



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Θεσσαλονίκη 24/7/2003

Από: Δ. Μουντράκη
Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας
Αριστοτέλειο Παν/μιο Θεσ/νίκης
GR-54006, Θεσ/νίκη
Τηλ.: 031 998481, Fax: 031 998482

Πρός: κ. Β. Ανδριανάκη, Πρόεδρο του Οργανισμού
Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ)

Θέμα: Υποβολή Τελικής Επιστημονικής Έκθεσης

Σας αποστέλλω τη Τελική Επιστημονική Έκθεση του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο:

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ/ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

της Θεματικής Ενότητας II (Σεισμολογία-Γεωλογία-Πρόδρομα Φαινόμενα Σεισμού).

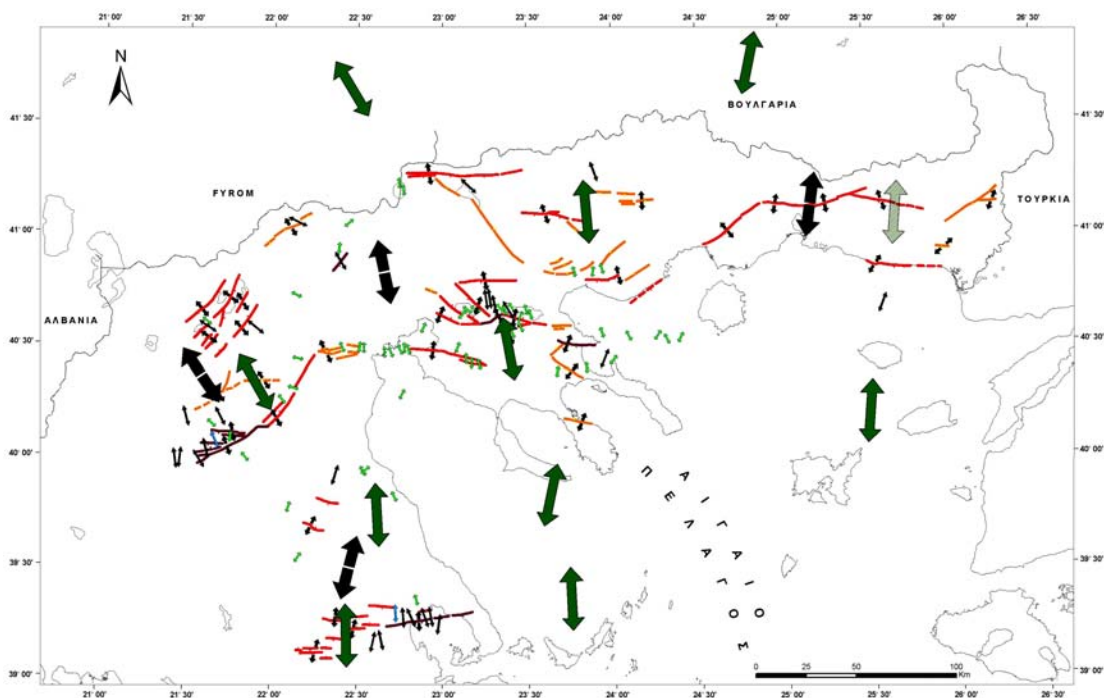
Παραμένω στη διάθεσή σας για κάθε συμπληρωματική πληροφορία.

Με τιμή

Δ. Μουντράκης
Καθηγητής Γεωλογίας ΑΠΘ

**ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ**

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ-ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ
ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**



ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ: Δημοσθένης Μουντράκης, Καθηγητής ΑΠΘ

ΦΟΡΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ
Επιστ. Υπεύθυνος: Δημοσθένης Μουντράκης, Καθηγητής ΑΠΘ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ
Επιστ. Υπεύθυνος: Κων/νος Παπαζάχος, Επίκ. Καθηγητής ΑΠΘ

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελ.</u>
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
<u>Μέρος Α</u>	
Α. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ-ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1. Σεισμικότητα Βόρειου Ελληνικού χώρου	3
1.2. Σεισμική δράση μετά το 1981	5
2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟΥ ΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	7
2.1. Κύρια ενεργά ρήγματα που πιθανά συνδέονται με τη γένεση ισχυρών σεισμών στον Βόρειο Ελληνικό χώρο	7
2.2. Σεισμικά δεδομένα κυματομορφών Σεισμολογικού Σταθμού Α.Π.Θ. και προσδιορισμός μηχανισμών γένεσης στην περιοχή μελέτη	9
2.3. Καθορισμός πεδίου τάσεων με τη χρήση σεισμολογικών δεδομένων	33
2.3.1. Μέθοδος των <i>Parazachos and Kiratzi (1992)</i>	33
2.3.2. Μέθοδος των <i>Gephart and Forsyth (1984)</i> και <i>Gephart (1990a)</i> .	34
2.3.3. Χωρική κατανομή του πεδίου τάσεων	36
2.4. Καθορισμός ρηγμάτων με τη χρήση των αποτελεσμάτων αντιστροφής του πεδίου τάσης	43
<u>Μέρος Β</u>	
Β. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ – ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	53
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
1.1. Προγενέστερες νεοτεκτονικές έρευνες	53
1.2. Σκοπός – μεθοδολογία της έρευνας	53
1.3. Προσδιορισμός ζωνών διάρρηξης και κύριων σεισμικών ρηγμάτων	58
1.4. Χαρτογράφηση - μελέτη, περιγραφή και παρουσίαση των κύριων ζωνών διάρρηξης	59
1.5. Ανάλυση πεδίου τάσεων	60
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	
2.1. Αλπική δομή	61
2.2. Μετα-αλπική τεκτονική και σχηματισμός λεκανών	65
2.3. Η γεωμορφολογική δομή του Βόρειου Ελλαδικού χώρου	66
3. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	69
4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ	73
4.1. Περιοχή Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης	73
4.1.1. Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης	73
4.1.2. Τα ρήγματα σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση	89
4.1.3. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης	92
4.2. Περιοχή Κεντρικής Μακεδονίας	93
4.2.1 Ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης	95
4.2.2 Ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης	117
4.2.3 Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης	123
4.2.4 Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας	126

4.3 Περιοχή Δυτικής Μακεδονίας	128
4.3.1 Τα ρήγματα σε ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση	128
4.3.2. Ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης	142
4.3.3. Ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης	144
4.3.4. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας	145
4.4. Περιοχή Θεσσαλίας	147
4.4.1. Ρήγματα σε Α-Δ διεύθυνση	148
4.4.2. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Θεσσαλίας	155
 <u>Μέρος Γ</u>	
5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	157
6. ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΡΧΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ	164
7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΘΗΚΑΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ	166
8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	167
9. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	168
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	171
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - Επιστημονικές Εργασίες	 180

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ερευνητικό πρόγραμμα «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ/ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ» ανατέθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) στον Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Υπεύθυνος Δ. Μουντράκης) και εκπονήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Υπεύθυνος Κ. Παπαζάχος).

Η συμβατική ημερομηνία έναρξης της εκπόνησης του παραπάνω προγράμματος ήταν η 24/11/2000 και η συνολική διάρκεια του προγράμματος ήταν 24 μήνες. Μετά από αίτηση του Επιστ. Υπεύθυνου, ζητήθηκε και εγκρίθηκε η παράταση του έργου κατά έξι (6) μήνες, με νέα ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου στις 24/5/2003. Σύμφωνα με τη σχετική σύμβαση που υπογράφηκε μεταξύ των ΟΑΣΠ και ΑΠΘ παρουσιάζεται στο παρόν κείμενο η τελική επιστημονική έκθεση του παραπάνω ερευνητικού έργου, η οποία σύμφωνα με τη σύμβαση πρέπει να περιλαμβάνει:

- *Τον επιστημονικό απολογισμό του προγράμματος*
- *Το βαθμό επιτυχίας σε σχέση με τους αρχικούς στόχους*
- *Τις ενέργειες που έγιναν και προβλήματα που εμφανίστηκαν*
- *Τεκμηριωμένες προτάσεις για αξιοποίηση των αποτελεσμάτων*
- *Περίληψη του Ερευνητικού Προγράμματος*

Στην εκπόνηση του προγράμματος συμμετείχαν από τον Τομέα Γεωλογίας ο Καθηγητής Δ. Μουντράκης (Επιστημονικά Υπεύθυνος-Συντονιστής Έργου), ο Καθηγητής Α. Κίλιας, ο Δρ. Γεωλογίας Μ. Τρανός και η υποψήφια διδάκτορας Γεωλογίας Ε. Θωμαΐδου, ενώ από το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ο Επίκουρος Καθηγητής Κ. Παπαζάχος (Επιστημονικά υπεύθυνος) ο Καθηγητής Γ. Καρακαΐσης, ο Λέκτορας Ε. Σκορδύλης, ο Καθηγητής Π. Χατζηδημητρίου, η Καθηγήτρια Ε. Παπαδημητρίου, οι ΕΕΔΙΠ Γ. Βαργεμέζης και Ε. Αηδονά, η Δρ. Γεωφυσικός Ε. Καραγιάννη και Ε. Αηδονά και οι μεταπτυχιακοί φοιτητές (M.Sc. Γεωφυσικοί) Δ. Βαμβακάρης και Α. Σκαρλατούδης.

Σύμφωνα με το αρχικό χρονοδιάγραμμα εκπόνησης (Πίνακας 1) του ερευνητικού προγράμματος «ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ/ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ» (παρακάτω θα αναφέρεται ως Έργο) οι κύριες ερευνητικές εργασίες του έργου αφορούσαν τη συλλογή του υφιστάμενου καθώς και νέου σεισμολογικού και νεοτεκτονικού υλικού παρατήρησης, την καταχώρηση των δεδομένων σε σύστημα GIS καθώς και η επεξεργασία των δεδομένων (ανάλυση δεδομένων, προσδιορισμός πεδίου τάσεων, κλπ.).

Πίνακας 1. Χρονοδιάγραμμα Εκπόνησης του Έργου

ΕΡΓΑΣΙΕΣ	1ο Έτος												2ο Έτος											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Προμήθεια Συμπληρωματικού Εξοπλισμού	←————→												←.....→											
Συλλογή υφιστάμενου και νέου σεισμολογικού-νεοτεκτονικού υλικού παρατήρησης	←————→												←.....→											
Καταχώρηση σε σύστημα GIS													←.....→											
Ανάλυση δεδομένων (Προσδιορισμός ζωνών διάρρηξης-πεδίου τάσεων)													←.....→											
Τελικό μοντέλο πεδίου τάσεων													←.....→											
Έκθεση Προόδου													■											
Τελική Έκθεση													■											

Τα τελικά αποτελέσματα του έργου, όπως αυτά διαμορφώθηκαν από τα παραπάνω στάδια, τόσο για τα νεοτεκτονικά, όσο και για τα σεισμολογικά δεδομένα περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

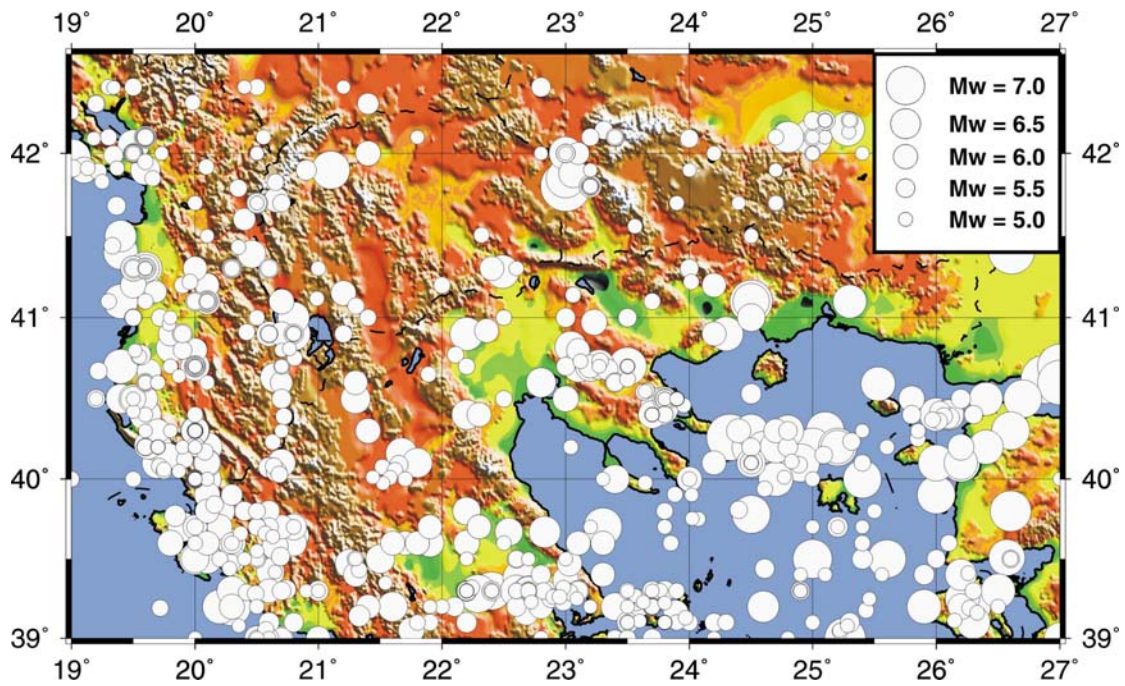
A. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ-ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

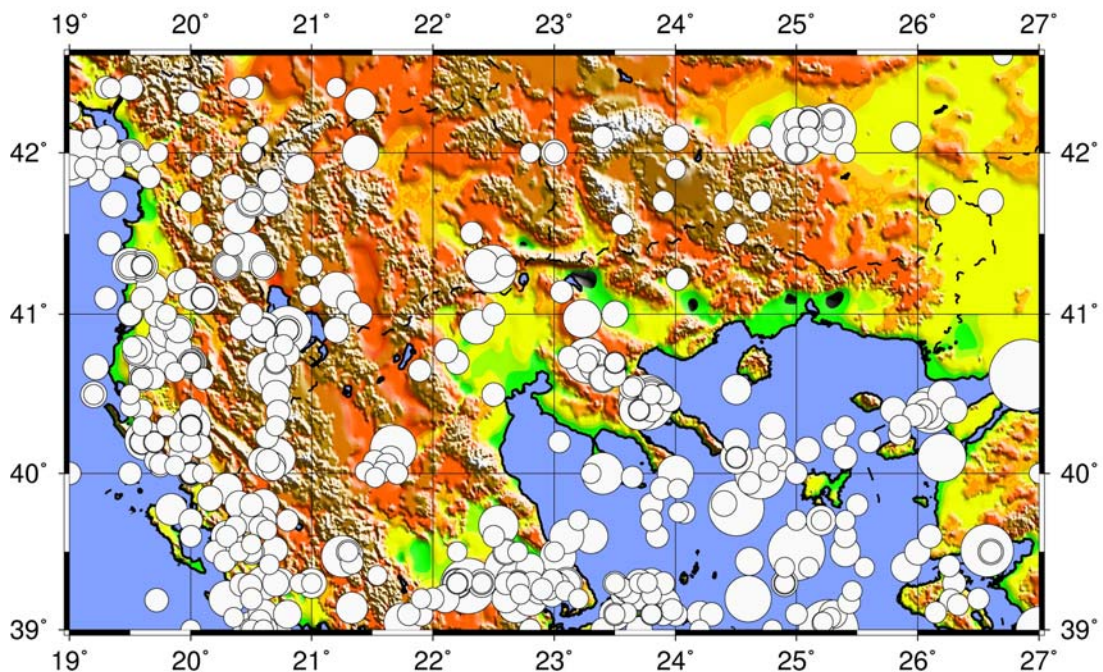
1.1. Σεισμικότητα Βόρειου Ελληνικού χώρου

Ο Βόρειος Ελληνικός χώρος παρουσιάζει υψηλή σεισμικότητα, η οποία κυρίως εμφανίζεται κατά μήκος των κυρίων ζωνών διάρρηξης (Σερβομακεδονική ζώνη, τάφρος Βορείου Αιγαίου, κλπ.). Όμως έστω και πιο σποραδικά έχουμε τη γένεση σημαντικών σεισμών και στην υπόλοιπη ηπειρωτική μάζα, πολλές φορές με καταστρεπτικές συνέπειες, Μάλιστα η περιοχή αυτή αν και βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από την ενεργό κατάδυση στο Νότιο Αιγαίο, παρουσιάζει σε μεγάλη απόσταση έντονο εφελκυσμό και σχετική σεισμικότητα.

Μία συνοπτική εικόνα της σεισμικότητας του χώρου παρουσιάζεται στα σχήματα (1) και (2) όπου παρουσιάζονται, αντίστοιχα, οι γνωστοί από την αρχαιότητα σεισμοί με μέγεθος $M \geq 6.0$, καθώς και οι σεισμοί με μέγεθος $M \geq 5.0$ από το 1911 (οπότε έχουμε την εγκατάσταση και λειτουργία του πρώτου σειсмоγράφου στον Ελληνικό χώρο) μέχρι το 2001. Και στα δύο σχήματα είναι εμφανής η ύπαρξη μερικών σημαντικών ζωνών διάρρηξης (τάφρος Βορείου Αιγαίου, Θεσσαλία, Σερβομακεδονική ζώνη, δυτικές ακτές Αλβανίας και Ηπείρου, κλπ.). Επιπλέον, πρέπει να επισημανθεί ότι εύκολα φαίνεται ότι η εικόνα του σχήματος (2) η οποία αφορά περίπου ένα αιώνα δέν είναι επαρκής για να κατανοηθεί πλήρως το σεισμικό δυναμικό του χώρου έρευνας, αφού όπως προκύπτει και από το σχήμα (1) έχουμε σε ιστορικούς χρόνους τη γένεση ισχυρών σεισμών σε περιοχές που δέν υπάρχει σημαντική σεισμική δραστηριότητα τον 20^ο αιώνα. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή του Έβρου η οποία στον παρόντα αιώνα δεν παρουσιάζει σχεδόν καθόλου σεισμούς με $M \geq 5.0$ και στην οποία είχαμε τη γένεση του μεγάλου σεισμού του Διδυμοτείχου το 1752 (26 Ιουλίου, $M=7.5$) ο οποίος προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στην περιοχή (οι σχετικές ισόσειστες παρουσιάζονται από τους Papazachos et al., 1997).



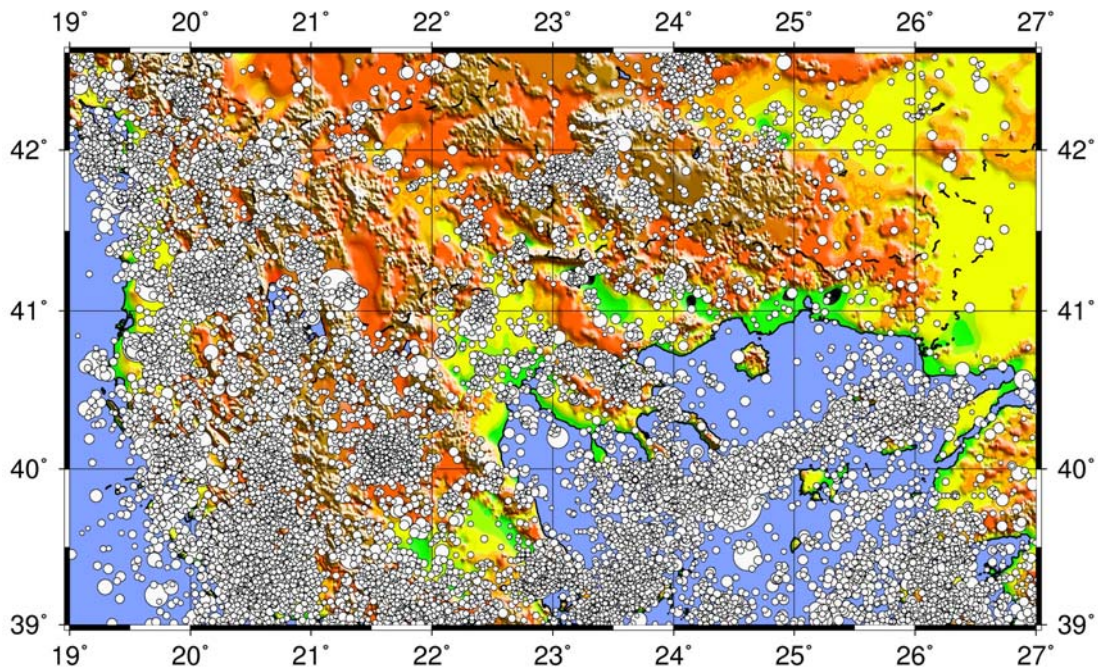
Σχήμα 1. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο και είναι γνωστά από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα με μέγεθος $M \geq 5.0$.



Σχήμα 2. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1911-2001 με μέγεθος $M \geq 5.0$.

1.2. Σεισμική δράση μετά το 1981

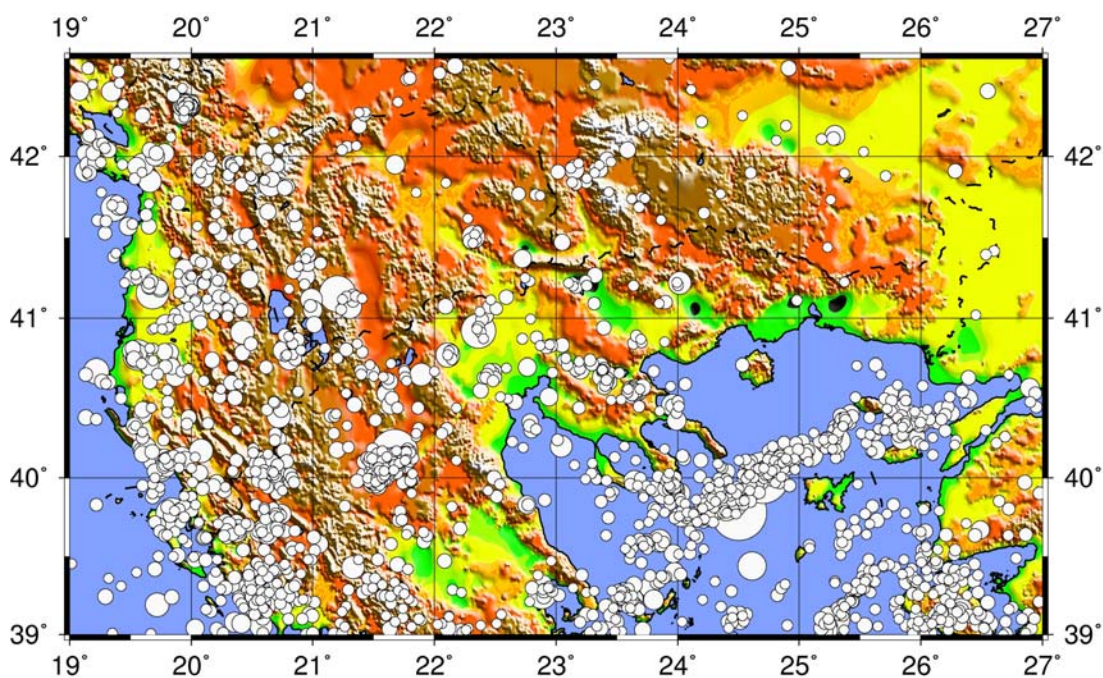
Από το 1981 οπότε άρχισε η λειτουργία του τηλεμετρικού σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. εξασφαλίστηκε η ακριβής καταγραφή των σεισμικών δονήσεων που προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ελληνικού χώρου και έγινε δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των παραμέτρων των εστιών τους. Τα δεδομένα που παράγονται από το δίκτυο αυτό είναι συνεχή, ακριβή και έχουν πληρότητα για σεισμούς με μεγέθη $M \geq 3.0$. Στα σχήματα (3) και (4) παρουσιάζεται η κατανομή της σεισμικότητας κατά το χρονικό διάστημα 1982-2001 με μεγέθη $M \geq 3.0$ και $M \geq 4.0$, αντίστοιχα.



