conglomerates and sands which are analogous to those described in the Strymon basin. They rest directly upon the basement rocks, i.e., north of Nea Kerdilia village.

(2) **Ms, co-lk:** Sediments analogous to the Lower Group of the Strymon basin.

### **3.2.2. Upper Miocene-Pliocene sediments**

They are variegated clastic sediments which could be dated and subdivided because of the lack of fossils. They dated as Upper Miocene-Pliocene sediments based on the lithostratigraphic criteria.

(1) **Ms-Pl, co-lg:** It comprises terrestrial, brackish sediments intervened by shallow marine sediments related to short sea transgressions such as (a) clastic sediments like thin-bedded sands and clays intercalated with marls and sands bearing at places *Ostrea* fossils, (b) travertine and marly limestones, the thickness of which is up to few decade meters. These limestones overlie the aforementioned clastic sediments forming extended morphological plateau in the southern pediments of the Pangeon Mt.

### **3.2.3. Pliocene sediments**

They are well dated Lower Pliocene sediments that represent the Early Pliocene transgression.

(1) **Pl, ma**: They are fossiliferous sands-sandstones and gritstones mainly exposed in wider area of Galipsos village (southern pediments of the Mt. Pangeon). The abundant fossils that have been found date these sediments in the Early Pliocene.

#### **3.2.4. Quaternary deposits**

(1) **Pt-H, sc-cs**: Scree and alluvial fan deposits of different ages.

##### **3.2.4a. Pleistocene deposits**

(1) **Pti, co**: It comprises small exposures of redbeds that consist of alternations of sands, gravels, silts and clays. No fossils have been found, but due to lithostratigraphic criteria such as the stratigraphic position and the lithological features it is considered analogous to the redbeds of the Gerakarou Formation (see Mygdonian basin). In the neotectonic sheet Langadas 1:100.000 this map unit is dated in the Early Pleistocene, although latest paleontological research indicates that its basal part is dated in the Late Pliocene.

(2) **Pt, co**: As those of Strymon basin.

##### **3.2.4b. Holocene deposits**

(1) **H**: Mainly coastal deposits such as sands and gravels.

(2) **H al**: Alluvial deposits.

(3) **H, sq**: Deltaic deposits such as sands, gravels and sandy gravels in the deltaic plain of the Strymon River.

#### **3.3. Mygdonia basin**

The Mygdonia basin (the basin of the lakes Langada and Volvi) comprises Upper Miocene to Holocene sediments exposed around the lakes. These sediments

have been divided into two groups, the Upper Miocene-Lower Pleistocene Pre-Mygdonian Group and the Middle Pleistocene-Holocene Mygdonian Group. Since they are mainly exposed in the central and southern part of the “Langada” sheet of Neotectonic map, they have been described in detail in its explanatory text. In the present sheet small exposures belonging to the uppermost part of the Pre-Mygdonia Group and Mygdonia Group have been mapped.

### **3.3.1. Quaternary deposits**

**(1) Pt-H, sc-cs:** Scree and alluvial fan deposits of different ages.

#### **3.3.1a Pleistocene deposits**

**(1) Pt, co:** It comprises Pleistocene undivided deposits of gravels, sands, grits and silts of reddish brown colour. No fossils have been found and thus no more precise dating is possible.

**(2) Pti-co:** They are fluvio-terrestrial redbeds of small thickness comprising alternations of clays, sands, gravels and silts around the Lake Volvi that placed in the uppermost part of the Pre-Mygdonian Group. No fossils have been found, but they are lithostratigraphically correlated to the redbeds of the Gerakarou Formation. The Gerakarou redbeds pass upwards to the Platanochori Formation, which the latter consists of relict small exposures of fluvio-lacustrine sandy-clayey sediments and lacustrine clays. Despite this map unit has been previously dated in the Early Pleistocene, new paleontological research indicate that its basal part is dated in the Late Pliocene.