Σχήμα 3. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1982-2001 με μέγεθος $M \geq 3.0$.

Από τη μελέτη της χωρικής κατανομής των δεδομένων αυτών μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τη σεισμοτεκτονική συμπεριφορά της περιοχής αυτής. Έτσι μια πρώτη διαπίστωση είναι ότι υπάρχει έντονη σεισμική δράση σε όλη την περιοχή μελέτης, αν και εμφανίζονται και σημαντικές περιοχές με σχετική σεισμική «ησυχία». Η σεισμικότητα ελέγχεται από πολλές σεισμικές ακολουθίες οι οποίες έχουν συμβεί στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (1982-2001), όπως αυτή του σεισμού της Κοζάνης (1995, $M=6.5$), αλλά και αρκετών που έγιναν πριν από το διάστημα αυτό όμως η

μετασεισμική ακολουθία επεκτείνεται στο διάστημα αυτό, π.χ. για 20 χρόνια για το σεισμό της 20ής Ιουνίου 1978 ($M=6.6$ στην Μυγδονία λεκάνη). Η κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών που έγιναν στην περιοχή κατά το χρονικό διάστημα 1982-2001 έδειξε ότι αυτοί είναι επιφανειακοί με βάρη που κατά κύριο λόγο κυμαίνονται μεταξύ 5 και 15 km, ενώ το μέσο εστιακό βάθος είναι 9 km.



Σχήμα 4. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1982-2001 με μέγεθος $M \geq 4.0$.

Στα σχήματα (3) και (4) η ακρίβεια των επικέντρων, τα οποία έχουν προσδιορισθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα κυρίως του τηλεμετρικού σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. (Parazachos et al., 2000), επιτρέπει την αναγνώριση πολλών σημαντικών γραμμικών συγκεντρώσεων οι οποίες αντιστοιχούν σε κύρια ρήγματα-ρηξιγενείς ζώνες. Έτσι αναγνωρίζεται η Τάφρος του Β. Αιγαίου, το ρήγμα της Κρέσνας, η ρηξιγενής ζώνη της Μυγδονίας λεκάνης και η συνέχεια της στην Αρναία και στο ρήγμα της Ιερισσού, καθώς και άλλες λεπτομέρειες, οι οποίες θα σχολιασθούν στα παρακάτω τμήματα της μελέτης.

2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΡΙΩΝ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΔΙΟΥ ΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

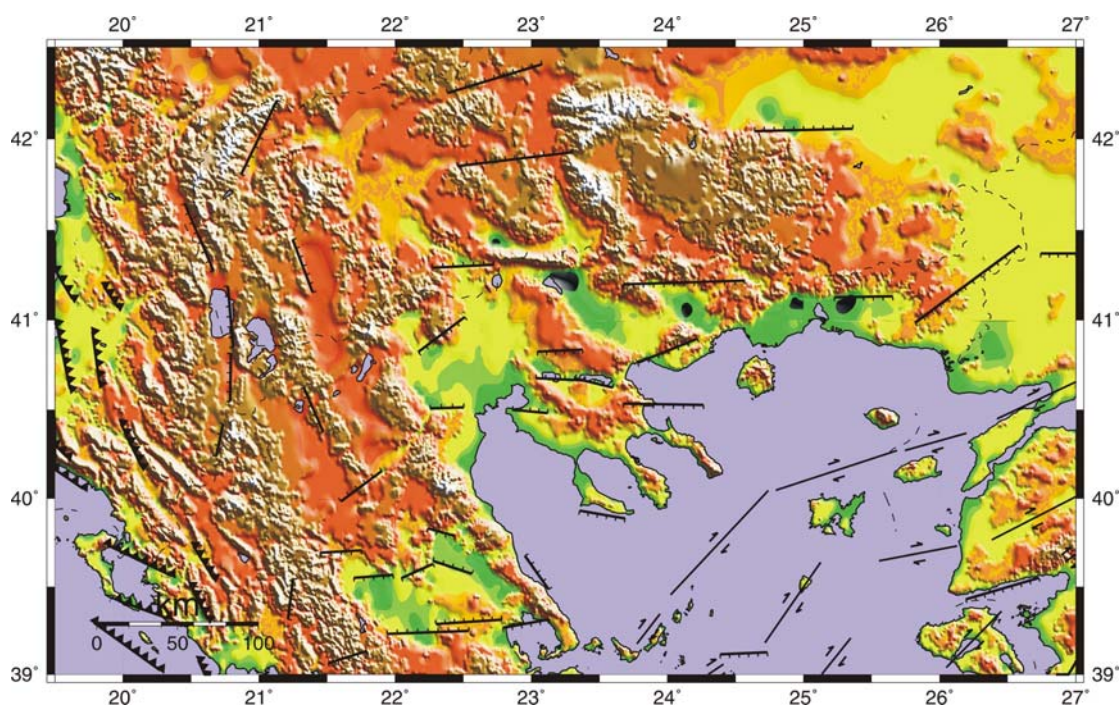
2.1. Κύρια ενεργά ρήγματα που πιθανά συνδέονται με τη γένεση ισχυρών σεισμών στον Βόρειο Ελληνικό χώρο

Στα πλαίσια του υλοποιούμενου έργου, σημαντική προσπάθεια καταβλήθηκε σε αρχικό στάδιο στον προσδιορισμό των κύριων ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή του Βόρειο Ελληνικού χώρου. Η προσπάθεια αυτή υλοποιήθηκε στην πορεία για τον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου και βασίστηκε στην συνδυασμένη ερμηνεία σεισμολογικών-γεωλογικών δεδομένων. Λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην εργασία **«Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5^ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα»** (Παπαζάχος και συν., 2001), η οποία επισυνάπτεται στο τέλος της έκθεσης.

Συνοπτικά, στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής έγινε συλλογή, αξιολόγηση και ερμηνεία όλων των σημαντικών γνωστών δημοσιευμένων γεωφυσικών και γεωλογικών παρατηρήσεων για τον εντοπισμό των κυρίων ρηγμάτων (ζωνών διάρρηξης) του Βόρειο Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών, όπου γεννήθηκαν οι γνωστοί ισχυροί σεισμοί ($M \geq 6.0$) από τον 5^ο π.Χ. αιώνα μέχρι σήμερα και η από κοινού ερμηνεία των παρατηρήσεων για τον καθορισμό των ιδιοτήτων των ρηγμάτων αυτών. Παράλληλα αξιοποιήθηκαν αποτελέσματα από παρόμοιες προσπάθειες στον Ελληνικό χώρο (π.χ. Papazachos et al., 1999). Με τον όρο «κύριο ρήγμα» μιας περιοχής ορίστηκε το ρήγμα όπου γεννήθηκε ο μεγαλύτερος γνωστός σεισμός στην περιοχή αυτή. Μικρότεροι σεισμοί που αποδίδονται στο ίδιο κύριο ρήγμα μπορεί να προκλήθηκαν από θραύση τμήματος του ρήματος αυτού ή από άλλα μικρότερα γειτονικά ρήματα (αντιθετικά, κλπ).

Στο σχήμα (5) παρουσιάζονται τα κυριότερα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς επιφανειακούς σεισμούς στον Βόρειο Ελληνικό χώρο από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σχήμα αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο στα σεισμολογικά δεδομένα. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεδομένα σεισμικής διασκόπησης (διαγραφίες, κλπ) όταν τέτοια δεδομένα ήταν διαθέσιμα, αλλά πάντα σε άμεσο συνδυασμό με τα γεωλογικά-νεοτεκτονικά στοιχεία. Τα κυρια σεισμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα επίκεντρα των ισχυρών σεισμών και των

μετασεισμών τους, οι μακροσεισμικές πληροφορίες (Papazachos et al., 1997, Papazachos and Papazachou, 2002) καθώς και μηχανισμοί γένεσης των σεισμών. Για τους μηχανισμούς γένεσης χρησιμοποιήθηκε ένας νέος κατάλογος λύσεων 176 ισχυρών ($M \geq 5.5$) σεισμών ο οποίος βασίστηκε σε ήδη δημοσιευθείσες λύσεις (Papazachos et al., 1998) καθώς και σε κάποιες νέες λύσεις πρόσφατων σεισμών.



Σχήμα 5. Κύρια επιφανειακά ρήγματα στον Βόρειο Ελληνικό χώρο που πιθανά συνδέονται με τη γένεση ισχυρών σεισμών ($M \geq 6.0$) από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα (τροποποιημένο από τους Παπαζάχος και συν., 2001)

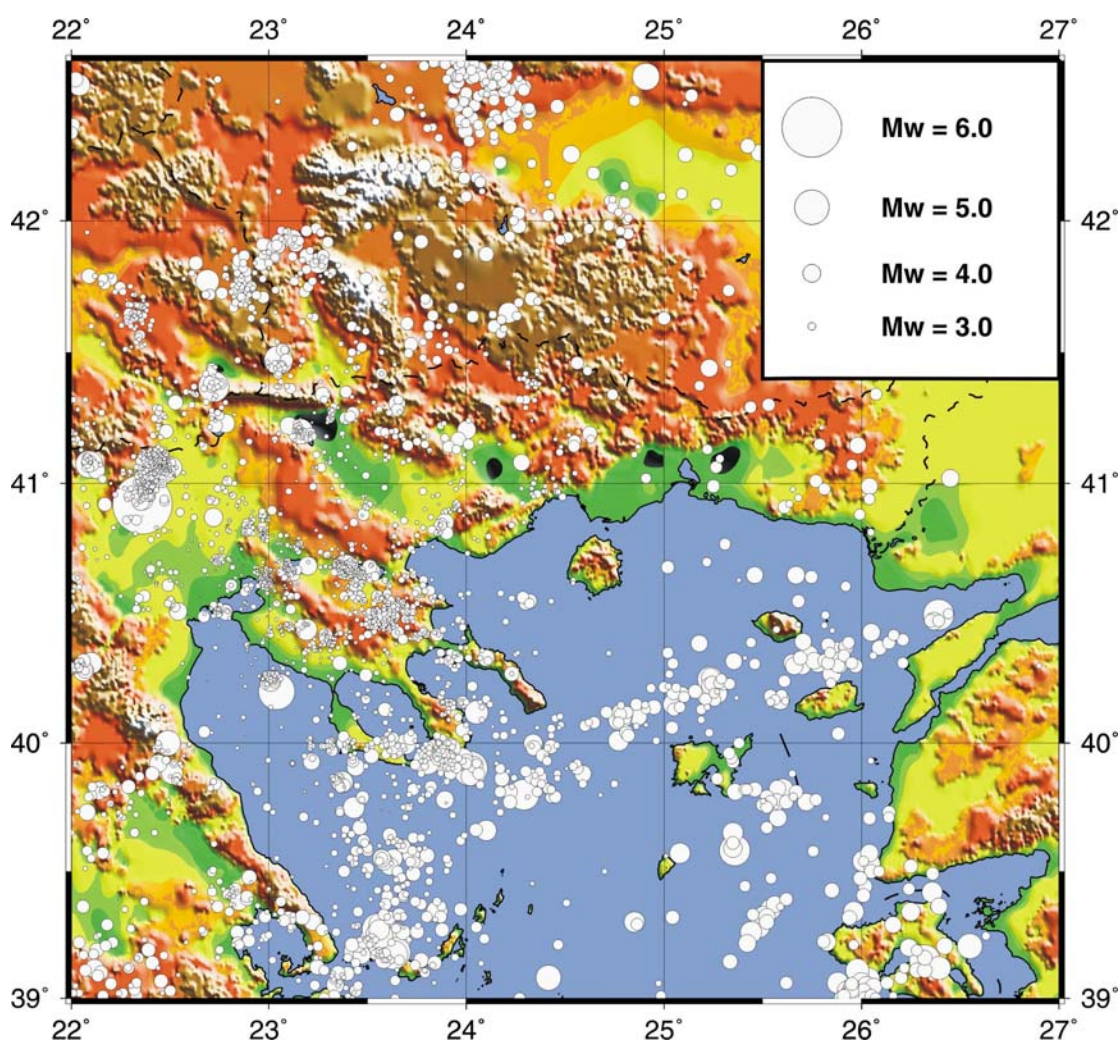
Το σχήμα (5) μας δίνει μία γενική αλλά πολύ ικανοποιητική εικόνα της ενεργού τεκτονικής του Βόρειου Ελληνικού χώρου. Στην κεντρική Μακεδονία, Θράκη, Θεσσαλία, Βουλγαρία και Α. FYROM-Κόσοβο κυριαρχούν ρήγματα περίπου Α-Δ, τα οποία αποκτούν μία περίπου ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση στη δυτική Μακεδονία. Οι Αλβανίδες-Ελληνίδες παρουσιάζουν τη γνωστή ζώνη με κανονικά ρήγματα ~Β-Ν τα οποία από την περιοχή του Τετόβου και της Οχρίδας-Πρεσπών συνεχίζουν κατά μήκος των Ελληνίδων. Στο εξωτερικό (δυτικό) τμήμα των Αλβανίδων-Ελληνίδων (Δ. Αλβανία, ακτές Ηπείρου, βόρεια Ιόνια) έχουμε την εμφάνιση των ανάστροφων ρηγμάτων λόγω της σύγκρουσης της Απουλίας πλάκας με την Ευρασία. Τέλος, στην τάφρο του Β. Αιγαίου έχουμε την παρουσία δεξιόστροφων ΒΑ-ΝΔ ρηγμάτων, με δευτερογενή παρουσία μικρότερων κανονικών ρηγμάτων, τα οποία και αυτά παρουσιάζουν διεύθυνση Α-Δ.

Εξετάζοντας το σχήμα (5) εύκολα φαίνεται ότι τα ρήγματα που παρουσιάζονται παρουσιάζουν μία συστηματικότητα σε σχέση με τη μεταβολή της διεύθυνσής η οποία μπορεί να μελετηθεί μόνο με τη λεπτομερή μελέτη του πεδίου τάσεων στον Βόρειο Ελληνικό χώρο. Επιπλέον, η σύγκριση με τους χάρτες των σχημάτων (1) έως (4) φανερώνει και την παρουσία σημαντικής σεισμικότητας σε περιοχές για τις οποίες δεν έχουν προταθεί αντίστοιχα ρήγματα στο σχήμα (5), πιθανότατα λόγω της έλλειψης ισχυρών σεισμών με μέγεθος $M \geq 6.0$ στην ιστορική σεισμικότητα. Η μελέτη τέτοιων ρηξιγενών ζωνών μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με τη μελέτη του πεδίου τάσεων, όπως αυτό αποκαλύπτεται από νεοτεκτονικά δεδομένα καθώς και δεδομένα μηχανισμών γένεσης μικρότερων σεισμών. Στο επόμενο τμήμα παρουσιάζεται η μελέτη των μηχανισμών γένεσης μικρότερων σεισμών, ενώ τα αντίστοιχα γεωλογικά-νεοτεκτονικά στοιχεία παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο της έκθεσης.

2.2. Σεισμικά δεδομένα κυματομορφών Σεισμολογικού Σταθμού Α.Π.Θ. και προσδιορισμός μηχανισμών γένεσης στην περιοχή μελέτης

Η συνεχής αύξηση του αριθμού των σταθμών του εθνικού δικτύου σειсмоγράφων τα τελευταία 25 χρόνια έχει συμβάλει σημαντικά στην ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων που αφορούν σεισμούς στον Ελληνικό χώρο και των γύρω περιοχών. Στην κατεύθυνση αυτή σημαντική είναι η συμβολή του σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ το οποίο σήμερα αποτελείται από 16 σταθμούς ενώ βρίσκονται ήδη σε δοκιμαστική λειτουργία άλλοι 3 σταθμοί. Τα δεδομένα του σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ δεν είχαν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα με συστηματικό τρόπο για τη μελέτη των μηχανισμών γένεσης των σεισμών που έχουν καταγραφεί στο χρονικό διάστημα λειτουργίας του. Αντίθετα μεγάλος αριθμός μηχανισμών γένεσης έχουν δημοσιευθεί σε διάφορες επιστημονικές εργασίες, καθώς και από διεθνή κέντρα, με κύριο το Harvard και πρόσφατα για την περιοχή της Μεσογείου το ETH της Ελβετίας και το ING της Ιταλίας. Οι πιο αξιόπιστοι τέτοιοι μηχανισμοί παρουσιάζονται συνοπτικά από τους Papazachos and Papazachou (2002) και έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην κατανόηση της ενεργού τεκτονικής στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.

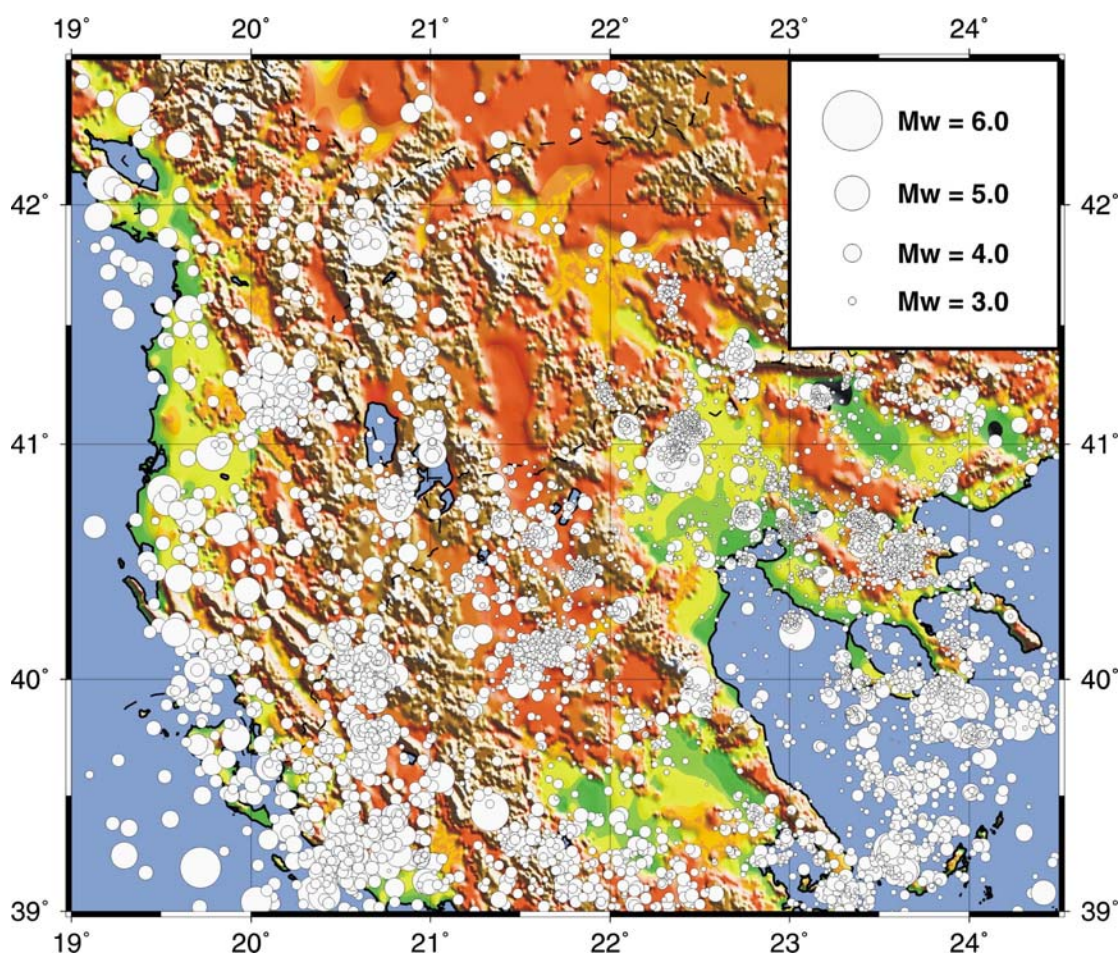
Για τον υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης των σεισμών οι οποίοι έχουν καταγραφεί από το σεισμολογικό δίκτυο του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ ήταν αναγκαία η χρήση πρωτογενών σεισμικών δεδομένων (κυματομορφών). Τέτοια ψηφιακά δεδομένα από τους σταθμούς του μόνιμου δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής είναι μερικώς διαθέσιμα από το 1978. Όμως έγινε δυνατή η λήψη τους μόνο μετά το 1989, λόγω της τότε εισαγωγής ενός νέου συστήματος επεξεργασίας-ψηφιοποίησης με τη χρήση ενός κεντρικού υπολογιστή MicroVAX με μονάδες δίσκου και ταινιών, οι οποίες επέτρεπαν τη συστηματική αποθήκευση των δεδομένων.



Σχήμα 6. Χάρτης των epicέντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στο ανατολικό τμήμα του Βόρειου Ελληνικού χώρου για το χρονικό διάστημα 1989-2001 και για τα οποία ανακτήθηκαν οι κυματομορφές του σεισμολογικού δικτύου του Εργ. Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Χρησιμοποιώντας τους καταλόγους σεισμών οι οποίοι περιλαμβάνουν πλήρες στοιχεία για τις ημερομηνίες, τις συντεταγμένες των epicέντρων, τα

εστιακά βάθη και τα μεγέθη χαρτογραφήθηκαν τα επίκεντρα των σεισμών για τη χρονική περίοδο 1989-2001 οι οποίοι σημειώθηκαν στον Βόρειο Ελληνικό χώρο (σχήματα 6 και 7).



Σχήμα 7. Χάρτης των επίκεντρων των σεισμών που σημειώθηκαν στο δυτικό τμήμα του Βόρειου Ελληνικού χώρου για το χρονικό διάστημα 1989-2001 και για τα οποία ανακτήθηκαν οι κυματομορφές του σεισμολογικού δικτύου του Εργ. Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Το παραπάνω σύνολο των κυματομορφών βρισκόταν σε δυαδική μορφή, σύμφωνα με το πρότυπο αποθήκευσης της εταιρείας Teledyne-Geotech. Η μορφή αυτή μετατράπηκε σε κατάλληλη μορφή ASCII, η οποία συσχετίστηκε με τις σεισμικές φάσεις και τα επίκεντρα τα οποία είχαν υπολογιστεί στο Εργαστήριο Γεωφυσικής Α.Π.Θ., με τη χρήση λογισμικού το οποίο αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό. Οι τελικές κυματομορφές μετατράπηκαν σε κατάλληλη μορφή (τύπου SAC, σύμφωνα με το πρότυπο του λογισμικού Seismis Analysis Code του Lawrence-Livermore Laboratory) και αποθηκεύθηκε σε κατάλληλα μαγνητικά και οπτικά μέσα, δημιουργώντας μία σύγχρονη βάση κυματομορφών σεισμικών δεδομένων από το 1989.

Στην πρώτη φάση του έργου ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε με επιτυχία η μετατροπή για το χρονικό διάστημα 1989-1994 των διαθέσιμων ψηφιακών καταγραφών από το σύστημα Teledyne-VAX σε μορφή SAC. Για το χρονικό αυτό διάστημα υπολογίστηκε ότι υπάρχουν διαθέσιμες 206.000 κυματομορφές σε SAC μορφή. Ακολούθησε η αντίστοιχη μετατροπή και η δημιουργία των SAC αρχείων για το χρονικό διάστημα 1995-1999 τα οποία ανέρχονται σε ένα αντίστοιχο αριθμό της τάξης των 266.000.

Δημιουργήθηκε έτσι μία πλήρης βάση δεδομένων με 472.000 περίπου κυματομορφές μορφής SAC για το χρονικό διάστημα 1989-1999. Στην βάση αυτή δεδομένων έχει γίνει ο διαχωρισμός των τηλεσεισμών από τους τοπικούς σεισμούς (δηλ. σεισμοί οι οποίοι έχουν σημειωθεί στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας κοντά στη Σερβομακεδονική ζώνη, δηλαδή στην «καρδιά» του σεισμολογικού δικτύου) και τους σεισμούς οι οποίοι σημειώθηκαν στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές.

Η παραπάνω βάση κυματομορφών χρησιμοποιήθηκε για τους σεισμούς που σημειώθηκαν στον Β. Ελληνικό χώρο για το χρονικό διάστημα 1989-1999 και υπολογίστηκαν οι μηχανισμοί γένεσης με σκοπό τον καθορισμό του πεδίου των τάσεων για την περιοχή μελέτης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέθοδος των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων και για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε το πρόγραμμα FPFIT. Από στοιχεία βιβλιογραφίας οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών της Ελλάδας έχουν μελετηθεί τόσο με την χρήση των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων όπως καταγράφηκαν σε μακρινούς σταθμούς (Papazachos, 1961; Delibasis, 1968; Papazachos and Delibasis, 1969; Ritsema, 1974; Mckenzie, 1972, 1978), των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων από τοπικά δίκτυα (Hatzfeld et al., 1988; Hatzidimitriou et al., 1991) καθώς και από την αντιστροφή των κυμάτων χώρου και την παραγωγή συνθετικών σειсмоγραμμάτων (Kıratzi and Langston, 1989,1991; Taymaz et al., 1990, 1991; Papadimitriou, 1993; Louvari et al., 1997).

Στην παρούσα εργασία σαν πρώτο βήμα ήταν η επιλογή εκείνων των σεισμών οι οποίοι σημειώθηκαν στον ευρύτερο Βόρειο Ελλαδικό χώρο όπως αυτός ορίζεται περίπου από τις συντεταγμένες 38.5-42.0°B και 20.0-26.5°A. Έχοντας τις κυματομορφές σε SAC μορφή για κάθε έναν σεισμό σημειώθηκαν οι πρώτες αφίξεις των επιμήκων κυμάτων, όπως αυτός γράφτηκε σε όλους τους διαθέσιμους σταθμούς του μόνιμου δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ. Να επισημανθεί ότι

χρησιμοποιήθηκαν οι αφίξεις εκείνων των κυματομορφών οι οποίες παρουσίαζαν καλή αναλογία σήματος προς θόρυβο. Χρησιμοποιώντας το αρχείο με τις πρώτες αφίξεις των επιμήκων κυμάτων (hypo αρχείο) για κάθε έναν σεισμό καθώς και κατάλληλα μονοδιάστατα μοντέλα δομής των επιμήκων κυμάτων όπως αυτά προέκυψαν από γενικότερα τρισδιάστατα μοντέλα δομής (π.χ. Papazachos & Nolet, 1997; Papazachos and Scordilis, 1998; Papazachos, 1998; Papazachos et al. 1998) εφαρμόστηκε το πρόγραμμα Hypoellipse (Lahr, 1999) το οποίο χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό των επικέντρων. Το archive αρχείο το οποίο δημιουργεί το πρόγραμμα Hypoellipse και το οποίο περιέχει στοιχεία που αφορούν τις παραμέτρους για κάθε σταθμό (π.χ. επικεντρική απόσταση, αζιμούθιο και γωνία πρόσπτωσης) χρησιμοποιήθηκε σαν εισαγόμενο αρχείο στο πρόγραμμα FPFIT. Στην διαδικασία επιλογής των πρώτων αποκλίσεων ανάλογα με την μορφή της πρώτης άφιξης χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί για τον χαρακτηρισμό της.

1. IUP0 η πρώτη κίνηση είναι συμπίεση χαρακτηρίζεται ως 'απότομη' με μεγάλο πλάτος
2. I+P0 η πρώτη κίνηση είναι συμπίεση χαρακτηρίζεται ως 'απότομη' αλλά όχι με τόσο μεγάλο πλάτος όπως στην πρώτη περίπτωση
3. E+P0 η πρώτη κίνηση είναι συμπίεση χαρακτηρίζεται ως 'ομαλή' αλλά χωρίς μεγάλο πλάτος
4. IDP0 η πρώτη κίνηση είναι αραίωση χαρακτηρίζεται ως 'απότομη' με μεγάλο πλάτος
5. I-P0 η πρώτη κίνηση είναι αραίωση χαρακτηρίζεται ως 'απότομη' αλλά όχι με τόσο μεγάλο πλάτος όπως στην τέταρτη περίπτωση.
6. E-P0 η πρώτη κίνηση είναι αραίωση χαρακτηρίζεται ως 'ομαλή' και δεν χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλάτος.

Στην πορεία επεξεργασίας των δεδομένων υπήρξαν αρκετές περιπτώσεις στις οποίες η πρώτη άφιξη των επιμήκων κυμάτων εμφανίζονταν με σχεδόν μηδενικό πλάτος καταγραφής γεγονός που σημαίνει ότι στην προβολή της εστιακής σφαίρας μία τέτοια άφιξη θα πρέπει να βρίσκεται πάνω ή κοντά σε ένα από τα δύο ορικά (ή μηδενικά) επίπεδα. Τέτοιες αφίξεις στο hypo αρχείο σημειώνεται ως E P0.

Προκειμένου να ληφθούν υπ' όψη οι διαφορετικές 'εικόνες' που μπορεί να έχει μία πρώτη απόκλιση το αρχικό πρόγραμμα FPFIT τροποποιήθηκε μερικώς έτσι ώστε να περιλαμβάνει τις 'nodal' ή 'μηδενικού πλάτους' αφίξεις ενώ συγχρόνως να διαχωρίζει την ποιότητα/πλάτος των πρώτων κινήσεων. Έτσι αν στο πρόγραμμα

FPFIT, $robs(k)$, pth , wth είναι οι εισαγόμενες παρατηρούμενες πολικότητες, οι θεωρητικά υπολογιζόμενες και τα υπολογιζόμενα βάρη των θεωρητικών πολικότητων, αντίστοιχα, τότε:

- Στην αρχική έκδοση του FPFIT η παράμετρος $robs(k)$ έπαιρνε τις παρακάτω δύο τιμές:

+ 0.5 για συμπίεση και
- 0.5 για αραίωση

Στην ίδια έκδοση η θεωρητικά υπολογιζόμενη πολικότητα για έναν σταθμό, pth δίνονταν από τη παρακάτω σχέση:

$$pth = sign(0.5, prad)$$

όπου $prad$ είναι η παράμετρος η οποία αφορά τον τρόπο ακτινοβολίας των επιμήκων κυμάτων. Προκύπτει επομένως ότι η παράμετρος $pth(k)$ έπαιρνε τιμές ανάλογες με το $robs(k)$ δηλαδή:

+ 0.5 για συμπίεση
- 0.5 για αραίωση

- Στην μεταποιημένη έκδοση του FPFIT η παράμετρος $robs(k)$ παίρνει πλέον τις ακόλουθες τιμές:

1. Αν η πρώτη κίνηση, f_m , είναι U ή C τότε $robs(k) = 0.4$
2. Αν η πρώτη κίνηση, f_m , είναι '+' τότε $robs(k) = 0.25$
3. Αν η πρώτη κίνηση, f_m , είναι D τότε $robs(k) = -0.4$
4. Αν η πρώτη κίνηση, f_m , είναι '-' τότε $robs(k) = -0.25$
5. Αν η πρώτη κίνηση, f_m , είναι 'nodal' την οποία θα σημειώνουμε στην προβολή της εστιακής σφαίρας με το γράμμα 'X' τότε $robs(k) = 0.0$

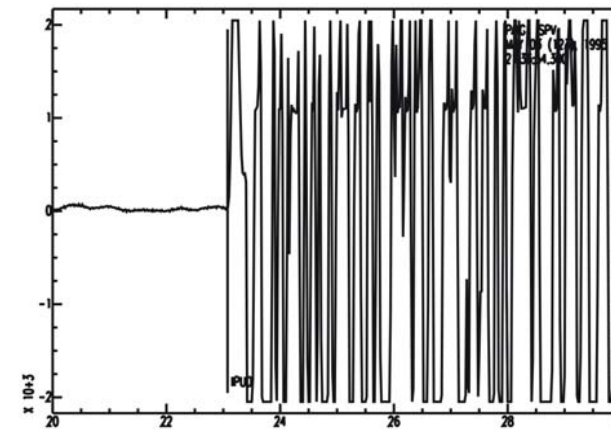
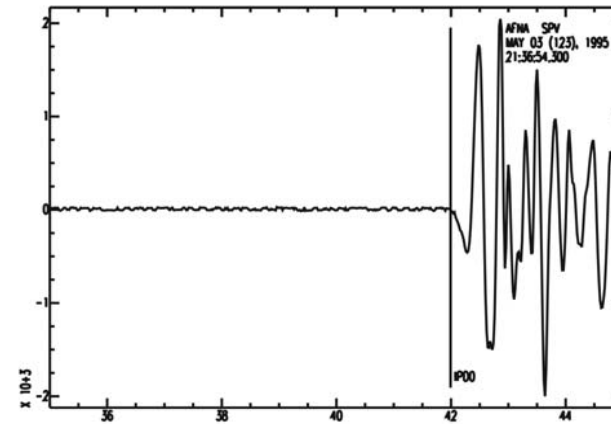
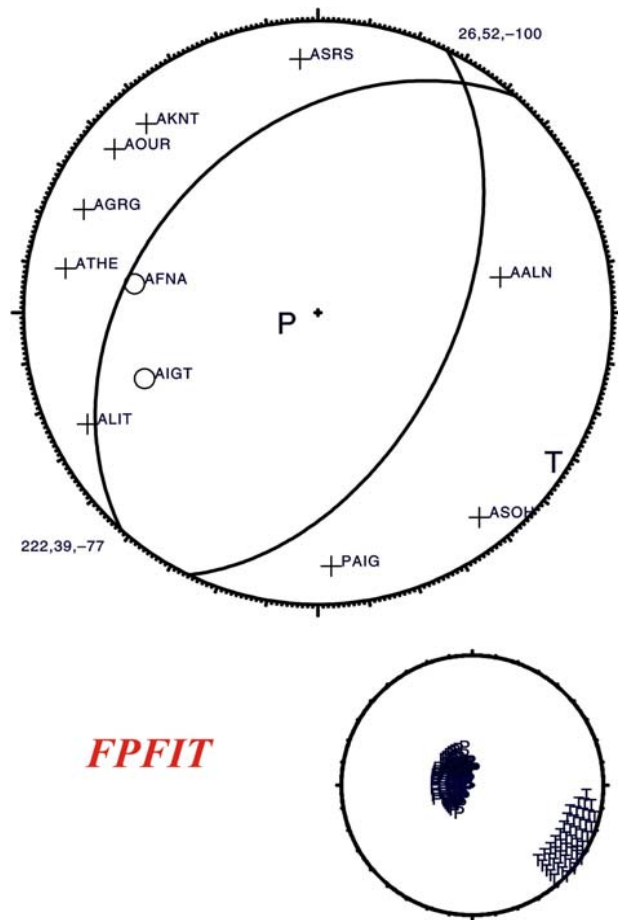
Συνεπώς στην ίδια έκδοση η παράμετρος pth καθορίζεται πλέον από τον τρόπο ακτινοβολίας των επιμήκων κυμάτων και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$pth = 0.5 * prad$$

Στα σχήματα (8) έως (14) παρουσιάζονται παραδείγματα με τον υπολογισμό μηχανισμών γένεσης για πέντε (5) σεισμούς οι οποίοι σημειώθηκαν στον Β. Ελληνικό χώρο και γράφτηκαν από τους σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής. Σε κάθε ένα από αυτά τα σχήματα φαίνονται οι υπολογιζόμενοι μηχανισμοί γένεσης ενώ παρουσιάζονται και δύο παραδείγματα κυματομορφών. Πάνω στο επίπεδο προβολής της εστιακής σφαίρας (δίκτυο Schmidt)

έχουν προβληθεί οι θέσεις των σταθμών (με **+** οι συμπιέσεις, με **O** οι αραιώσεις και με **X** οι 'nodal' αφίξεις. Στην ίδια σφαίρα σημειώνονται οι θέσεις των δύο ορικών επιπέδων (παράταξη, γωνία κλίσης και γωνία ολίσθησης) καθώς και οι θέσεις των αξόνων P και T. Παρουσιάζονται επίσης κάποιες παράμετροι που αφορούν τον σεισμό (συντεταγμένες επικέντρου), και τη λύση του μηχανισμού γένεσης (RMS: το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της λύσης, fm: αριθμός των φάσεων που χρησιμοποιήθηκαν, οι αβεβαιότητες σε μοίρες των υπολογιζόμενων παραμέτρων της παράταξης, της γωνίας κλίσης και της γωνίας ολίσθησης). Σε κάθε ένα από τα σχήματα που απεικονίζουν τους μηχανισμούς γένεσης η μικρή σφαίρα στο κάτω δεξί τμήμα του σχήματος απεικονίζει μία στατιστική εκτίμηση των λύσεων του προγράμματος FPFIT για τους άξονες P και T και την κατανομή που παρουσιάζουν.

Για τους πέντε σεισμούς που μελετήθηκαν και τα επίκεντρα των οποίων βρίσκονται στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας (Μυγδονία λεκάνη και Βορειοδυτική Ελλάδα) οι υπολογιζόμενοι μηχανισμοί γένεσης (σχ. 4-8) δείχνουν κανονικά ρήγματα με εφελκυσμό διεύθυνσης σχεδόν B-N ενώ για έναν σεισμό στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (σχήματα 13 και 14) ο μηχανισμός γένεσης που υπολογίστηκε δείχνει ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον φαίνεται στη λύση του μηχανισμού γένεσης για τον σεισμό στην περιοχή του Β. Αιγαίου (Σποράδες νήσοι) όπου παρουσιάζεται η λύση του μηχανισμού γένεσης με την αρχική (σχ. 13) αλλά και με την τροποποιημένη έκδοση του προγράμματος FPFIT (σχ. 14). Είναι προφανής η μέτριας ποιότητας λύση που δίνει η αρχική έκδοση του FPFIT σε σχέση με την τροποποιημένη έκδοση στην οποία φαίνεται η πολύ καλή τοποθέτηση των πρώτων αφίξεων που σημειώθηκαν ως 'nodal' πάνω στα ορικά επίπεδα και η μικρή διακύμανση της θέσης των αξόνων P και T.



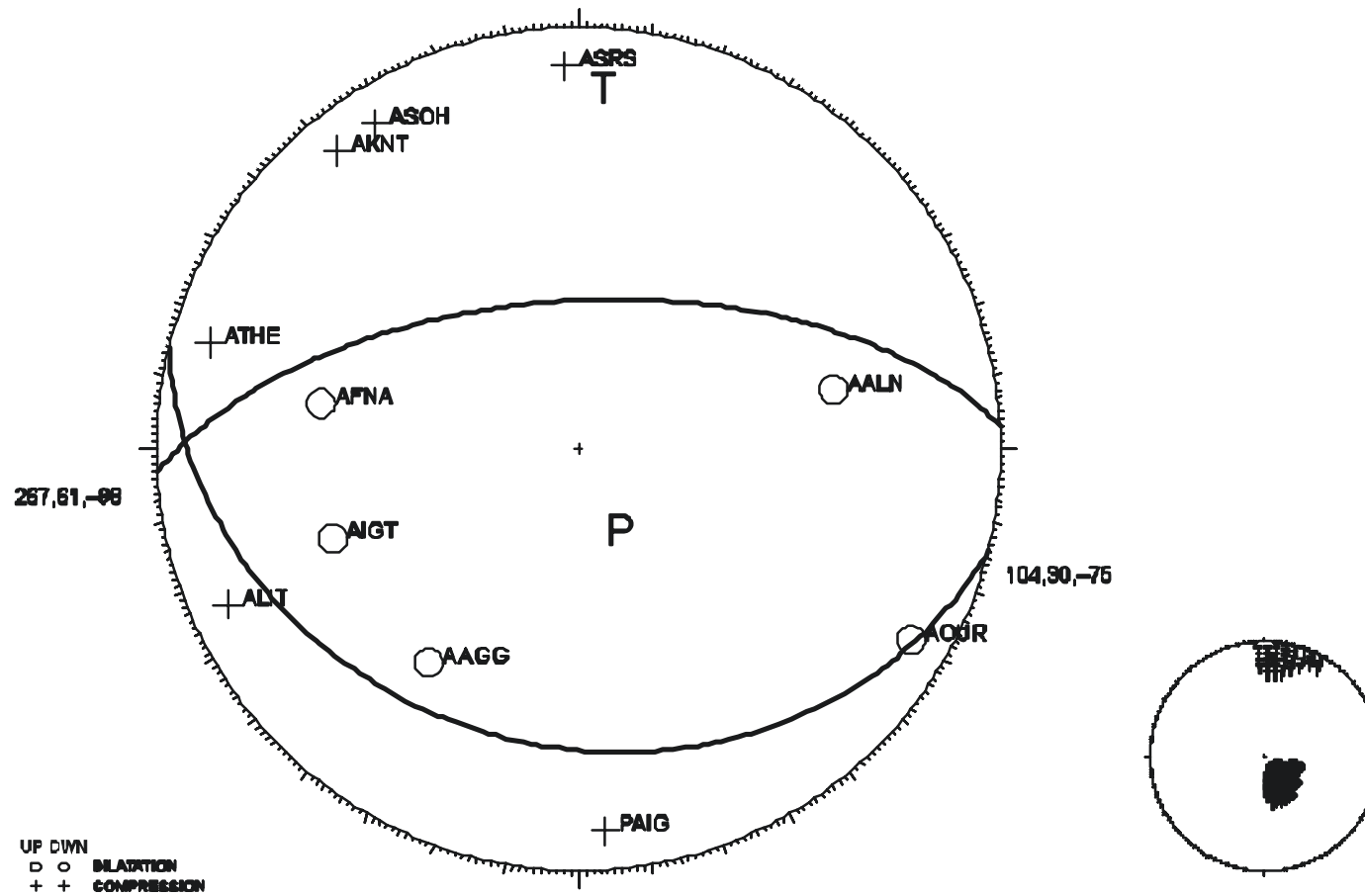
Σχήμα 8. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται όπως καταγράφηκε ο σεισμός στους σταθμούς του μόνιμου δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ, FNA και PAIG.

19900714 15:49 48.22
40N29.40 23237.70
DEPTH = 2.50 KM
MAG = 0.00

RMS = 0.89 S
DMIN = 34 KM
AZM GAP = 80
FM = 11

ERH = 1.0 KM
ERZ = 3.4 KM
MISFIT = 0.00 (+.05)
STDR = 0.55

STRIKE UNCERTAINTY = 15
DIP UNCERTAINTY = 10
RAKE UNCERTAINTY = 10
% MACHINE PICKS = 0



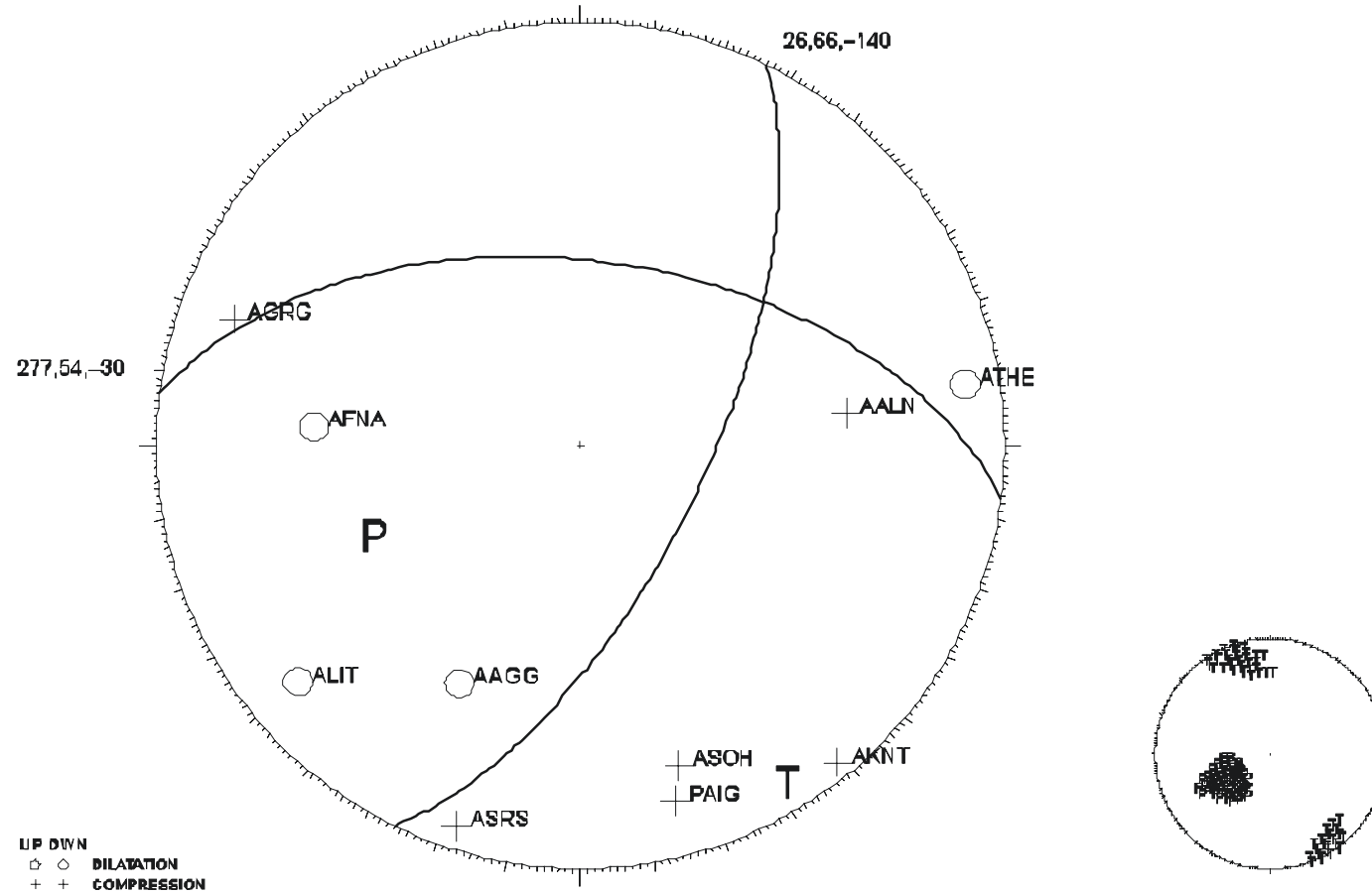
Σχήμα 9. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T.