**(3) Ptm-s, lk:** Lacustrine deposits of Middle-Upper Pleistocene age that mainly consist of horizontal thin-bedded to laminated grey colored sands. In their upper part there are

travertine deposits formed by thermal springs that are considered to be of Holocene age.

### **3.3.1b. Holocene deposits**

(1) **H, al:** Alluvial deposits. Sands, clays, silts and gravels.

(2) **H, co:** Valley deposits. Mainly gravels, sands, silts and sandy clays.

(3) **H, lk:** Lacustrine deposits such as sandy clays, clays, silts, and fine-grained sands.

## **4. NEOTECTONICS, SEISMOTECTONICS AND DESCRIPTION OF THE FAULTS**

### ***4.1. Neotectonic setting***

The Rhodolivos neotectonic sheet at a scale of 1:100.000 covers a region where the Serbomacedonian massif overlies tectonically the Rhodope massif. This contact which is closely related to NNW-SSE Strymon tectonic line has been initially considered as an overthrust line, whereas later has been suggested to be a tectonic line associated with wrench tectonics. Latest researches suggest that the Strymon tectonic line is a low-angle extensional detachment fault of Miocene age due to a regional NE-SW extensional regime.

Apart from the several arguments proposed for the Strumon tectonic line, the latter is a very important feature for the broader area having an intense neotectonic reactivation, as indicated by the well developed fault bounded Strymon basin and the significant geothermal field that exists in the wider area of Nigrita.



The Northern Greek mainland, where this neotectonic sheet is located, has been considered as an intracontinental area behind the active subduction zone of the East Mesogean plate beneath the Eurasian plate. Since the Miocene the area of Central Macedonia has been intensely faulted, forming as a rule many tectonic grabens and depressions such as the Axios basin, the Strymon basin, the Anthemountas and Mygdonia 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 ENE-WSW. The extensional regime revealed NE-SW maximum trend during the Late Miocene-Early Pleistocene times and N-S one during the Middle Pleistocene-present times. Most of the above mentioned faults have been activated at least since the Miocene, while some of them (mainly the E-trending faults) are associated with the present seismic activity or have a verified activity since the Quaternary. However, the present extensional deformation of the area might also be influenced by the master right-lateral strike-slip North Anatolian fault or the North Aegean Trough, which the latter is considered as the western prolongation of the former.

## ***4.2. Description of Active and Probable active faults***

### **1. Stratoni Seismic Fault**

The Stratoni fault strikes E-W and has an observed length of about 15km. It is a normal fault dipping to the South, whereas towards the west it is linked with the NW-SE striking Varvara fault.

The fault divides the area geomorphologically into two different regions. The northern region (footwall block) is an area of high relief including Strepeniko Mt.,

whereas the southern region (hanging wall block) coincides with the innermost part of the Ierissos Gulf and it is characterized by an extensive drainage network and lower relief.

Along the fault there have been found scree deposits associated with the recent reactivation of the fault, whereas the most recent reactivation of the fault is that caused the 1932 Ierissos earthquake,  $M=7.0$ . The seismic ruptures caused by this earthquake as they are mapped trace to the Stratoni fault. In addition, the isoseismal lines of that earthquake coincide with the E-W strike of the Stratoni fault. Therefore, the Stratoni fault is fairly considered as a seismic fault.

## **2. Varvara Active Fault**

This NW-SE trending fault that dips towards SW stands as the prolongation of the Stratoni fault towards the west. The fault, however, is not considered as a seismic fault, but as an active one, because its strike is not so admissible for its possible future reactivation due to the recent N-S extensional regime. Besides, the large earthquakes that happen in the wider area are related to E-W trending faults. However, the domino reactivation of the fault due to a large reactivation of the Stratoni fault could not be excluded. The Varvara fault has a length of about 6km forming a narrow valley along the marbles and gneisses of the Kerdillia Unit. Along its exposed fault surfaces there have been found calcite fibersteps and fiberlines indicating two oblique normal movements. These movements could be related to the NE-SW extension governing the area during Late Miocene-Pliocene and to the younger N-S extension governing the area since Lower Pleistocene. However, the fact that the fault affects the pre-Neogene rocks could not verify its recent reactivation.