19940408 20:48 13.67
40N41.16 23224.48
DEPTH = 6.80 KM
MAG = 0.00

RMS = 0.40 S
DMIN = 16 KM
AZM GAP = 81
FM = 10

ERH = 1.3 KM
ERZ = 2.9 KM
MISFIT = 0.00 (+.05)
STDR = 0.66

STRIKE UNCERTAINTY = 6
DIP UNCERTAINTY = 15
RAKE UNCERTAINTY = 13
% MACHINE PICKS = 0



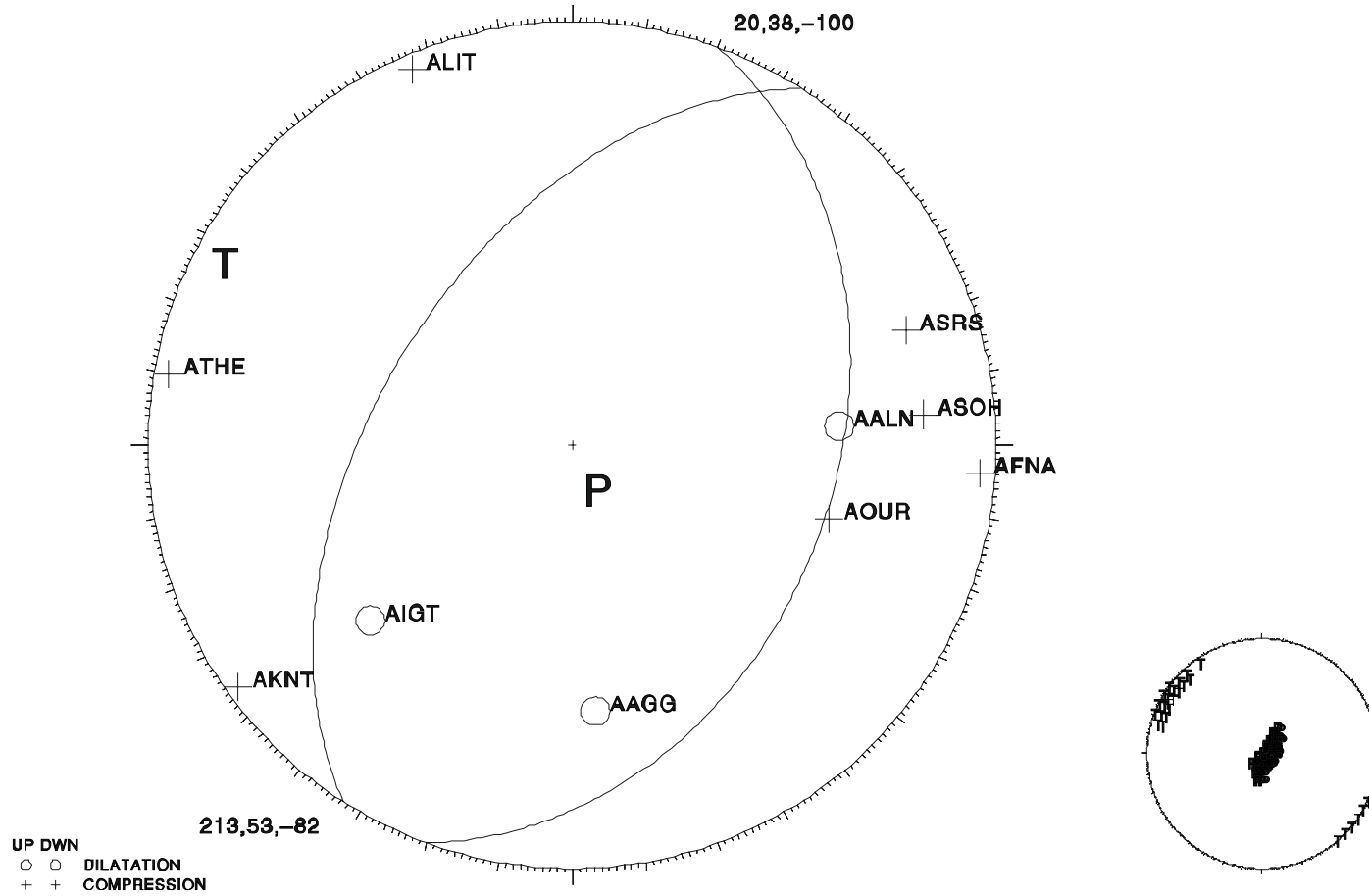
Σχήμα 10. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην περιοχή της Μυθονίας λεκάνης. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T.

19960315 18:33 59.27
 40N44.76 222 8.46
 DEPTH = 4.80 KM
 MAG = 0.00

RMS = 0.69 S
 DMIN = 64 KM
 AZM GAP = 140
 # FM = 10

ERH = 1.0 KM
 ERZ = 2.6 KM
 MISFIT = 0.00 (+.05)
 STDR = 0.58

STRIKE UNCERTAINTY = 10
 DIP UNCERTAINTY = 2
 RAKE UNCERTAINTY = 20
 % MACHINE PICKS = 0



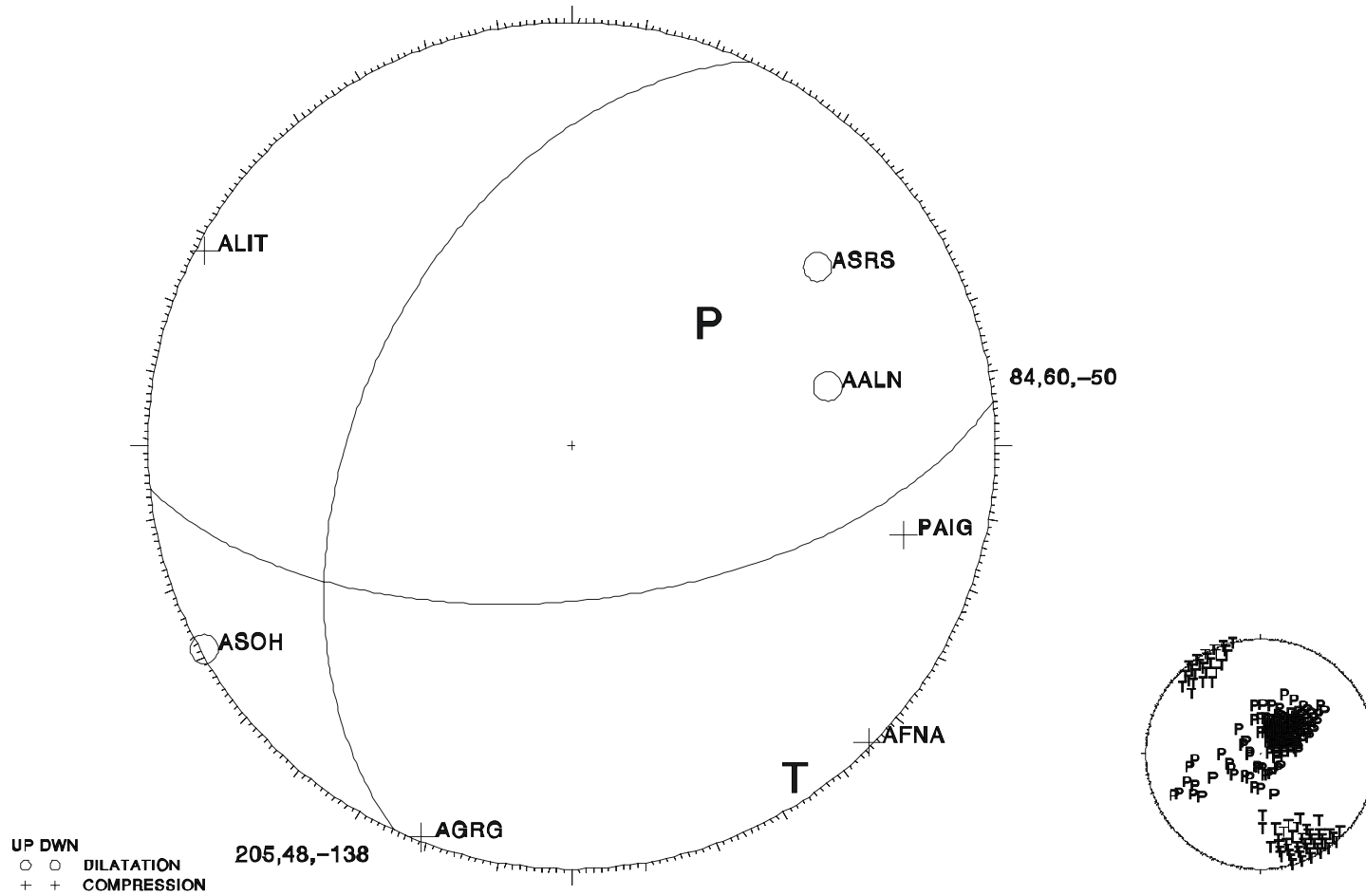
Σχήμα 11. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην Βορειοδυτική Ελλάδα. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T.

19931018 14:29 22.48
 40N16.80 222 3.60
 DEPTH = 1.30 KM
 MAG = 0.00

RMS = 0.49 S
 DMIN = 42 KM
 AZM GAP = 144
 # FM = 7

ERH = 1.7 KM
 ERZ = 3.7 KM
 MISFIT = 0.00 (+.06)
 STDR = 0.69

STRIKE UNCERTAINTY = 8
 DIP UNCERTAINTY = 12
 RAKE UNCERTAINTY = 20
 % MACHINE PICKS = 0



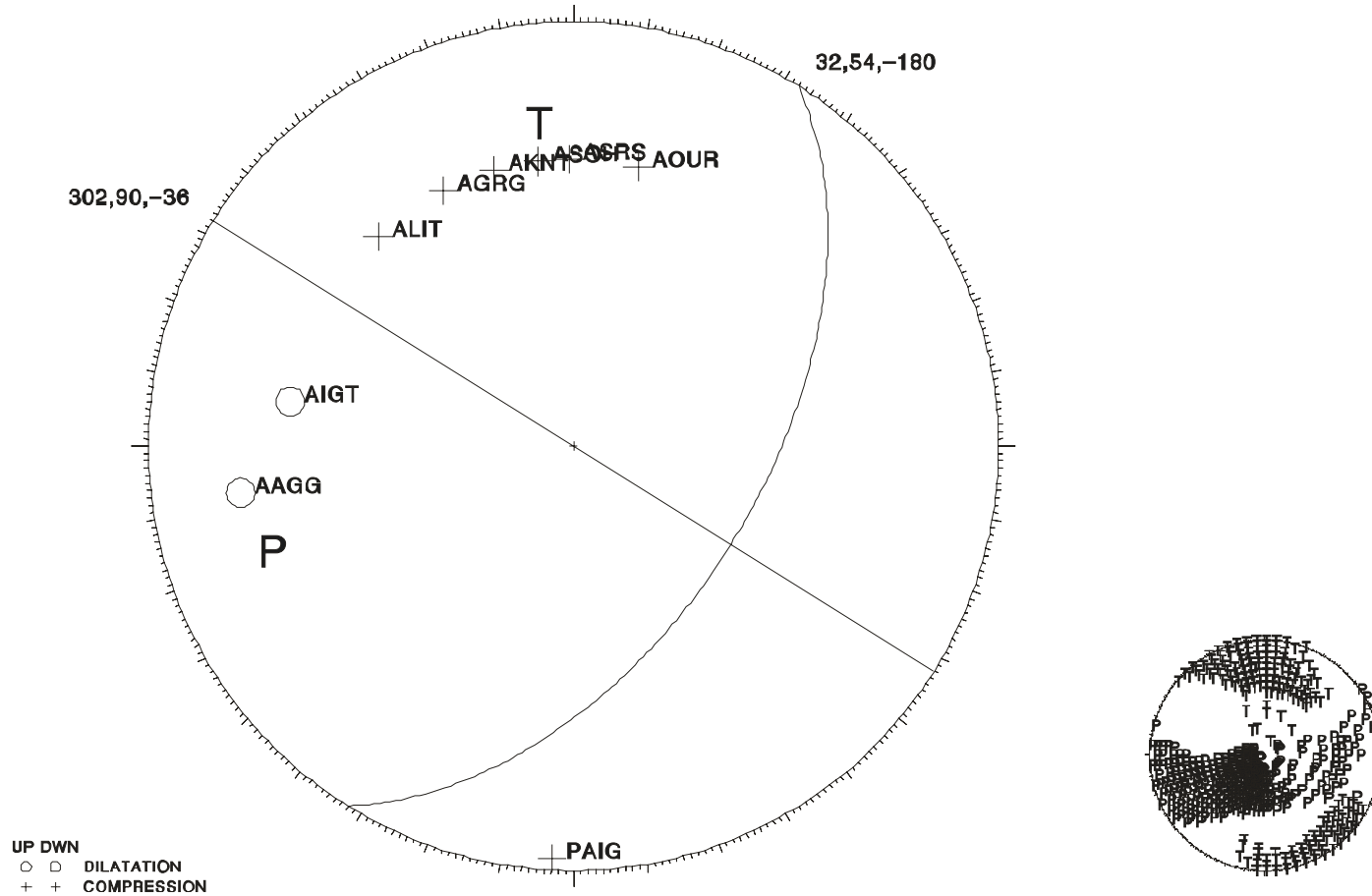
Σχήμα 12. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην Βορειοδυτική Ελλάδα. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T.

19900617 13:44 56.72
 39N10.20 23237.80
 DEPTH = 8.00 KM
 MAG = 0.00

RMS = 0.58 S
 DMIN = 84 KM
 AZM GAP = 216
 # FM = 9

ERH = 1.5 KM
 ERZ = 4.3 KM
 MISFIT = 0.00 (+.05)
 STDR = 0.88

STRIKE UNCERTAINTY = 22
 DIP UNCERTAINTY = 40
 RAKE UNCERTAINTY = 35
 % MACHINE PICKS = 0



Sat Sep 21 11:54:17 2002

earthq.arc

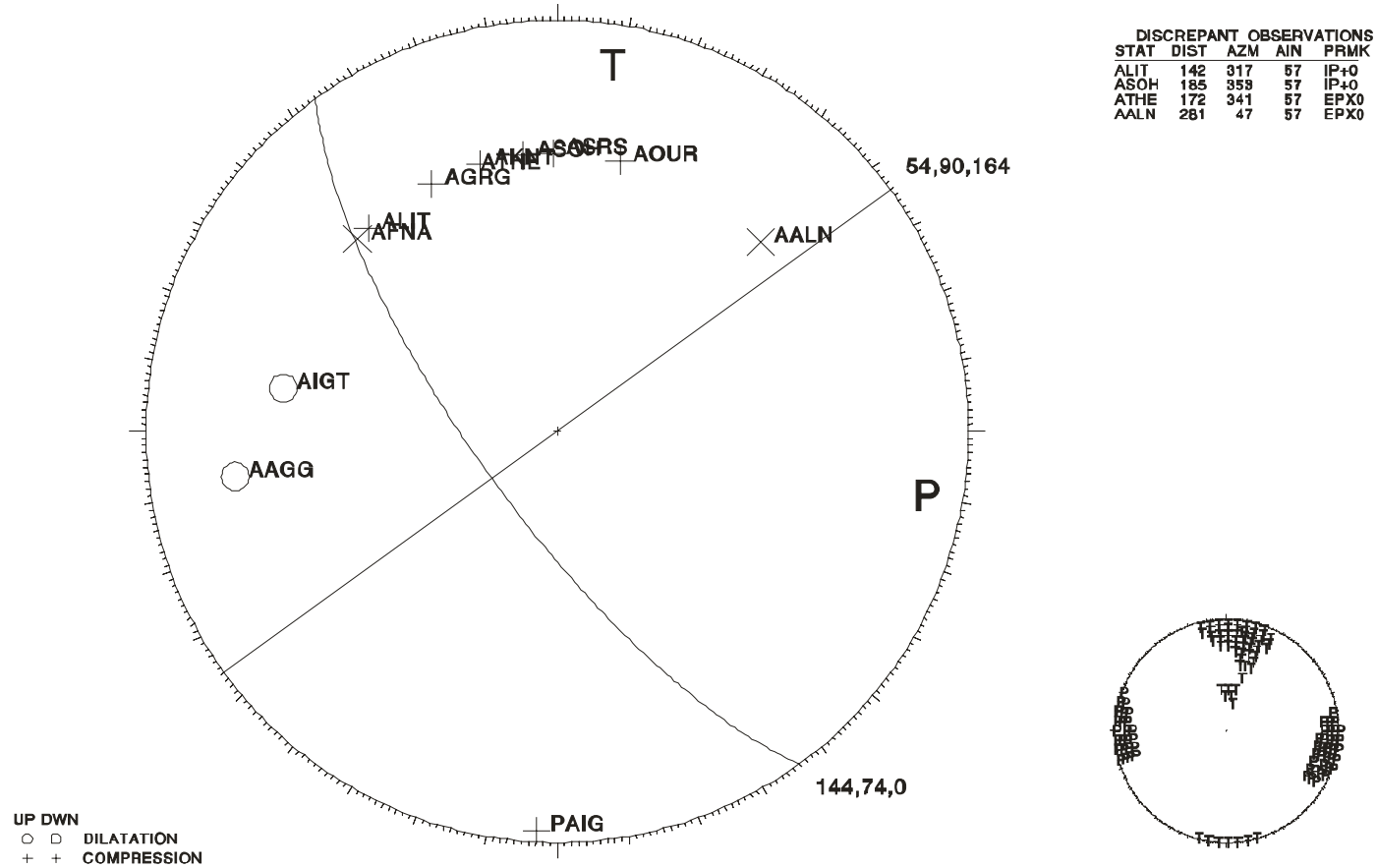
Σχήμα 13. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT (αρχική έκδοση) για έναν σεισμό που σημειώθηκε στην περιοχή των Σποράδων νήσων (Β. Αιγαίο). Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T. Παρατηρούμε τη μεγάλη διασπορά των προσδιοριζόμενων αξόνων P και T.

19900617 13:44 56.72 (MULTIPLE)
 39N10.20 23237.80
 DEPTH = 8.00 KM
 MAG = 0.00

RMS = 0.58 S
 DMIN = 84 KM
 AZM GAP = 216
 # FM = 12

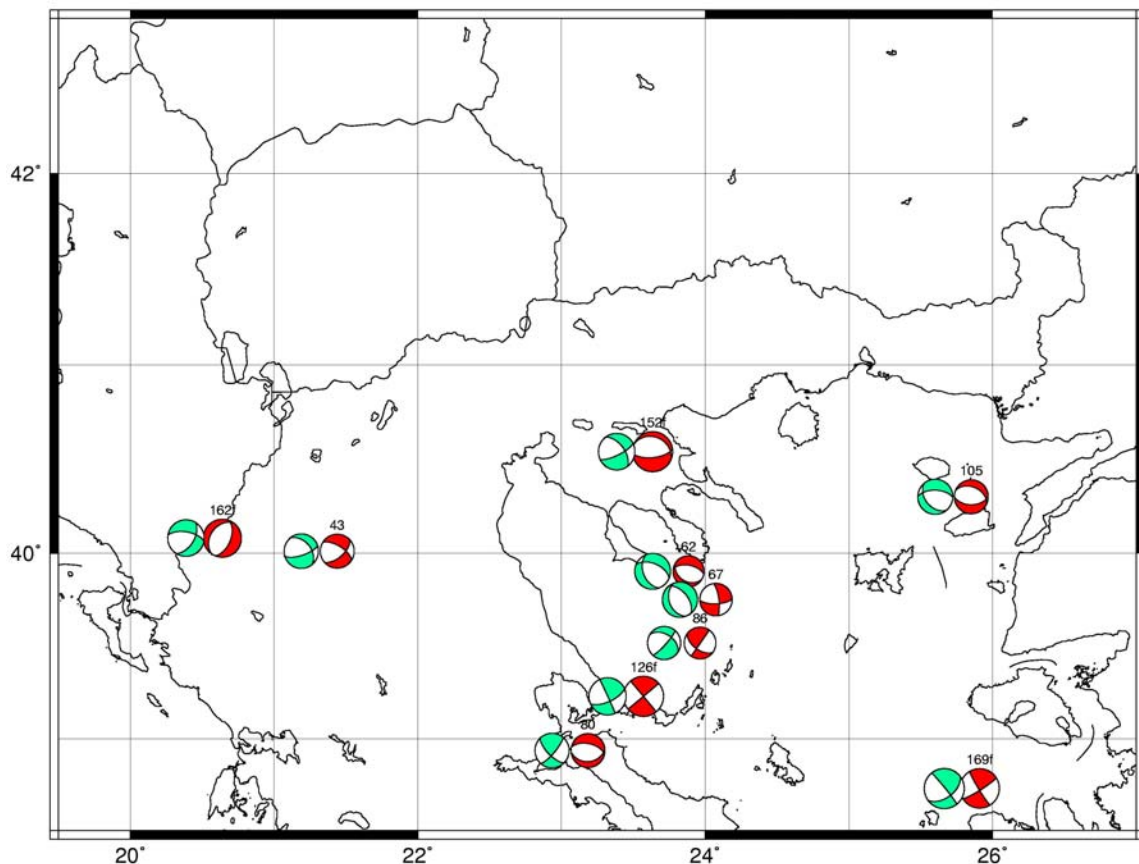
ERH = 1.5 KM
 ERZ = 4.3 KM
 MISFIT = 0.08 (+.05)
 STDR = 0.69

STRIKE UNCERTAINTY = 16
 DIP UNCERTAINTY = 8
 RAKE UNCERTAINTY = 16
 % MACHINE PICKS = 0



Σχήμα 14. Ο μηχανισμός γένεσης όπως υπολογίστηκε με το πρόγραμμα FPFIT (τροποποιημένη έκδοση) για τον ίδιο σεισμό με το σχήμα 13. Φαίνεται η πολύ καλή συσχέτιση των ‘μηδενικών ή nodal’ αφίξεων με τα ορικά επίπεδα. Η μικρή σφαίρα απεικονίζει τη στατιστική κατανομή των αξόνων P και T, η οποία παρουσιάζει σαφή βελτίωση σε σχέση με αυτή του σχήματος 9.

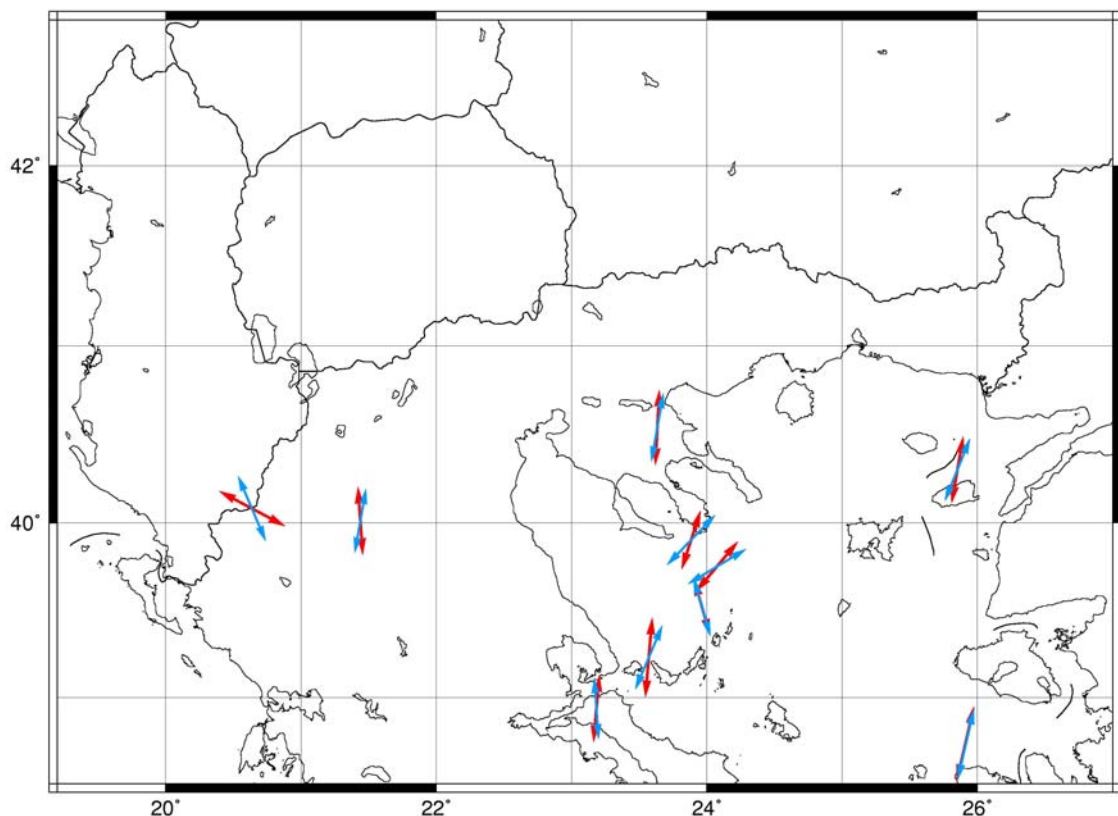
Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της παραπάνω διαδικασίας, συγκεντρώθηκε το σύνολο των μηχανισμών γένεσης οι οποίοι έχουν προσδιοριστεί από ανάλυση κυματομορφών (waveform modeling) είτε στα πλαίσια διαφόρων ερευνητικών δημοσιεύσεων, είτε από διεθνή κέντρα (HARVARD, ETH, ING). Για τους σεισμούς που εξετάστηκαν υπήρχαν δέκα (10) περιπτώσεις, στις οποίες υπήρχαν λύσεις, τόσο από τα δεδομένα που προαναφέρθηκαν, όσο και από τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω, με την ανάλυση των δεδομένων του σεισμολογικού σταθμού. Στο σχήμα (15) παρουσιάζεται η σύγκριση των αντιστοίχων μηχανισμών γένεσης, ενώ στα σχήματα (16) και (17) οι αντίστοιχες συγκρίσεις για τους άξονες P και T.



Σχήμα 15. Σύγκριση των μηχανισμών γένεσης οι οποίοι προσδιορίστηκαν από πρώτες κινήσεις του δικτύου σειсмоγράφων του ΑΠΘ (πράσινες στερεογραφικές προβολές) με αντίστοιχους μηχανισμούς από ανάλυση κυματομορφών (κόκκινες στερεογραφικές προβολές)

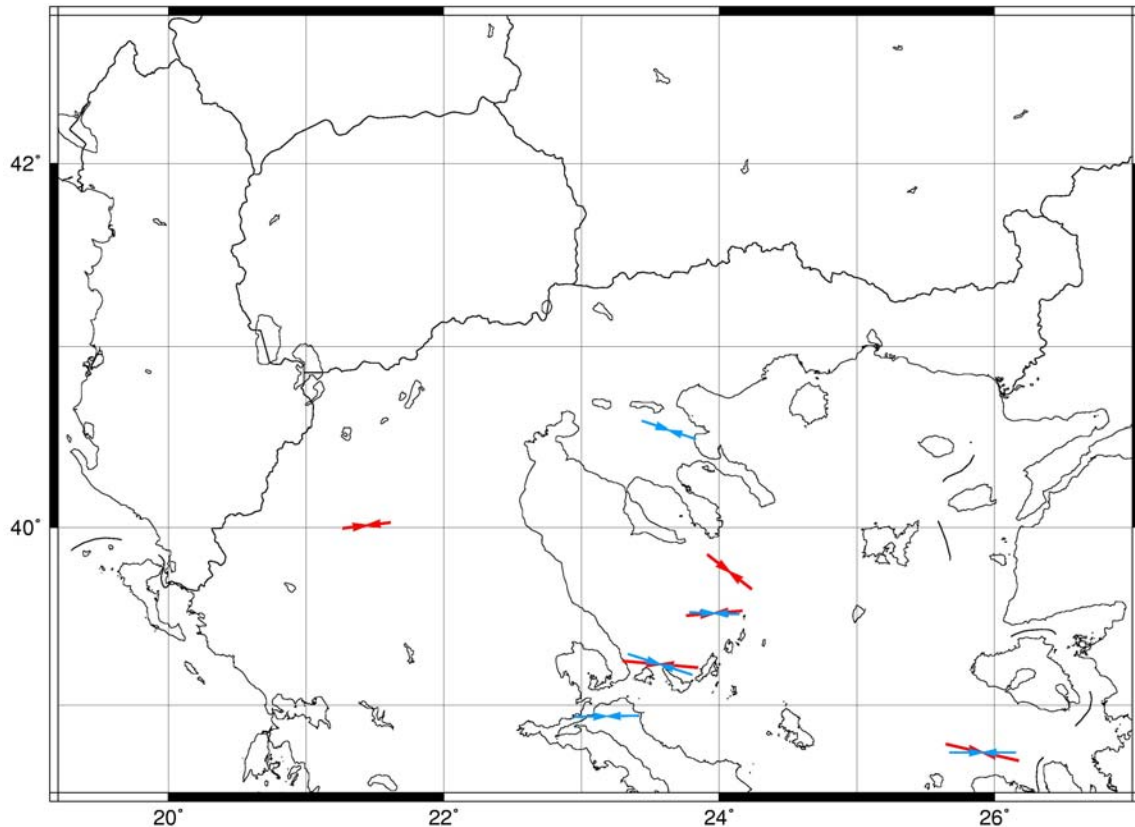
Γενικά, η σύγκριση στο σχήμα 15 δείχνει πολύ καλή ταύτιση στις περισσότερες περιπτώσεις (43, 62, 86, 105, 126, 169) ενώ σε τέσσερις περιπτώσεις έχουμε μικρές (152-σεισμός Αρναίας, 162-σεισμός Κόνιτσας) ή και σημαντικές διαφορές (67, 80). Η διαφοροποίηση στην περίπτωση του σεισμού της Αρναίας και τις Κόνιτσας είναι χαρακτηριστική για μεγάλους σεισμούς, όπου η έναρξη της σεισμικής κίνησης μπορεί να διαφοροποιείται από την κύρια σεισμική ολίσθηση. Οι σεισμοί 67 και 80 βρίσκονται σε ένα περιβάλλον όπου και οι δύο λύσεις είναι αποδεκτές και κατά συνέπεια δεν μπορεί να επιλεγεί εύκολα η «σωστή» λύση. Σε κάθε όμως περίπτωση, η γενική συμφωνία των δύο ειδών λύσεων είναι σε αποδεκτά πλαίσια στο 80% των περιπτώσεων.

Η συμφωνία αυτή είναι πιο εμφανής στο σχήμα (16), όπου παρουσιάζεται η σύγκριση των αξόνων T και όπου παρατηρείται μία εξαιρετική συμφωνία, με ένα σφάλμα που δεν ξεπερνά τις 10° , ακόμα και για τους σεισμούς που παρουσιάζουν διαφορές στο μηχανισμό γένεσης (67, 80).



Σχήμα 16. Σύγκριση αξόνων T των μηχανισμών γένεσης οι οποίοι προσδιορίστηκαν από πρώτες κινήσεις του δικτύου σειсмоγράφων του ΑΠΘ (μπλε τόξα) με αντίστοιχους άξονες μηχανισμών από ανάλυση κυματομορφών (κόκκινα τόξα).

Αντίθετα, μικρότερη είναι η συμφωνία των P αξόνων (σχήμα 17), όπου παρουσιάζονται μόνο άξονες με σημαντική οριζόντια προβολή.



Σχήμα 17. Σύγκριση αξόνων P των μηχανισμών γένεσης οι οποίοι προσδιορίστηκαν από πρώτες κινήσεις του δικτύου σειсмоγράφων του ΑΠΘ (μπλέ τόξα) με αντίστοιχους άξονες μηχανισμών από ανάλυση κυματομορφών (κόκκινα τόξα).

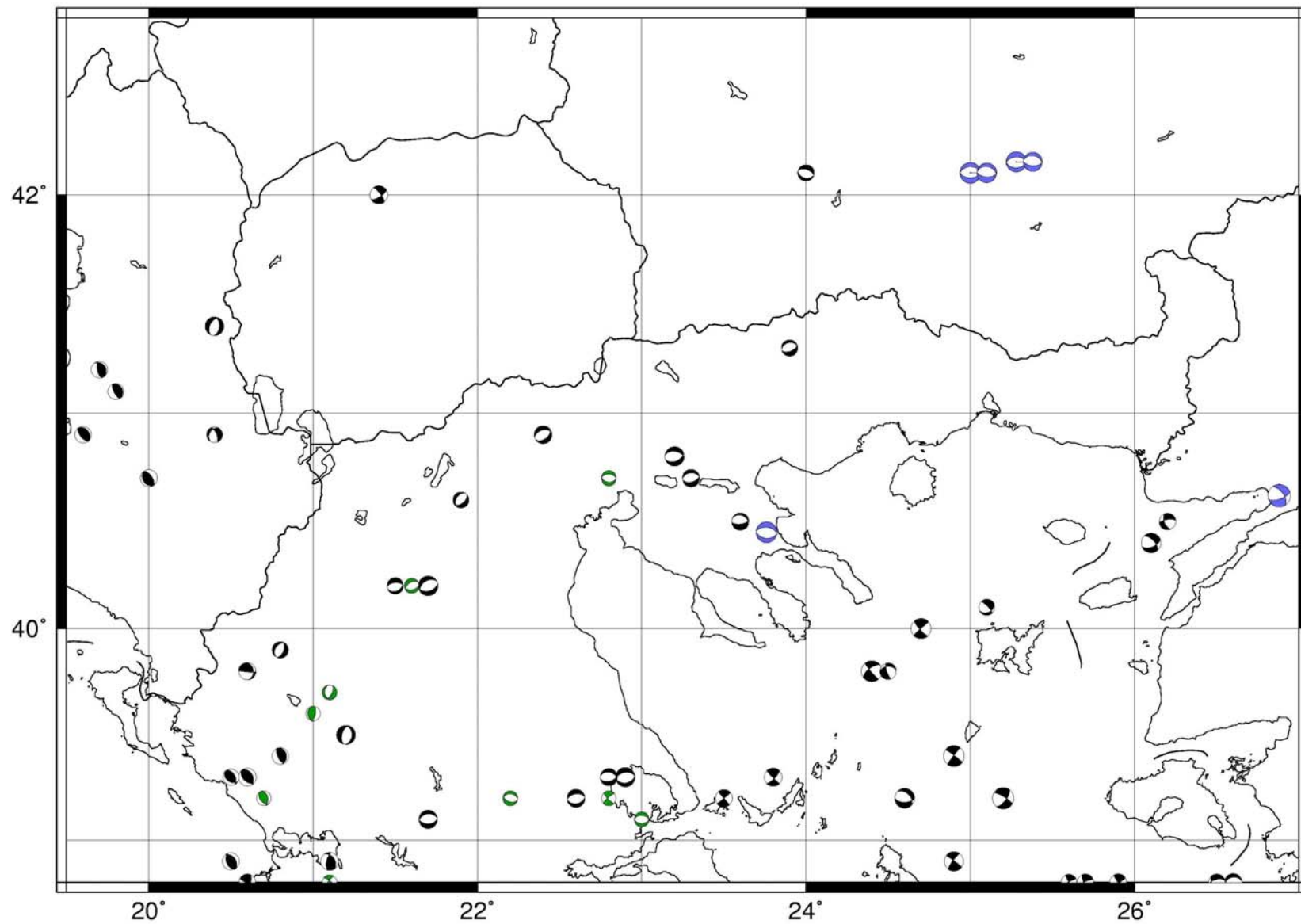
Από τις παραπάνω συγκρίσεις, μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα τα οποία προσδιορίζονται για την περιοχή μελέτης από τις αποκλίσεις των πρώτων αφίξεων είναι αξιόπιστα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη του πεδίου τάσεων στην Βόρεια Ελλάδα. Η αξιοπιστία αυτή αντανακλά τόσο την καλή ποιότητα των αρχικών δεδομένων όσο και τη σταθεροποίηση των λύσεων οι οποίες υπολογίζονται λόγω της χρήσης τοπικών μοντέλων δομής αλλά και της τροποποίησης του προγράμματος FPFIT το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση.

Έχοντας εξασφαλίσει την αξιοπιστία των προσδιορισθέντων μηχανισμών γένεσης προχωρήσαμε στον υπολογισμό ενός μεγάλου αριθμού μηχανισμών γένεσης για το

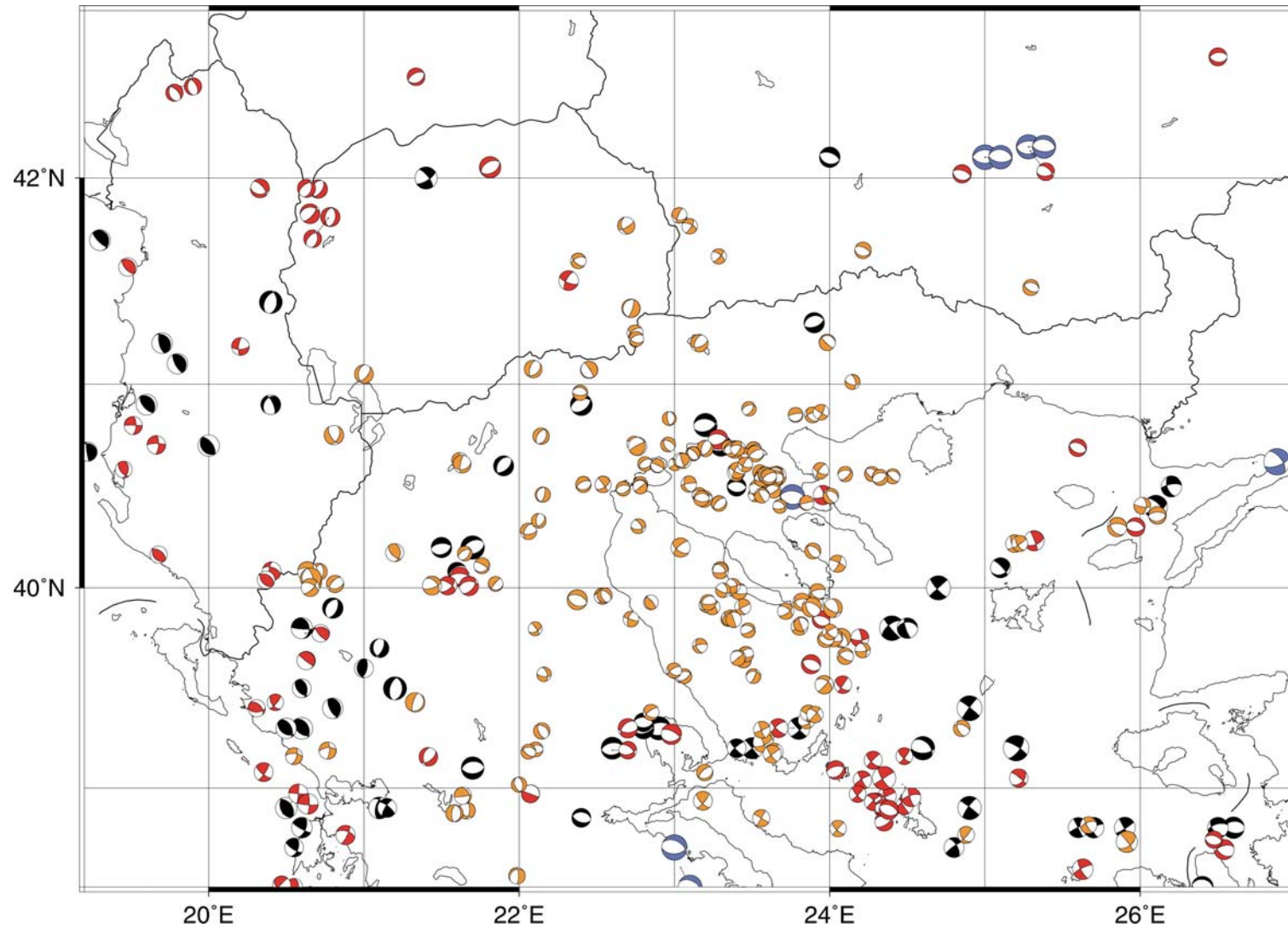
χρονικό διάστημα 1989-1999. Η συμπλήρωση της τελικής βάσης δεδομένων των μηχανισμών γένεσης και των αντίστοιχων σεισμολογικών στοιχείων για το Βόρειο Ελληνικό χώρο ήταν ένα σημαντικό βήμα για την περαιτέρω σύγκριση και τον συνδυασμό των παραπάνω δεδομένων με τα αντίστοιχα γεωλογικά-νεοτεκτονικά στοιχεία, ώστε να οδηγήσει στο τελικό μοντέλο του πεδίου τάσεων στην περιοχή μελέτης και στη δημιουργία του τελικού σεισμοτεκτονικού μοντέλου της περιοχής.

Στο σχήμα (18) παρουσιάζονται οι μηχανισμοί γένεσης όπως παρουσιάζονται στον κατάλογο των Papazachos and Papazachou (2002), για τη Βόρεια Ελλάδα, όπου με μαύρο χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση κυματομορφών, με μπλε από γνωστές επιφανειακές διαρρήξεις ιστορικών σεισμών και με πράσινο από μικροσεισμικές ακολουθίες. Στο σχήμα (19) φαίνεται ο ίδιος χάρτης μετά την προσθήκη νέων αποτελεσμάτων από ανάλυση κυματομορφών (κόκκινες στερεογραφικές προβολές) και από τα δεδομένα πρώτων αφίξεων του δικτύου του Σεισμολογικού Σταθμού του ΑΠΘ. Με μαύρο χρώμα εμφανίζονται οι μηχανισμοί γένεσης που προέρχονται από τον κατάλογο των Papazachos and Papazachou (2002) και προέκυψαν από ανάλυση κυματομορφών (60 μηχανισμοί), ενώ με μπλε χρώμα 8 μηχανισμοί από επιφανειακές διαρρήξεις με βάση την ίδια πηγή. Με κόκκινες στερεογραφικές προβολές εμφανίζονται 63 από το σύνολο των μηχανισμών γένεσης που συγκεντρώθηκε και αφορούν σεισμούς που δεν περιέχονται στον κατάλογο των Papazachos and Papazachou (2002). Οι σεισμοί αυτοί έχουν μεγέθη μεγαλύτερα από $M \sim 5.0$ και έχουν προσδιοριστεί από ανάλυση κυματομορφών (waveform modeling), είτε στα πλαίσια διαφόρων ερευνητικών δημοσιεύσεων, είτε από διεθνή κέντρα (HARVARD, ETH, ING), έτσι ώστε να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων. Τέλος με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι μηχανισμοί γένεσης που υπολογίστηκαν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου από τις πρώτες αφίξεις των επιμηκών κυμάτων από τα δεδομένα του δικτύου του Σεισμολογικού Σταθμού του Α.Π.Θ. Οι μηχανισμοί αυτοί (185 μηχανισμοί) εμπλούτισαν σημαντικά το σύνολο των δεδομένων και αντιστοιχούν σε σεισμούς με μεγέθη από 3.2 έως 6.0. Το σύνολο των 316 μηχανισμών γένεσης που συγκεντρώθηκαν αποτελεί το τελικό σετ των δεδομένων στα οποία στηρίχθηκε ο προσδιορισμός του πεδίου των τάσεων και ο καθορισμός του σεισμοτεκτονικού μοντέλου της περιοχής μελέτης και είναι αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα (19).