### **3. Faults of Stratonikon Mt.**

These faults have been found to affect the pre-Neogene rocks in the peninsular part of Stratonikon Mt. northerly of the Stratoni fault. They have similar strike with the Stratoni fault, but they are not considered as active ones, because their triangular facets seems long lived and deeply eroded. Besides, it is quite reasonable that the seismic activity to shift along the Stratoni fault.

### **4. Nea Madytos Active Fault**

This fault constitutes the prolongation of the active Nea Apollonia fault towards the east. The fault strikes E-W and dips at high angles towards the North forming the boundary fault that separates the mountainous area made up with the pre-Neogene basement from the Mygdonian basinal part filling up with the Neogene and Quaternary sediments. The Nea Madytos fault is considered as an active fault because: (1) it is closely related to the present landscape of the region, (2) along the fault there have been found Holocene travertine deposits associated with springs, (3) it affects Pleistocene deposits, and (4) it is the eastern extension of the active Nea Apollonia fault.

### **5. Olympiada-Volvi Probable Active Faults**

It concerns an array of continuous or discontinuous faults that strike E-W and dip either towards N or S. They influence the landscape of the region forming narrow valleys in the wider area between the villages Olympiada and Nea Madytos. More precisely, in the wider area of Olympiada village two E-W trending faults have been mapped. The northern one, namely Olympiada fault has a length of about 10km and it is parallel to the Stratoni fault. On the other hand the southern one is relatively smaller

and stands as antithetic to the Olympiada fault forming a narrow valley along the village.

South of Nea Madytos a large rectilinear fault line of E-W trend and dipping to the North has been mapped. It is a normal fault, which represents the physico-geographical boundary in between an old planation surface and the basinal part of the Lake Volvi. It is considered as probable active fault since there are no evidence of its recent reactivation. The instrumentally recorded seismicity occurred in the area during the decade of 1980 reveals a significant dispersion thus suggesting that the faulting reactivation concerns many smaller faults giving rise to small earthquakes.

#### **6. Mikri Volvi-Vamvakia Probable Active Faults**

In the region of villages Mikri Volvi and Vamvakia, there have been found E-W trending normal faults of length of about 2-4km that dip at high angles towards the South. They stand as the boundary faults of the Mygdonia basin to the north separating the Pleistocene sediments from the basement. The faults are characterized as probable active faults because they affect Middle-Upper Pleistocene sediments. In addition, they constitute the eastern extension of the probable active faults mapped along the villages Nymphopetra and Megali Volvi (see Langadas neotectonic sheet) and they are exposed in a region that is characterized by intense seismicity.

#### **7. Arethousa Active Fault**

It is a NW-SE trending normal fault that bounds to the NE the basinal part of the draining Lake Lantza. It has a length of about 5km and dips at high angles towards SW. The fault forms a steep fault scarp separating the ophiolitic rocks at the NE from the Neogene and Quaternary basinal sediments to the SW. The fault scarp is made up of a cohesive cataclastic material that was resulted from previous reactivations of the

fault. However, this cataclastic material is cut by newly formed fault slickenslides revealing oblique slickenlines that fit well with the active N-S extensional stress regime. These observations suggest that the fault is active.

## **8. Ophrinio-Galipsos group of Active Faults**

In the southern pediments of the Mt. Pangeon E-W trending normal faults of about 3-10km length have been mapped to subside the wider area southwards. In particular, three main synthetic faults have been found from which the uppermost one (along the villages Ofrinio and Galipsos) stands as the main boundary fault separating the basement rocks at the north for the Neogene and Quaternary sediments at the south. This fault is characterized by the formation of triangular facets and steep-inclined fault scarps dipping at about 70° to the South. It bears slickenlines and microstructures that indicate oblique right lateral normal movement. Additionally, small normal faults that have been found to affect the Quaternary fan deposits in the Galipsos village stand parallel to this fault thus suggesting its recent reactivation.