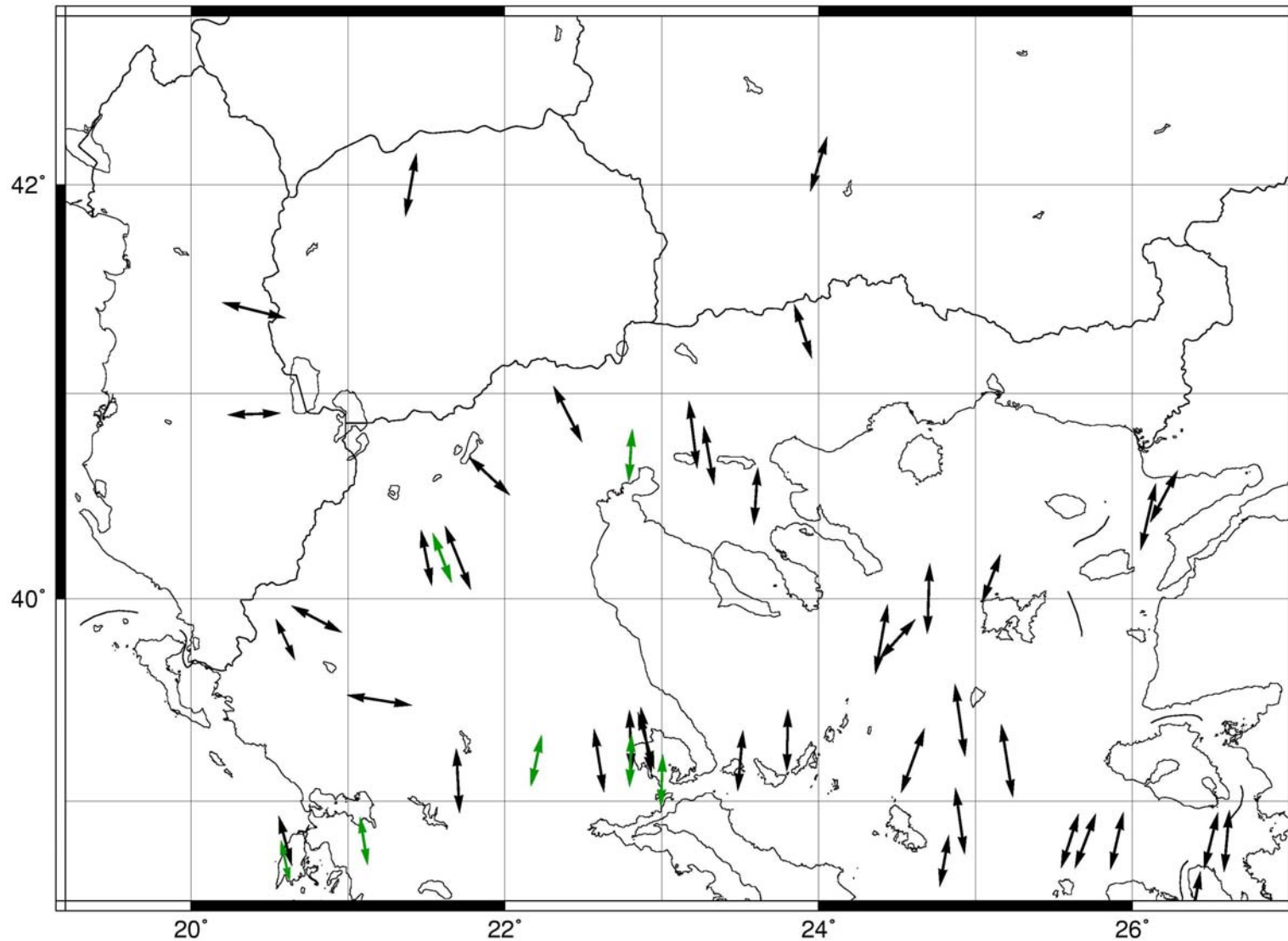
Από το σχήμα (19) είναι εμφανής ο σημαντικός εμπλουτισμός των δεδομένων, με τα παραπάνω δεδομένα τα οποία προστέθηκαν στον παρόν ερευνητικό έργο. Ανάλογος εμπλουτισμός φαίνεται και στα σχήματα (20) και (21), όπου παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι χάρτες για τους T άξονες. Τέλος, στο σχήμα (22) παρουσιάζεται η αντίστοιχη κατανομή των P αξόνων, όπου φαίνεται η σχεδόν πλήρη «διακοπή» της επίδρασης της συμπίεσης καθώς μεταβαίνουμε από το Βόρειο Αιγαίο προς τον ηπειρωτικό Ελληνικό χώρο. Να σημειωθεί ότι στα σχήματα (20), (21) και (22) εμφανίζονται μόνο οι άξονες των τάσεων που έχουν ουσιαστική επίδραση και έχουν σημαντική οριζόντια προβολή (γωνία κλίσης $<45^\circ$).



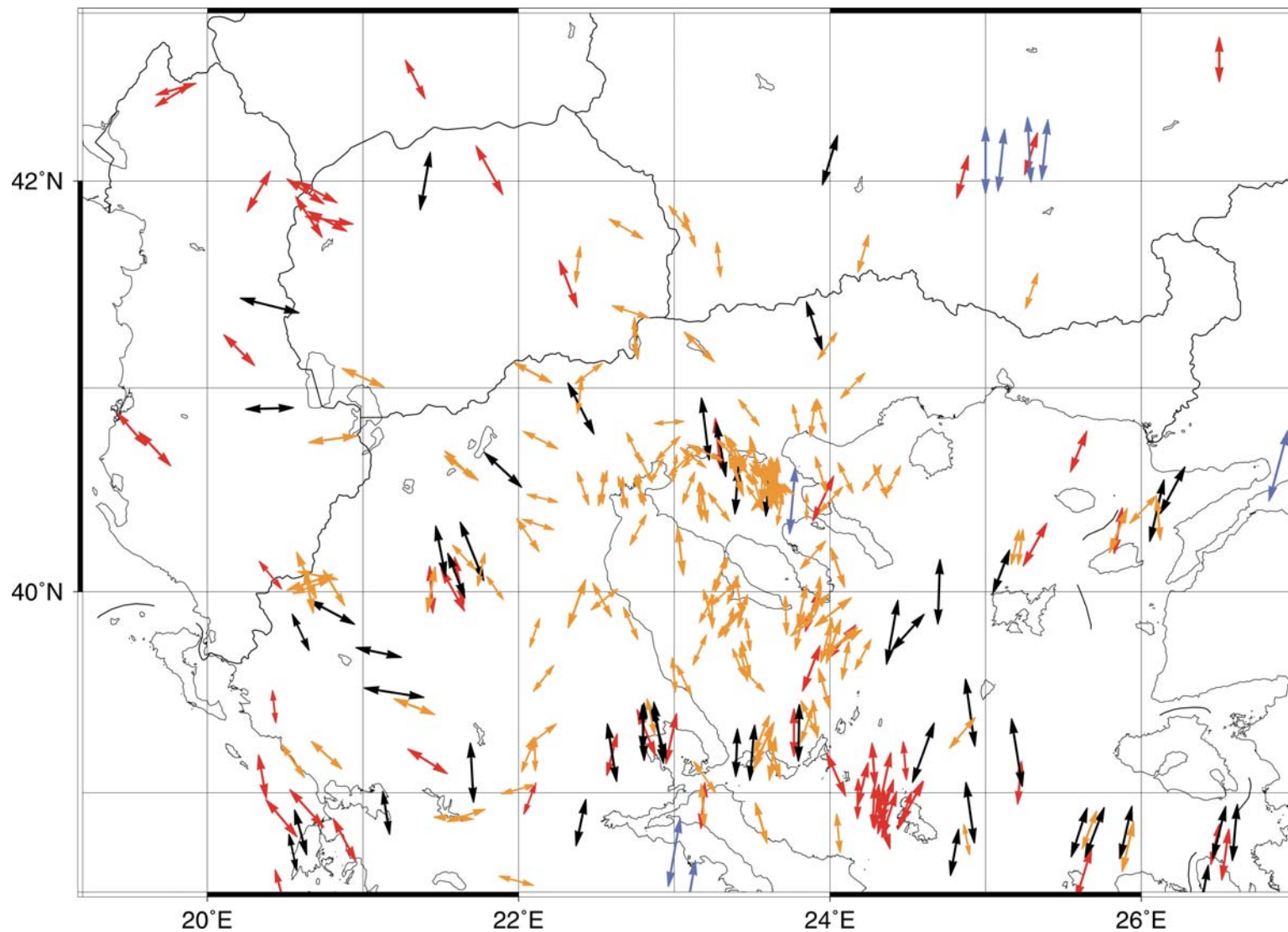
Σχήμα 18. Μηχανισμοί γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου, όπως παρουσιάζονται στον κατάλογο των Papazachos and Papazachou (2002).



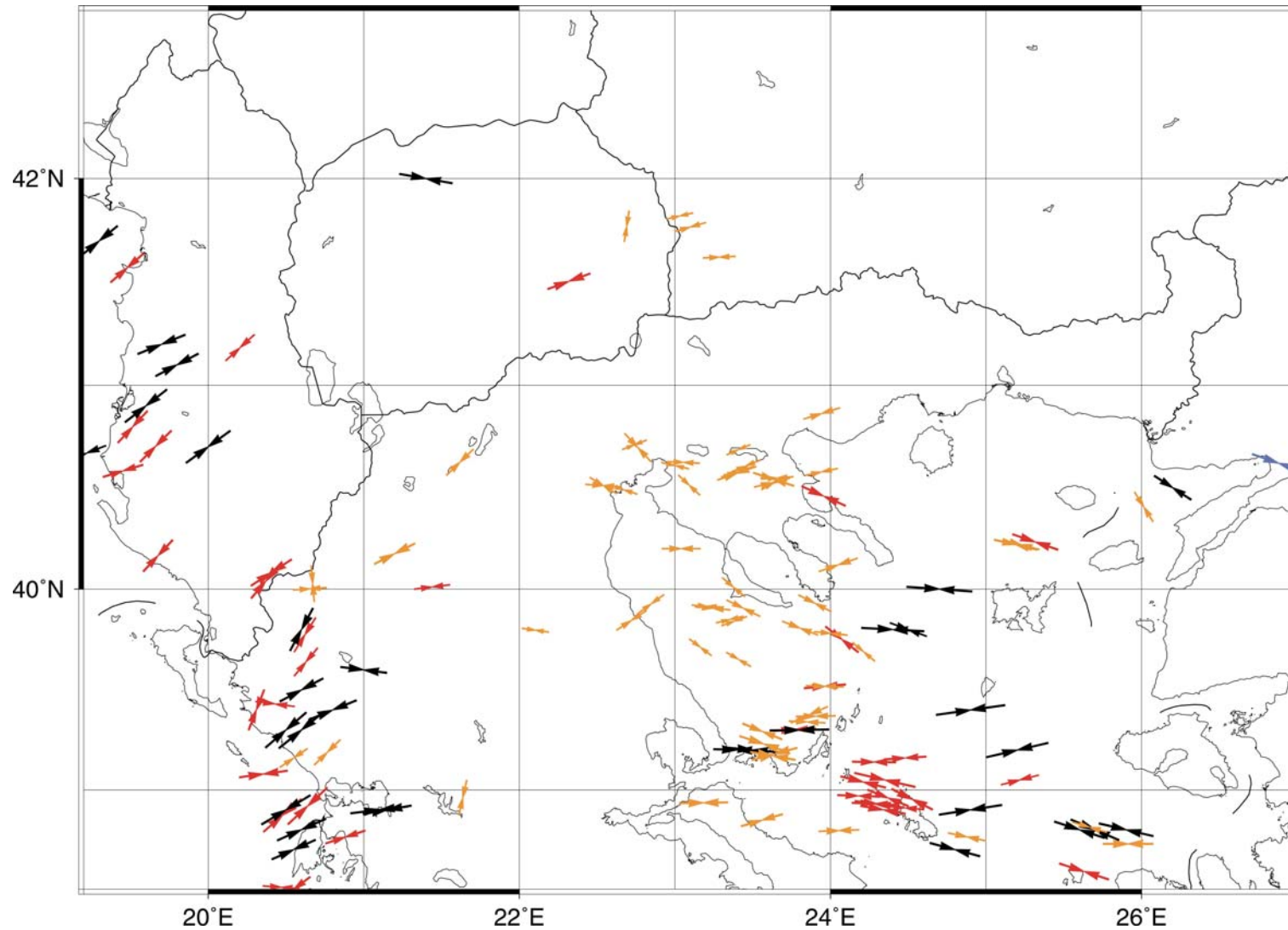
Σχήμα 19. Μηχανισμοί γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου μετά την προσθήκη των νέων στοιχείων που υπολογίστηκαν και συλλέχθηκαν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου.



Σχήμα 20. Άξονες T των μηχανισμών γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου, όπως παρουσιάζονται στον κατάλογο των Papazachos and Papazachou (2002).



Σχήμα 21. Άξονες T των μηχανισμών γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου μετά την προσθήκη των νέων στοιχείων που υπολογίστηκαν και συλλέχθηκαν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου.



Σχήμα 22. Άξονες P των μηχανισμών γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου μετά την προσθήκη των νέων στοιχείων που υπολογίστηκαν και συλλέχθηκαν στα πλαίσια του παρόντος ερευνητικού έργου.

2.3. Καθορισμός πεδίου τάσεων με τη χρήση σεισμολογικών δεδομένων

Για τον καθορισμό του πεδίου των τάσεων στην περιοχή μελέτης με τη χρήση σεισμολογικών δεδομένων κρίθηκε σκόπιμο να χωριστεί ο χώρος σε επιμέρους τμήματα τα οποία θα χαρακτηρίζονται από μια σχετική ομοιογένεια στις τάσεις, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο αντιπροσωπευτικά. Ένας τέτοιος διαχωρισμός εφαρμόστηκε αρχικά με αυτοματοποιημένο τρόπο σε όλη την περιοχή του ευρύτερου Βορειοελλαδικού χώρου. Για το λόγο αυτό ο χώρος ο οποίος επιλέχθηκε να χωριστεί σε ζώνες με μήκος και πλάτος μία μοίρα (1°), ενώ μεταξύ δυο διαδοχικών περιοχών να υπάρχει επικάλυψη μισής μοίρας (0.5°). Αποτέλεσμα του διαχωρισμού αυτού είναι ένα σύνολο από 120 διαδοχικά επικαλυπτόμενες ορθογώνιες ζώνες, στις οποίες μπορούμε να αναμένουμε ότι δεν παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια των τάσεων.

Για κάθε μια από τις ζώνες αυτές, που αντιμετωπίζεται ανεξάρτητα, υπολογίστηκε ένα αντιπροσωπευτικό μέσο πεδίο τάσεων, για τον καθορισμό του οποίου εφαρμόστηκαν δυο διαφορετικές μεθοδολογίες.

2.3.2. Μέθοδος των Papazachos and Kiratzi (1992)

Ο καθορισμός του πεδίου των τάσεων αρχικά εκτιμήθηκε με βάση τη θεωρία των Papazachos and Kiratzi (1992), σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται ένας τανυστής σεισμικής ροπής που ορίζεται από τη σεισμική ροπή M_0 και έναν παράγοντα F που αποτελεί συνάρτηση της παράταξης ξ , της διεύθυνσης ολίσθησης δ και της γωνίας ολίσθησης λ του αντίστοιχου επιπέδου του ρήγματος (Aki and Richards, 1980) σύμφωνα με τη σχέση :

$$M^n = M_0^n \square F^n(\xi, \delta, \lambda)$$

Κατά τους Papazachos and Kiratzi (1992) η παραπάνω σχέση μπορεί να επεκταθεί ώστε να προκύψει ένας «αντιπροσωπευτικός τανυστής μηχανισμού γένεσης» \overline{F} που συνδέεται

με τον ετήσιο τανυστή του ρυθμού σεισμικής ροπής \dot{M} και το μέγεθος του ετήσιου ρυθμού σεισμικής ροπής \dot{M}_0 , ακολουθώντας τη σχέση:

$$\dot{M} = \dot{M}_0 \bar{F}$$

Με τον καθορισμό αυτού του αντιπροσωπευτικού τανυστή υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αξόνων συμπίεσης και εφελκυσμού με βάση τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί για κάθε μια από τις περιοχές

2.3.2. Μέθοδος των Gephart and Forsyth (1984) και Gephart (1990a).

Συμπληρωματικά, για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του πεδίου των τάσεων και η μέθοδος αντιστροφής του τανυστή τάσης των Gephart and Forsyth (1984) και Gephart (1990a), η οποία βρίσκει θεωρητικό υπόβαθρο στην εργασία του Bott (1959), και αργότερα των Angelier et al. (1982) και η οποία δέχεται ότι η ολίσθηση σε ένα ρήγμα λαμβάνει χώρα στην προβολή της τάσης πάνω στο επίπεδο του ρήγματος. Εκτός από αυτή την πρόταση, η θεωρία της αντιστροφής οικοδομήθηκε πάνω σε ακόμα δύο βασικές υποθέσεις που δέχονται ότι οι σεισμοί προέρχονται από διαρρήξεις σε προϋπάρχοντα ρήγματα και ότι οι τάσεις που εφαρμόζονται σε δεδομένο όγκο είναι ομοιόμορφες με το χρόνο.

Βασικός σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να βρεθεί το ιδανικό εκείνο μοντέλο των τάσεων που συνδυάζεται καλύτερα με τους υπό μελέτη μηχανισμούς γένεσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο προσανατολισμός των επιπέδων των ρηγμάτων και η διεύθυνση ολίσθησης από αρκετούς μηχανισμούς γένεσης σεισμών, ώστε να καθορίσει το ιδανικότερο τοπικό πεδίο των τάσεων. Οι διευθύνσεις των κυρίων αξόνων τάσης (σ_1 , σ_2 και σ_3) καθώς και τα σχετικά τους σφάλματα καθορίζονται με τη μέθοδο της αντιστροφής, ενώ υπολογίζεται και μια ποσότητα που αποτελεί μέτρο του μεγέθους των τάσεων αυτών. Η ποσότητα αυτή, R, ορίζεται ως ο λόγος $(\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$ των διαφορών των τάσεων, θεωρώντας ομογενείς τάσεις στην περιοχή της εστίας.

Η τάση είναι ένας συμμετρικός τανυστής 2^{ης} τάξης που περιγράφεται από 9 παραμέτρους, 6 από τις οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή θεωρεί

ότι η μία παράμετρος περιγράφει την υδροστατική πίεση, η οποία λόγω συμμετρικής εφαρμογής δε δρα ως τάση παραμόρφωσης του σώματος. Το γεγονός ότι δεν μας απασχολούν τα μεγέθη των τάσεων, παρά μόνο οι λόγοι αυτών, καθώς υπό μελέτη είναι μόνο οι διευθύνσεις της ολίσθησης, μειώνει κατά ένα ακόμα τον αριθμό των παραμέτρων που χρειαζόμαστε. Συνεπώς η μέθοδος αυτή απαιτεί τη γνώση μόνο 4 παραμέτρων του ταυυστή τάσης, οι οποίες είναι εύκολο να περιγραφούν με τις διευθύνσεις των τριών κύριων αξόνων τάσης (σ_1 , σ_2 και σ_3) και την ποσότητα R , που ορίζει το μέγεθος της τάσης σ_2 συναρτήσει των άλλων δύο.

Κάθε συνδυασμός τιμών για τις τέσσερις αυτές παραμέτρους αποτελεί ένα μοντέλο τάσεων. Από όλα τα πιθανά μοντέλα τάσεων που προκύπτουν, εκείνο το οποίο προβλέπει καλύτερα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του παρατηρούμενου στο ύπαιθρο ρήγματος (πραγματικό επίπεδο ρήγματος) θεωρείται ως το ιδανικό, “optimum” μοντέλο τάσεων. Εάν λοιπόν οι διευθύνσεις των κυρίων αξόνων τάσης, η παράμετρος R και ο προσανατολισμός του ρήγματος είναι γνωστά, τότε μπορούμε να εφαρμόσουμε τη μέθοδο της αντιστροφής. Έτσι, υπολογίζεται η προβλεπόμενη τιμή για τη διεύθυνση ολίσθησης η οποία συγκρίνεται με την παρατηρούμενη στο ύπαιθρο διεύθυνση, ώστε να ελεγχθεί η ορθότητα του μοντέλου. Έχοντας στη διάθεση μας αρκετούς μηχανισμούς γένεσης μπορούμε να εντοπίσουμε ένα μοντέλο τάσεων που να είναι συμβατό με όλες τις διευθύνσεις ολίσθησης και το οποίο ελαχιστοποιεί τις διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων στη φύση και προβλεπόμενων από το μοντέλο διευθύνσεων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στόχος κάθε αντιστροφής είναι καθορίζοντας τις τέσσερις καταλληλότερες παραμέτρους του μοντέλου (σ_1 , σ_2 , σ_3 και R), να ελαχιστοποιήσει την απόκλιση μεταξύ ενός συνόλου παρατηρήσεων και αυτών που προβλέπει το μοντέλο των τάσεων. Στην πράξη, οι ποσότητες οι οποίες συγκρίνονται είναι η παρατηρούμενη πάνω στο ρήγμα διεύθυνση ολίσθησης και εκείνη που προβλέπεται από το εκάστοτε μοντέλο τάσεων. Η γωνία που σχηματίζουν οι διευθύνσεις των δύο αυτών ποσοτήτων ονομάζεται απόκλιση F (*misfit*) και μετριέται σε μοίρες. Η απόκλιση F εκφράζεται με μια γωνιακή περιστροφή (*rotation*) γύρω από τυχαίο άξονα και είναι η ελάχιστη περιστροφή που κάνει την ολίσθηση σε ένα από τα δύο επίπεδα να ταυτίζεται με την διεύθυνση της προβολής της τάσης στο επίπεδο του ρήγματος (shear stress).

Κατά συνέπεια και σύμφωνα με τα παραπάνω, ο καταλληλότερος τανυστής τάσης για την ομάδα των μηχανισμών γένεσης μπορεί να θεωρηθεί ως ο τανυστής τάσης που αντιστοιχεί στην ελάχιστη μέση περιστροφή, ενώ το αντίστοιχο επίπεδο του μηχανισμού γένεσης ως το κύριο επίπεδο ρήγματος. Οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα αντιστροφής του τανυστή τάσης FMSI (Gephart, 1990b)

2.3.3. Χωρική κατανομή του πεδίου τάσεων

Τόσο τα εξαγόμενα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου των Papazachos and Kiratzi (1992), όσο και εκείνα από την εφαρμογή της μεθόδου αντιστροφής των τάσεων των Gephart and Forsyth (1984) και Gephart (1990a,b) παρουσιάζονται συγκριτικά για τους άξονες P και T στο σχήμα (23). Με πράσινο και κόκκινο χρώμα, για τις μεθόδους των Papazachos and Kiratzi (1992) και Gephart and Forsyth (1984) αντίστοιχα, έχουμε την εμφάνιση των αξόνων εφελκυσμού, ενώ με μαύρο χρώμα και στις δυο περιπτώσεις εμφανίζονται οι άξονες συμπίεσης. Η θέση στην οποία παρουσιάζονται τα ζεύγη των αξόνων αποτελεί το μέσο επίκεντρο των σεισμών που αποτελούν το σύνολο των δεδομένων για κάθε μια από τις περιοχές στις οποίες χωρίστηκε ο ευρύτερος Βορειοελλαδικός χώρος.

Η σύγκριση των δυο μεθόδων δείχνει αρκετά καλή ομοιότητα στα αποτελέσματα στις περισσότερες των περιοχών, αλλά και κάποιες διαφορές, οι οποίες σε κάθε περίπτωση δεν ξεπερνούν τις 20°. Οι διαφορές αυτές προφανώς σχετίζονται με ύπαρξη ανομοιογενών τάσεων που εντοπίζονται σε μία περιοχή, όπως αυτή ορίστηκε με τον αυτοματοποιημένο τρόπο χωρισμού χρησιμοποιώντας τις διαστάσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως. Παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις πιθανών οφείλονται στην έλλειψη δεδομένων σε ορισμένες περιοχές. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να γίνει νέος διαχωρισμός σε περιοχές οι οποίες έχουν επιλεγεί με κριτήριο την ομοιογένεια των τάσεων αλλά και την ύπαρξη ικανού αριθμού δεδομένων. Έτσι έγινε χωρισμός της περιοχής μελέτης σε διακριτές περιοχές με όρια τα οποία καθορίστηκαν με βάση την ομοιομορφία των μηχανισμών (και κατ' επέκταση του πεδίου των τάσεων) τόσο σε σχέση με το είδος των μηχανισμών γένεσης όσο και σε σχέση με τη διεύθυνση των κυρίων αξόνων τάσης. Στο σχήμα

(24) παρουσιάζονται οι 20 ζώνες στις οποίες τελικά χωρίστηκε η περιοχή μελέτης, καθώς και οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών που έχουν χρησιμοποιηθεί. Η εξέταση του σχήματος δείχνει ότι αν και πρόκειται για σχετικά εκτενείς περιοχές, οι μηχανισμοί γένεσης παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα και παρόμοιους άξονες τάσης. Έτσι, έχουμε σαφείς διαχωρισμούς περιοχών με ανάστροφα ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (π.χ. ζώνες 1, 2), περιοχών κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (π.χ. ζώνες 5, 6), περιοχών με κανονικά ρήγματα γενικά Α-Δ (π.χ. ζώνες 9, 10, 12, 13), καθώς και περιοχών με ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (π.χ. ζώνες 3, 15, 18, 19).