The next more southward faults affect the Upper Miocene-Pliocene sediments causing the disruption and back-tilting to their bedding.

## **9. Pangeon Mt. Probable Active Faults**

An array of subparallel synthetic normal faults trending NE-SW and dipping to NW has been mapped to configurate the NW slopes of the Mt. Pangeon i.e., forming the boundary faults of the Strymon valley against the Mt. Pangeon. They are mostly found within the marbles of the Pangeon Unit causing linear cataclastic zones of width several meters which are more intense along the contact between the marbles and the sediments of the Strymon basin. Additionally, close to the Nea Phili village some travertine deposits have been found to be affected by NW dipping normal faults thus

indicating the recent neotectonic reactivation of these faults. The prevalent movement of these faults is a left lateral oblique to oblique left lateral normal faults

Within the Neogene-Quaternary sediments small faults with similar orientation to the boundary faults have been found between the villages Rhodolivos and Proti, whereas the NE-SW trending large rectilinear stream located west of Paleokomi village possibly trace a similar fault line, although there has not been found field evidence.

#### **10. Faults of Dimitra region**

In the NE part of the sheet in the wider hilly area of Dimitra village small faults with various strike from E-W to NE-SW have been found to affect the Upper Miocene-Pliocene sediments. These faults dip mostly towards S to SE and they were defined as probable active faults, but without any seismic activity or field evidences to support this definition, apart from their kinematics.

#### **11. Nigrita-Sitochori-Dafni Probable Active Faults**

The well defined rectilinear shape of the northern slopes of the Kerdillia Mt. against the Strymon basinal sediments is attributed to the many WNW-ESE faults that have been mapped along these slopes from the Therma to the Nea Kerdilia village. They form a wide fault zone of WNW-ESE trending discontinuous or continuous normal faults that dip towards NNE and have lengths that vary from 2 to 5km. These faults have been found to affect both the pre-Neogene basement and the Upper Miocene-Pliocene sediments. They are characterised by oblique right-lateral normal movement which is dynamically compatible with the NE-SW extension. Additionally, in this area E-W to ENE-WSW trending normal faults have been mapped to form parallel synthetic faults that are followed by the main streams of the area and link the

WNW-ESE faults. These faults are relatively younger than the WNW-ESE and they are related to the latest N-S extensional regime. Among these faults the most large ones are the faults of Nigrita, Sitochori-Ivira, Dafni, Aidonochori and Kastorema which with NNE dip direction control the flow of the large streams.

In particular, the Kastorema fault, which although does not present in the field specific fault surfaces, is defined as the lectilinear contact between the Lower and Upper Group of the Upper Miocene sediments. Also, it has been well defined in the seismic profiles carried by the Public Electricity Company (unpublished data). This fault joins the WNW-ESE boundary faults of the Kerdilia Mt. with the NE-SW boundary faults of the Pangeon Mt. forming an arcuate fault zone, which is similar to that formed in the area of Vasiloudi-Gerakarou by the ENE-WSW Gerakarou-Stivos fault and the WNW-ESE Ag. Vasilios fault (see Langadas neotectonic sheet). The kinematics of the Kastorema fault has been defined by similarly oriented faults within the sediments and is compatible with the N-S extension. The intense seismic activity as indicated by the dense concentration of the instrumentally recorded earthquakes during the decade of 80 in the wider area of Kastorema and generally the northern slopes of the Mt. Kerdilia suggest the possible future reactivation of these faults. Therefore they have been defined as probable active faults.

## **12. Asprovalta Probable Active Faults**

The area of Asprovalta-Vrasna is controlled by two differently oriented fault groups:

The first fault group concerns parallel synthetic normal faults that trend WNW-ESE. The most dominant fault of this group is the fault exposed along the village Zesta Nera and shapes the northern coastlines of the Orfanos (Strymonikos) Gulf. The faults of this group subside gradually to the south the wider area and they considered as

probable active faults, because similarly oriented smaller faults have been found to affect the Pleistocene sediments.

The second group concerns parallel synthetic normal faults that trend NNE-SSW. These faults subside gradually eastwards the wider Asprovalta area. Even the Asprovalta-Vrasna coastline seems to follow this fault strike. These faults possibly reactivate as transfer faults to the ENE-WSW faults.

## **5. SEISMICITY (Seismic activity in the area of the “Rhodolivos” sheet of map)**

The wider area of the Rhodolivos map sheet, as indicated by historical reports and instrumentally recorded earthquakes of the last century, is one of the most seismically active area of the Northern Greek mainland with large and destructive earthquakes of magnitude up to 7.0.

The seismological data used in the frame of this map sheet cover the time period 1930-2003 and were supplied by the seismic catalogue of Papazachos et al. (2000). In total 804 earthquakes of magnitude have been used. The most earthquakes have magnitudes ranging between  $M=2,0$  and  $M=3,5$ , whereas the strongest earthquake ( $M=5,3$ ) of the latest decade occurred on 4 May 1995 in the area Arnea.

All the aforementioned earthquakes are of shallow depths ( $h \leq 20\text{km}$ ). In particular, their common depths range from 2km to 16km and their mean focal depth is  $h = 6,0 \pm 5$  km.

The b parameter for the time period 1986-2003 has value 0,954, which fits well with the value  $b=0,92$  that characterizes the whole Serbomacedonian massif.

The geographical distribution of the epicenters, indicates that there is:



A strong linear concentration of earthquakes in the area Arnea-Ierissos Gulf that strike N87°E. These earthquakes are characterised by relatively deep focal depths that reach the 20km, whereas their mean focal depth is  $h = 7,5\text{km}$ .

A seismic activity in the area of Nigrita-Sitochori-Aidonochori (i.e., the southern part of the Strymonas basin) where the active and probable active faults of the Nigrita-Sitochori-Dafni region have been mapped.

## 6. RESULTS AND CONCLUSIONS OF THE RESEARCH

The neotectonic mapping of the Rhodolivos sheet at scale 1: 100.000 along with the stricken historical and current seismic activity suggest the following conclusions:

The most dominant fault zones of the sheet trend E-W comprising faults of km-long length that could possibly cause earthquakes of medium magnitude, and even more of larger one. These faults have been commonly found to stand as boundary faults to the Quaternary deposits, to have steep fault scarps and to control the current hydrographic network. They are closely related to the present geothermal fields and generally the springs. The E-W faults are steep dipping faults that seems to bridge the older NW-SE and NE-SW faults forming complicated rhomboidal or anastomosing fault zones. Such a fault zone has been well found in the southern boundary of the Strymon basin to present geometrical similarities with the seismic fault zone in the southern boundary of the Mygdonia basin (region of Ag. Vasilios-Gerakorou-Nikomidino-Stivos), where the 1978 earthquake had occurred. The E-W faults bear slickenlines that indicate normal and oblique normal movements (pitch or rake:  $90^\circ \pm 30^\circ$ ). The most prevalent E-W striking faults are the Stratoni seismic fault, the Nea Madytos active fault, the active faults of the Ophrinio-Galipsos region, the possible active faults of the areas Olympiada-Volvi, Mikri Volvi-Vamvakia, Dimitra, Nigrita and Daphni-Kastrorema.

Particularly the fault zone of the Daphni-Kastrorema region is closely associated with intense seismic activity.

The current stress field is an extensional one with the least principal stress axis ( $\sigma_3$ ) striking N-S and governs the wider area since the Middle Pleistocene as defined by the active and seismic faults and the sediments affected by the aforementioned faults.

In addition, an older NE-SW trending extensional stress field has been found to have governed the area during the Upper Miocene-Lower Pleistocene. This extensional stress field drives the E-W faults to function as oblique faults, but the main reactivation concerns the NW-SW trending faults that function as normal faults binding the similarly well trending basins. Among the latter faults the Arethousa active fault, the Varvara active fault, the possible active fault of Skepasto as well as the NW-SE faults along the Nigrita-Sitochori-Daphni villages are the most remarkable.