Για τις 20 αυτές ζώνες του σχήματος (24) ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία με αυτή του σχήματος (23) (αυτόματος χωρισμός περιοχών) και τα αποτελέσματα σε σχέση με τους κύριους άξονες τάσης παρουσιάζονται στο σχήμα (25). Εξέταση του σχήματος (25) δείχνει ότι στην δεύτερη περίπτωση όπου τα όρια των ζωνών καθορίστηκαν με υποκειμενικά κριτήρια (σχήμα 24) παρατηρείται πολύ καλύτερη ταύτιση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων που εφαρμόστηκαν σε σχέση με εκείνη των αυτόματα καθορισμένων ζωνών (σχήμα 23). Κατά συνέπεια, η χωρική ομαδοποίηση των μηχανισμών με βάση τα κοινά τους χαρακτηριστικά οδηγεί σε μια αντιπροσωπευτικότερη εικόνα της χωρικής κατανομής του πεδίου των τάσεων.

Το σχήμα (25) συνοψίζει τα βασικά στοιχεία σε σχέση με τον καθορισμό του πεδίου των τάσεων με σεισμολογικά στοιχεία στον Βόρειο Ελληνικό χώρο. Παρατηρούμε ότι στην Κεντρική και τμήμα της Ανατολικής Μακεδονίας (ζώνες 12,13,14) καθώς και στην κεντρική Θεσσαλία (ζώνες 9 και 10) έχουμε την εμφάνιση ενός κυρίαρχου εφελκυσμού με διεύθυνση περίπου Β-Ν, όπως αυτός προσδιορίζεται και με τις δύο μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν. Ο εφελκυσμός αυτός αντιστοιχεί σε ρήγματα με γενική κατεύθυνση Α-Δ, όπως αυτά προσδιορίζονται από τους μηχανισμούς γένεσης, την κατανομή της σεισμικότητας αλλά και τα νεοτεκτονικά στοιχεία που παρουσιάζονται σε άλλη ενότητα. Αντίθετα στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (ζώνες 18, 19, 20) έχουμε την εμφάνιση ΒΒΑ-ΝΝΔ εφελκυσμού και ΔΒΔ-ΑΝΑ συμπίεσης που αντιστοιχούν κατά κύριο στα δεξιόστροφα ρήγματα παράταξης με διεύθυνση ~ΒΑ-ΝΔ της περιοχής, αλλά και σε μερικά ΒΔ-ΝΑ αριστερόστροφα ρήγματα (π.χ. πρόσφατος σεισμός Σκύρου). Και εδώ όμως, προς την ηπειρωτική Ελλάδα ο εφελκυσμός αποκτά διεύθυνση περίπου Β-Ν (ζώνες 11 και 15).

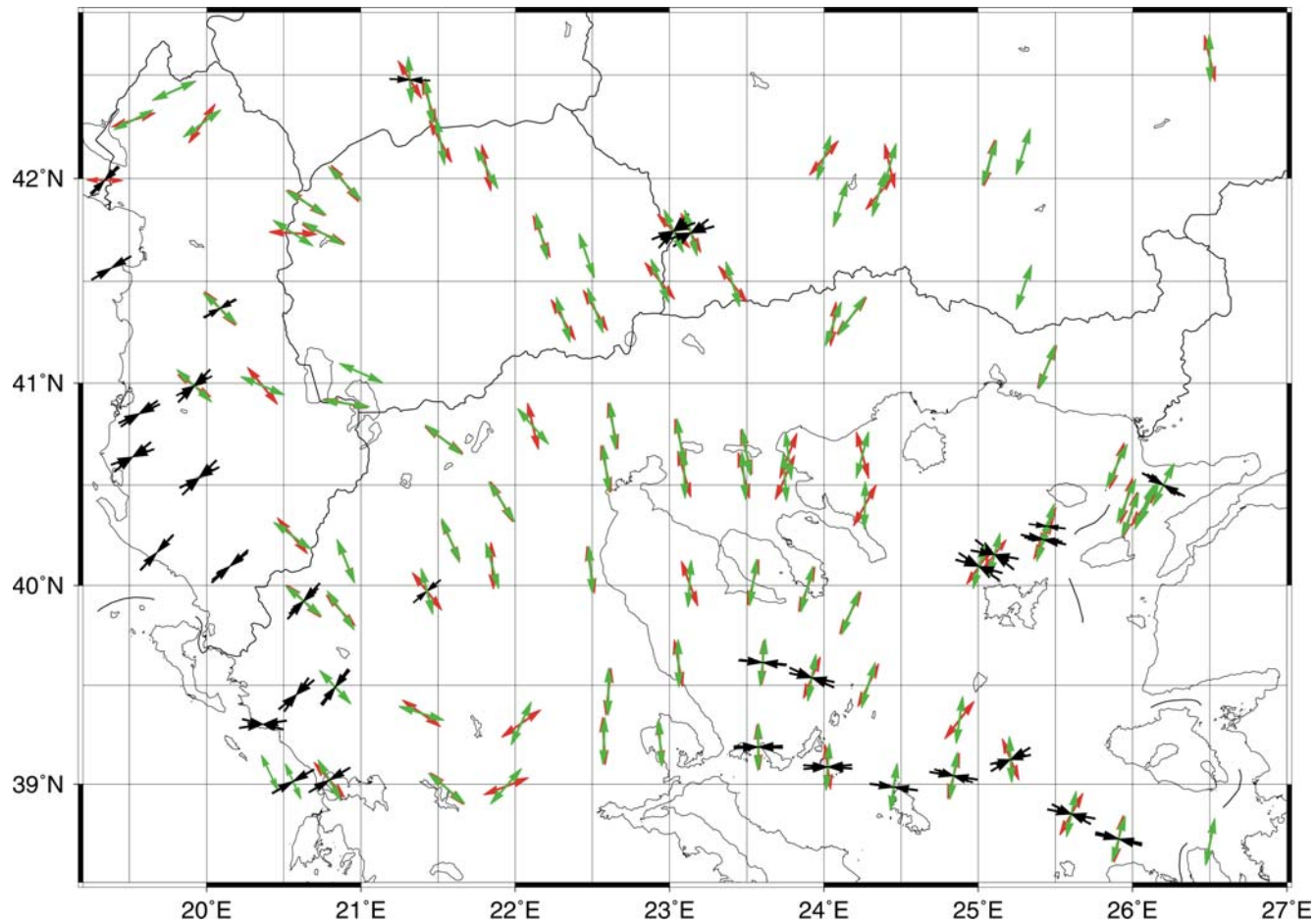
Στην περιοχή της Θράκης και της Ανατολικής Μακεδονίας (ζώνη 17) δέν υπάρχουν διαθέσιμα σημαντικά στοιχεία από τους μηχανισμούς γένεσης. Μεμονωμένοι όμως μηχανισμοί γένεσης (σχήμα 21), καθώς και τα στοιχεία από την περιοχή της Ν. Βουλγαρίας (ζώνη 16) σε συνδυασμό με τη διεύθυνση εφελκυσμού στη ζώνη 18 δείχνουν μία επίσης BBA-NNA διεύθυνση, η οποία φαίνεται να διαφοροποιείται απότομα και όχι σταδιακά ανατολικά περίπου του γεωγραφικού μήκους 24°. Έτσι παρόλο που οι μηχανισμοί γένεσης δείχνουν ότι τα ρήγματα στην περιοχή εμφανίζονται με διευθύνσεις περίπου Α-Δ, ο εφελκυσμός είναι σχετικά πλαγιο-κανονικός, οδηγώντας σε δεξιόστροφη συνιστώσα ολίσθησης.

Με παρόμοιο τρόπο πραγματοποιείται η μεταβολή του πεδίου των τάσεων από περίπου Β-Ν σε BBA-NNA στη Δυτική Μακεδονία (ζώνη 8) και την περιοχή FYROM-Κρέσνας. Η αλλαγή αυτή, που αντανακλάται και στα ρήγματα με απότομη μετάβαση από ρήγματα περίπου Α-Δ σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, φαίνεται σε πολλά σημεία και στη σεισμικότητα. Για παράδειγμα, στο σχήμα (3) είναι εμφανής η αλλαγή διεύθυνσης της σεισμικότητας από Α-Δ στην περιοχή Θεσ/νίκης-Ανθεμόντα σε ΒΑ-ΝΔ στην περιοχή της Βέροιας. Οι αλλαγές αυτές σχολιάζονται αναλυτικά κατά την εξέταση της γεωμετρίας των νεοτεκτονικών ρηγμάτων σε επόμενη ενότητα.

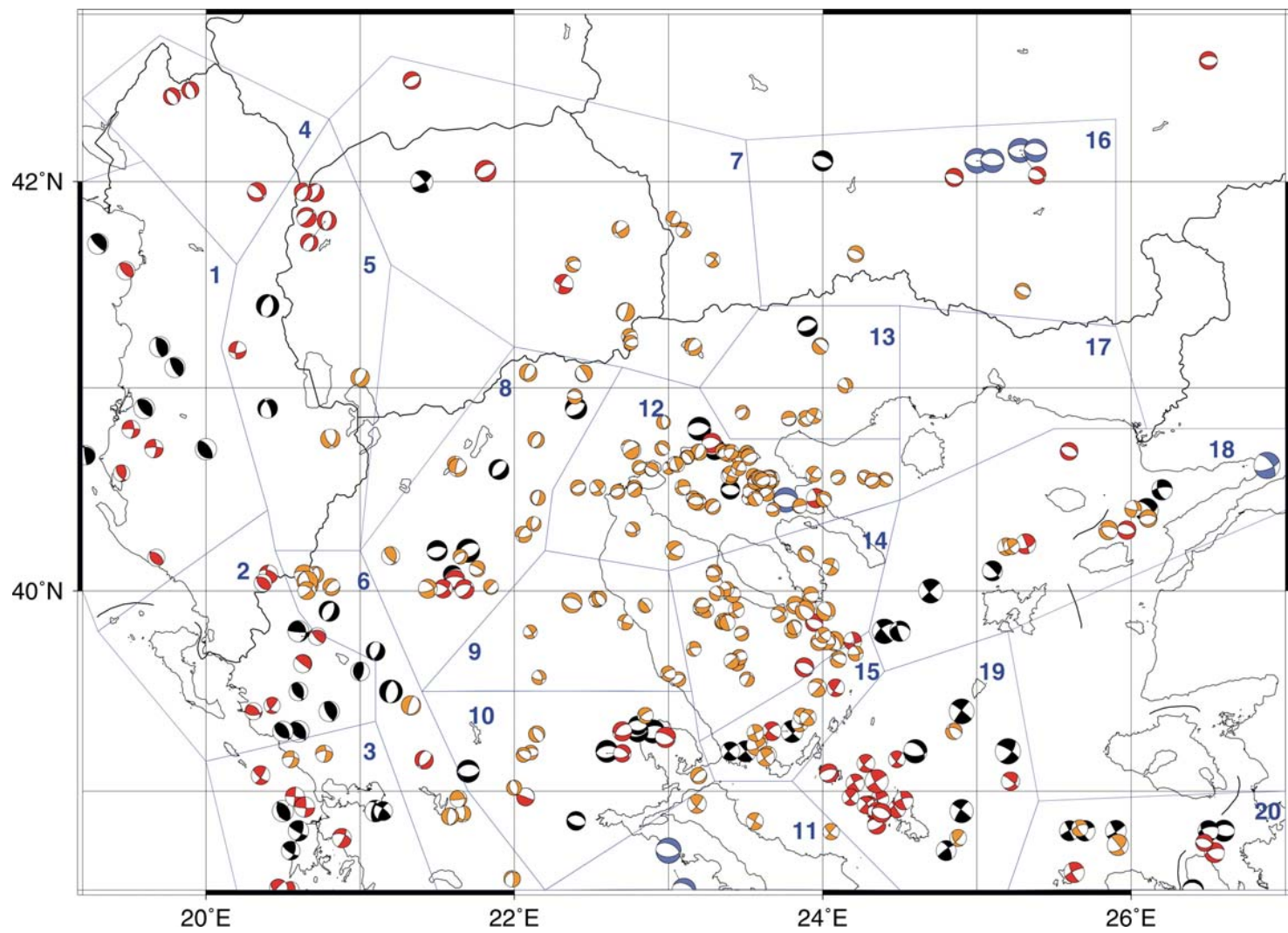
Η εικόνα του πεδίου τάσεων συμπληρώνεται από τη ζώνη με διεύθυνση περίπου Α-Δ έως ΑΝΑ-ΔΒΔ στην περιοχή των Αλβανίδων οροσειρών (λίμνες Οχρίδα και Πρέσπες) με ρήγματα περίπου Β-Ν (ζώνη 5) τα οποία συνεχίζουν προς το Νότο στις Ελληνίδες οροσειρές (ζώνη 6). Η ζώνη αυτή, η οποία έχει εντοπιστεί εδώ και 20 περίπου έτη (Papazachos et al., 1984) σε σημαντικό αριθμό εργασιών, επιβεβαιώνεται και ενισχύεται από τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, όπου και ορίζονται τα ακριβή γεωγραφικά της όρια. Τέλος, στο δυτικό τμήμα του χώρου μελέτης έχουμε την εμφάνιση της ΒΑ-ΝΔ συμπίεσης κατά μήκος των ακτών τη Αλβανίας και ΒΔ Ελλάδας, με την εμφάνιση ανάστροφων ρηγμάτων (ζώνες 1 και 2), τα οποία μεταπίπτουν σε ρήγματα μετασχηματισμού στην περιοχή της Λευκάδας (ζώνη 3) πλησιάζοντας το σημαντικό δεξιόστροφο ρήγμα της Κεφαλονιάς (Scordilis et al., 1985).

Πρέπει να επισημανθεί ότι ο χωρισμός που παρουσιάζεται στο σχήμα (24) οδηγεί σε μία υπεραπλούστευση των πληροφοριών που παρουσιάζονται στα σχήματα (19), (21) και (22). Είναι εμφανές ότι στα σχήματα αυτά παρουσιάζονται σημαντικές τοπικές

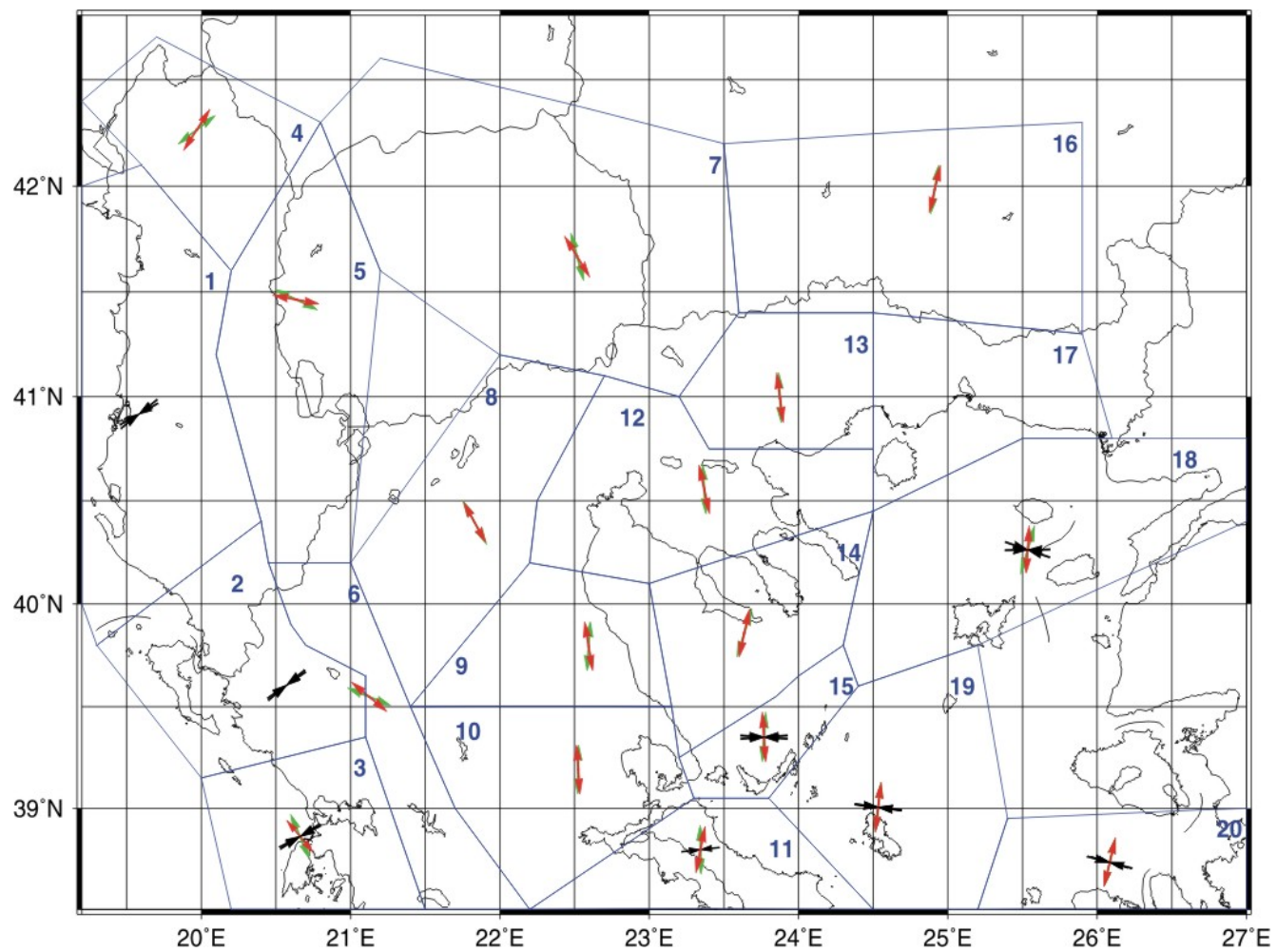
λεπτομέρειες, οι οποίες «εξαφανίζονται» από την επεξεργασία του σχήματος (24). Για παράδειγμα, από το σχήμα (21) είναι εμφανές ότι η ζώνη του ΒΔ-ΝΑ εφελκυσμού της Δυτικής Μακεδονίας (ζώνη 8) συνεχίζει και «διαπερνά» τη ζώνη εφελκυσμού Α-Δ (ζώνη 6), φτάνοντας ακόμη δυτικότερα στα όρια της περιοχής των ανάστροφων και δεξιόστροφων ρηγμάτων της Δυτικής Ελλάδας και της Λευκάδας. Η διασταύρωση αυτή φαίνεται χαρακτηριστικά στην περιοχή της Κόνιτσας, όπου είναι συγχρόνως εμφανείς και οι δύο σχεδόν κάθετες διευθύνσεις εφελκυσμού. Κατά συνέπεια ο χωρισμός του σχήματος (24), αν και περιέχει σημαντικές πληροφορίες για το τρόπο μεταβολής του πεδίου των τάσεων, πρέπει να θεωρηθεί ως ενδεικτικός και απλουστευτικός.



Σχήμα 23. Μέσοι άξονες T και P των μηχανισμών γένεσης του Βόρειου Ελληνικού χώρου για κάθε μια από τις επιμέρους περιοχές διαστάσεων $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Με πράσινα βέλη παρουσιάζονται οι άξονες T με βάση τη μέθοδο των Papazachos and Kiratzi (1992) ενώ με κόκκινα οι άξονες T με βάση τη μέθοδο των Gerhart and Forsyth (1984). Τέλος, με μαύρα βέλη παρουσιάζονται οι άξονες P και για τις δυο μεθόδους.



Σχήμα 24. Διαχωρισμός του Βόρειου Ελληνικού χώρου σε 20 ζώνες και μηχανισμοί γένεσης για κάθε μια από τις ζώνες αυτές .



Σχήμα 25. Μέσοι κύριοι άξονες τάσης (T ή P) για κάθε μια από τις 20 ζώνες στις οποίες διαχωρίστηκε η περιοχή μελέτης (τα σύμβολα ακολουθούν την παρουσίαση του σχήματος 24).

2.4. Καθορισμός ρηγμάτων με τη χρήση των αποτελεσμάτων αντιστροφής του πεδίου τάσης

Ο προσδιορισμός του τελικού μοντέλου του πεδίου των τάσεων βασίστηκε στις πληροφορίες που μας παρείχαν οι μηχανισμοί γένεσης που συλλέχθηκαν και υπολογίστηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Οι μηχανισμοί γένεσης καθορίζουν τα δύο ορικά επίπεδα του ρήγματος (κύριο και βοηθητικό) σε κάθε περίπτωση χωρίς όμως να γίνεται ο διαχωρισμός ποιο εξ' αυτών είναι το κύριο και ποιο το βοηθητικό επίπεδο του ρήγματος. Το πρόβλημα αυτό μπορεί μερικώς να επιλυθεί με τη μέθοδο των Gephart and Forsyth (1984) και Gephart (1990a), η οποία, όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, «προτείνει» ως κύριο επίπεδο του ρήγματος εκείνο το οποίο εμφανίζει την ελάχιστη απόκλιση (misfit) μεταξύ της παρατηρούμενης πάνω στο ρήγμα διεύθυνση ολίσθησης και εκείνης που προβλέπεται από το εκάστοτε μοντέλο τάσεων. Με τον τρόπο αυτό, το πρόγραμμα της αντιστροφής του πεδίου τάσεων δίνει μια τιμή απόκλισης για καθένα από τα δύο ορικά επίπεδα. Επιλέγοντας το επίπεδο το οποίο αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή απόκλισης προκύπτουν τα ρήγματα που «επιλέγονται» ως κύρια από τη η μέθοδος της αντιστροφής. Τα ρήγματα αυτά παρουσιάζονται για όλους τους μηχανισμούς γένεσης του χώρου μελέτης στο σχήμα (26), υιοθετώντας ως τελική τη λύση του πεδίου τάσεων που παρουσιάστηκε στο σχήμα (25). Αντίστοιχα, τα ρήγματα τα οποία «απορρίπτονται» από την αντιστροφή ως βοηθητικά, καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη τιμή απόκλισης παρουσιάζονται στο σχήμα (27). Σε όλα τα σχήματα, τα σεισμικά ρήγματα εμφανίζονται με το πραγματικό τους μήκος σύμφωνα με τη σχέση του Papazachos (1989):

$$\text{Log}L=0.51M_w-1.85$$

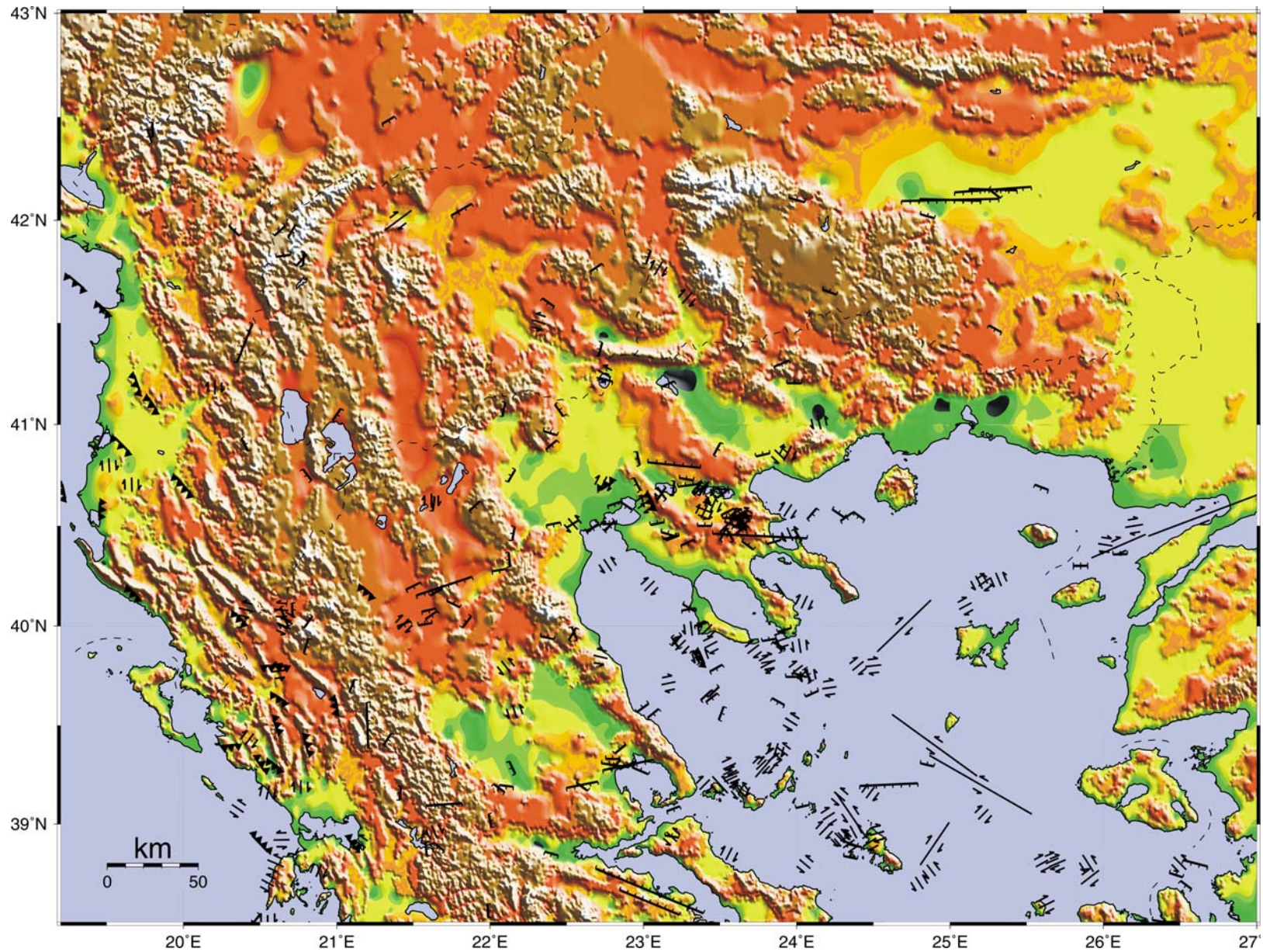
που συνδέει το μήκος του σειсмоγόνου ρήγματος, L (σε Km), με το μέγεθος του σεισμού, M_w για τον Ελληνικό χώρο. Εξαιρέση αποτελούν τα ρήγματα εκείνα που το μήκος τους υπολογίστηκε μικρότερο των 8 Km, τα οποία και εικονίζονται για γραφικούς λόγους με ελάχιστο μήκος 8 Km.

Τα σχήματα (28) έως και (33) παρουσιάζουν με λεπτομέρεια τα προτεινόμενα ως κύρια επίπεδα του ρήγματος από τη μέθοδο της αντιστροφής του πεδίου των

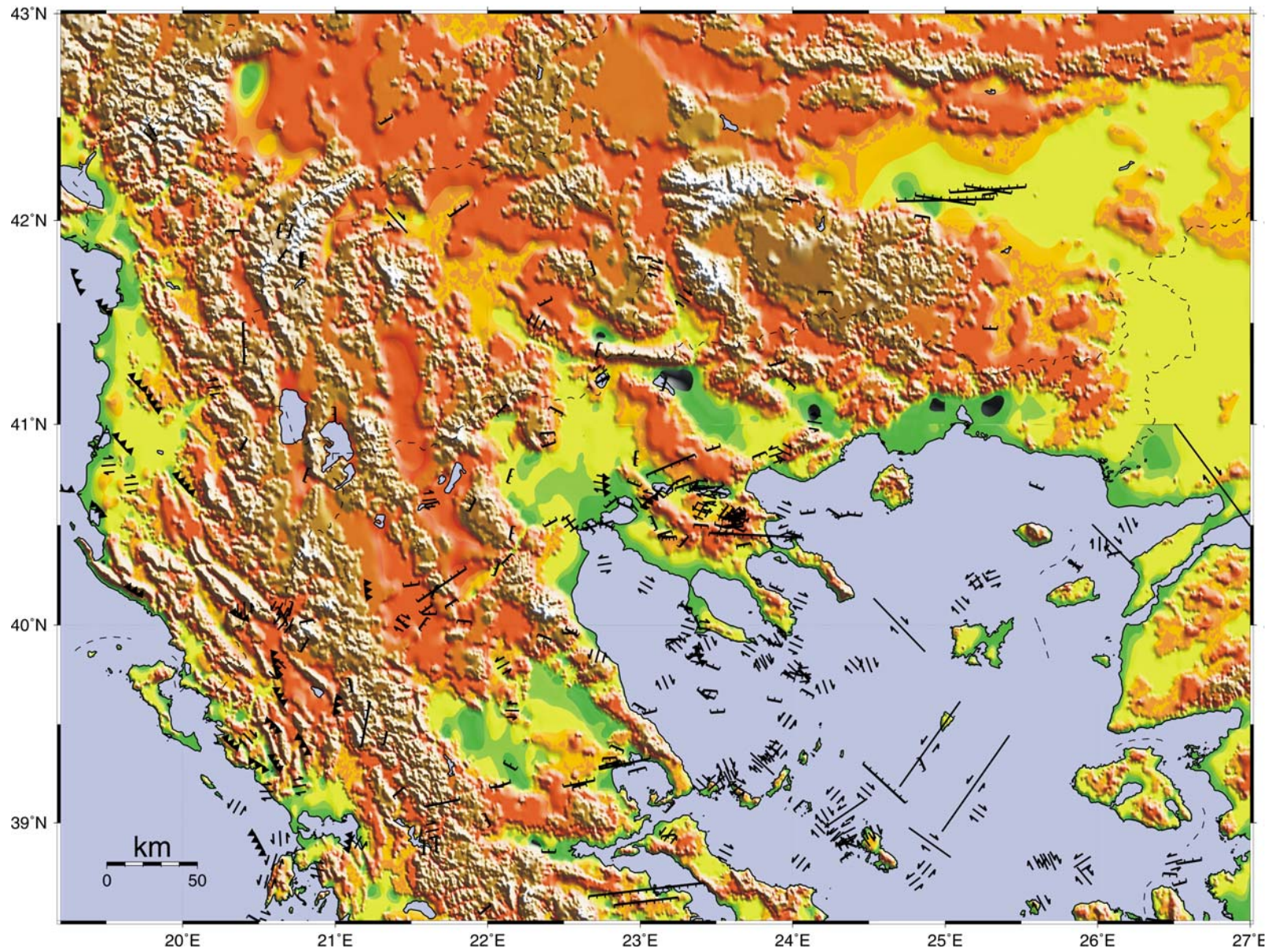
τάσεων (σχήματα α), αλλά και τα βοηθητικά επίπεδα (σχήματα β), με βάση την ίδια μέθοδο, έχοντας χωρίσει το χώρο έρευνας σε έξι (6) υποπεριοχές για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Είναι φανερό ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων τα εικονιζόμενα ως «επιλεγμένα» ρήγματα ταυτίζονται με τα πραγματικά παρατηρούμενα στο ύπαιθρο ρήγματα (όσα τουλάχιστον έχουν χαρτογραφηθεί ή εντοπιστεί) ή με τις αναμενόμενες διευθύνσεις των ρηγμάτων, όπως αυτές αποκαλύπτονται από την κατανομή της σεισμικότητας. Έτσι η μεθοδολογία φαίνεται να επιλέγει σωστά στο ΒΑ Αιγαίο (ρήγματα ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης), στην Αταλάντη (ΔΒΔ-ΑΝΑ ρήγματα), στη Σκύρο (ΝΔ-ΝΑ για το ρήγμα παράταξης και Α-Δ για το κανονικό ρήγμα ΒΑ της Σκύρου), Α-Δ στην περιοχή Κερκίνης, ΑΒΑ-ΔΝΔ για όλα τα ρήγματα στην περιοχή Κοζάνης.

Υπάρχουν όμως και αρκετές περιπτώσεις όπου τα μη επιλεγμένα ρήγματα είναι εκείνα που στην πραγματικότητα εμφανίζονται και τα οποία θα έπρεπε να επιλεγούν από την διαδικασία αντιστροφής. Αυτό συμβαίνει όταν έχουμε περιπτώσεις κανονικών ή ανάστροφων ρηγμάτων όπου έχουμε αντιθετικά ρήγματα τα οποία και τα δύο έχουν μικρή απόκλιση (*misfit*) μεταξύ της παρατηρούμενης πάνω στο ρήγμα διεύθυνση ολίσθησης και εκείνης που προβλέπεται από το εκάστοτε μοντέλο τάσεων, με αποτέλεσμα η επιλογή να μην αντανakλά κάποιο πραγματικό, αλλά ένα τεχνητό μαθηματικό φαινόμενο. Κάτι τέτοιο παρατηρείται σε αρκετά κανονικά ρήγματα αλλά και στα ανάστροφα ρήγματα της περιοχής Αλβανίας, όπου συχνά το επιλεγόμενο ρήγμα δεν είναι αυτό που κλίνει προς τα ΒΑ, όπως αναμένεται στην περιοχή αυτή.

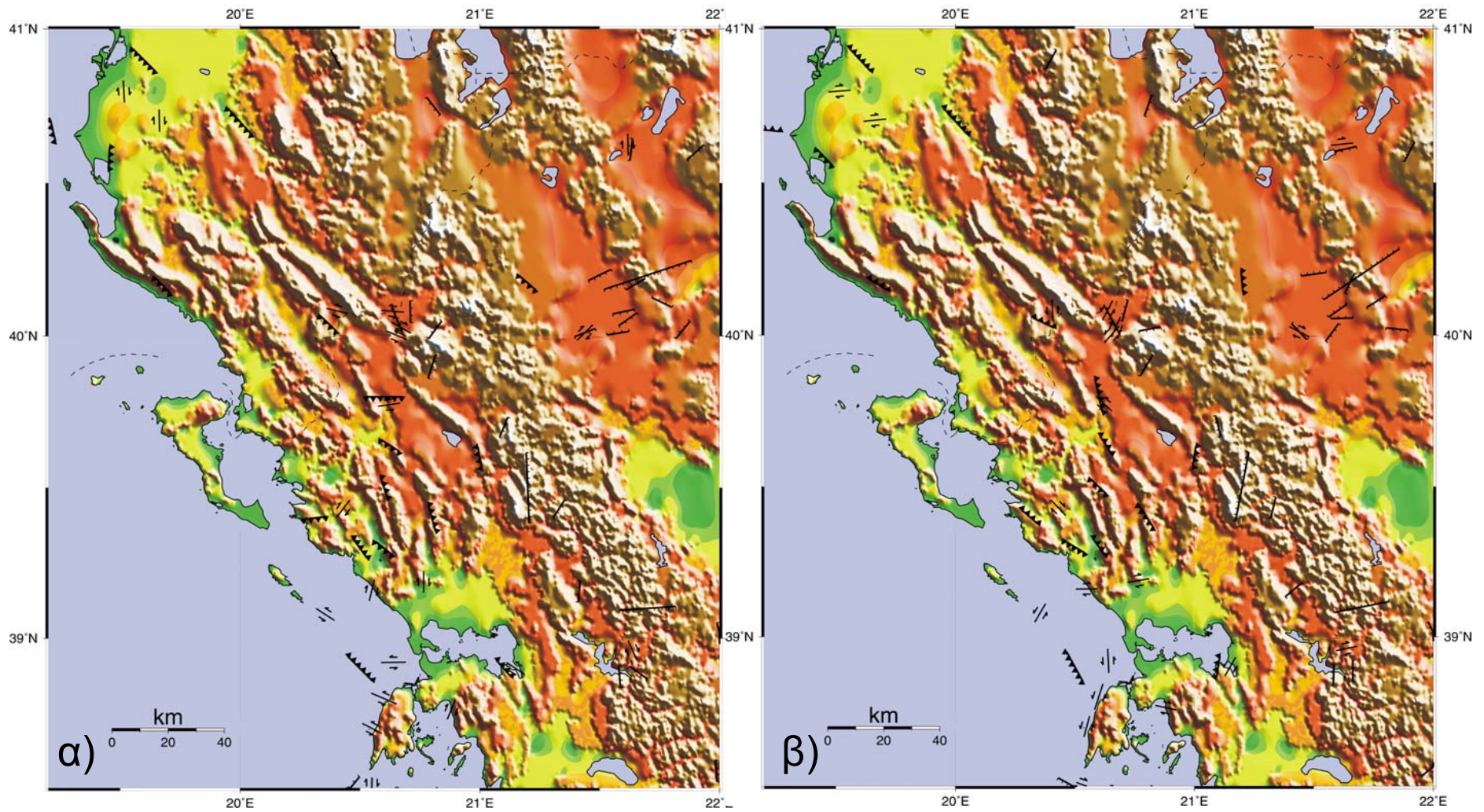
Β) Σπανιότερα η μέθοδος απλά αποτυγχάνει στην επιλογή του «σωστού» επιπέδου είτε λόγω μαθηματικών σφαλμάτων, είτε λόγω του τρόπου χωρισμού και ομαδοποίησης των περιοχών για τις οποίες αντιστρέφουμε για το πεδίο των τάσεων, είτε λόγω του ότι και τα δύο επίπεδα είναι αναμενόμενα και μπορεί να παρουσιαστεί ολίσθηση, όμως στην πραγματικότητα στη φύση μόνο σε ένα από αυτά (π.χ. λόγω προϋπάρχοντος ιστού) έχουμε τη γένεση των σεισμών. Μία τέτοια περίπτωση είναι τα δύο ΒΔ-ΝΑ ρήγματα του σχήματος (30), μεταξύ της Σκύρου και του Αγ. Ευστρατίου, αντί των αναμενόμενων από την κατανομή της σεισμικότητας ΒΑ-ΝΔ. Γενικά η μέθοδος φαίνεται να είναι επιτυχής σε ποσοστό περίπου 70%, ποσοστό που συμφωνεί με αποτελέσματα από τη σύγκριση ανάλογων δεδομένων με νεοτεκτονικά στοιχεία σε μικρότερες περιοχές (π.χ. περιοχή Μυγδονίας, Vamvakaris et al., 2003).



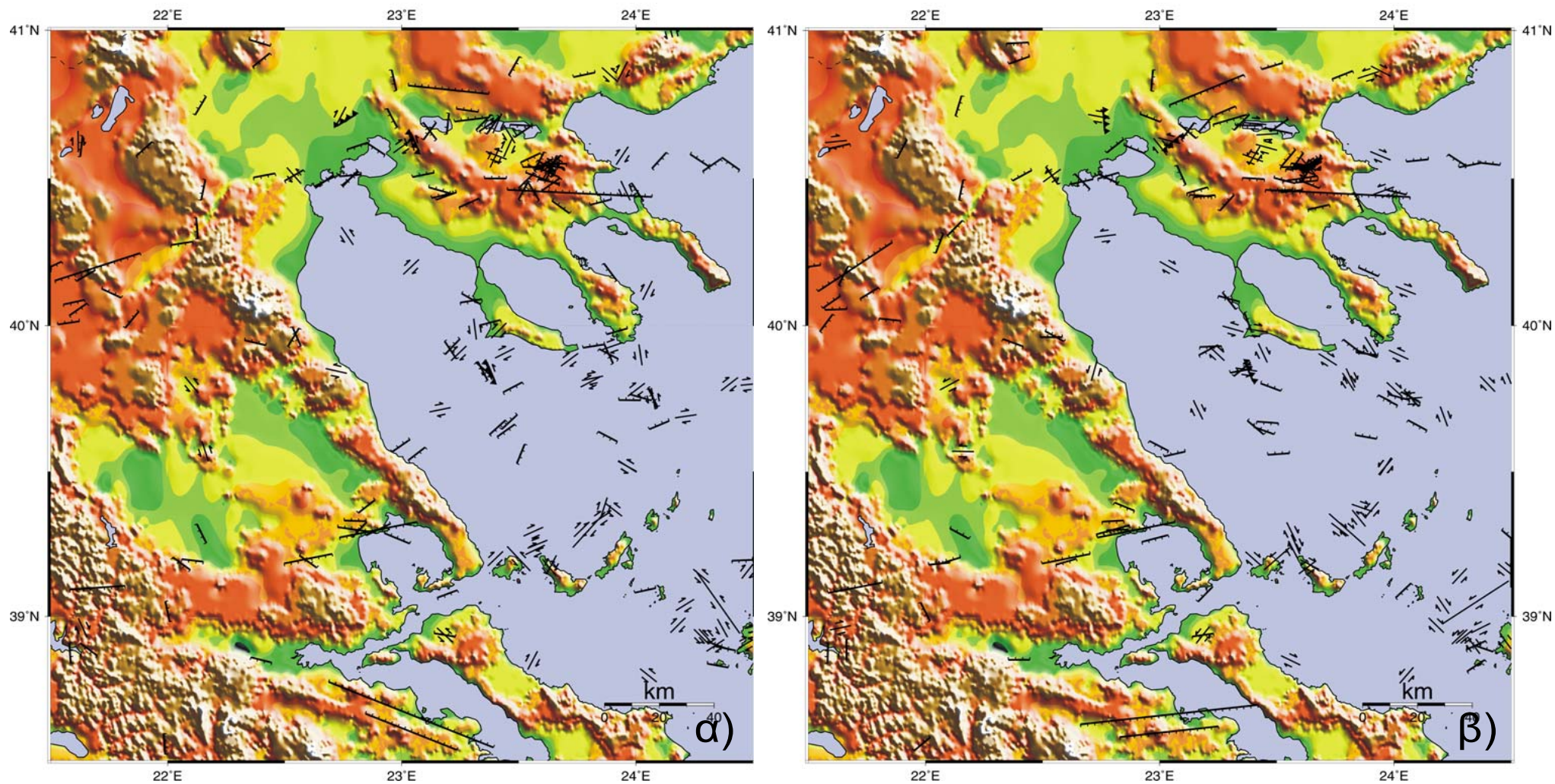
Σχήμα 26. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για τον Βόρειο Ελληνικό Χώρο



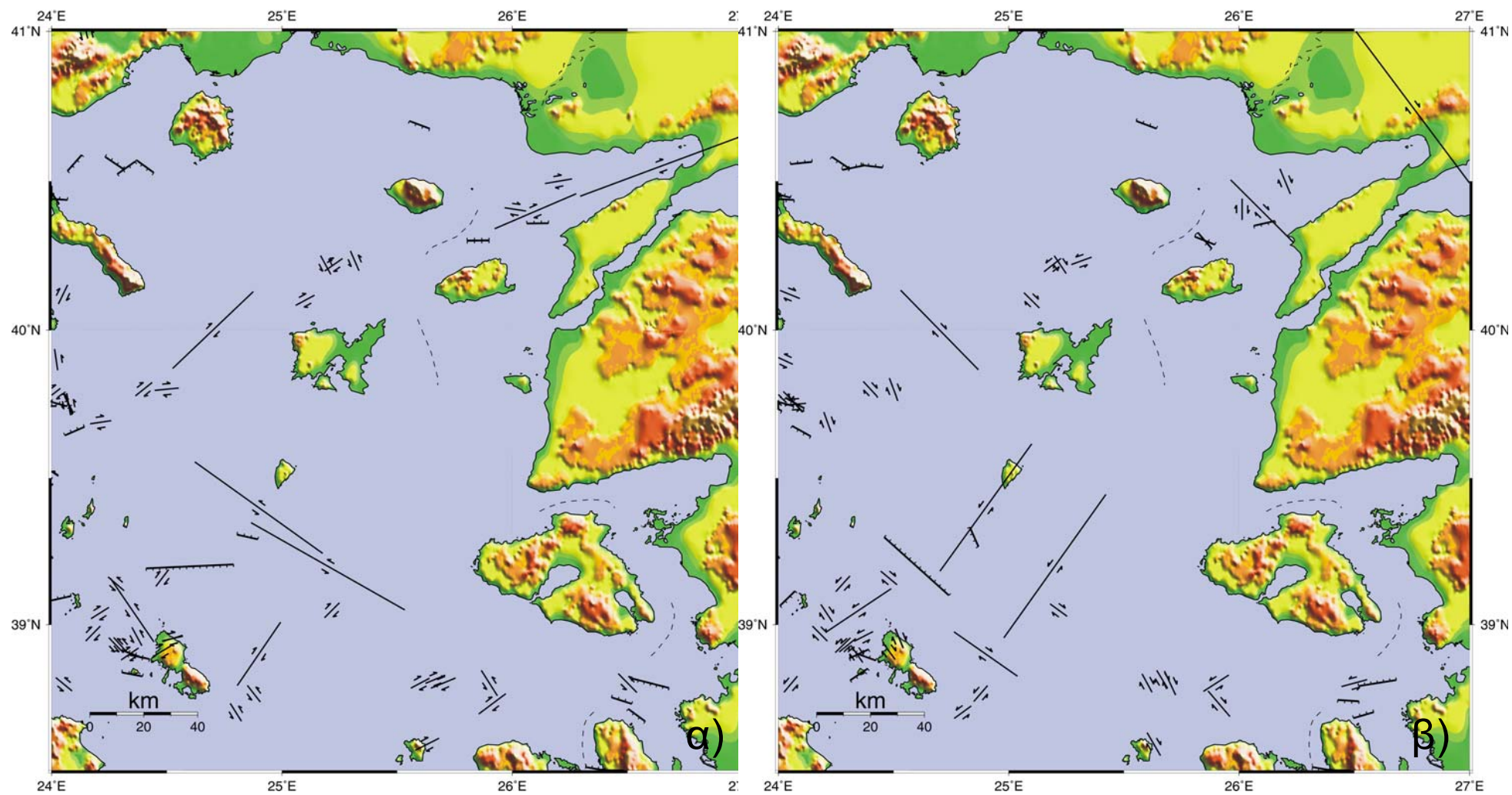
Σχήμα 27. Ρήγματα που «απορρίφθηκαν» με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για τον Βόρειο Ελληνικό Χώρο



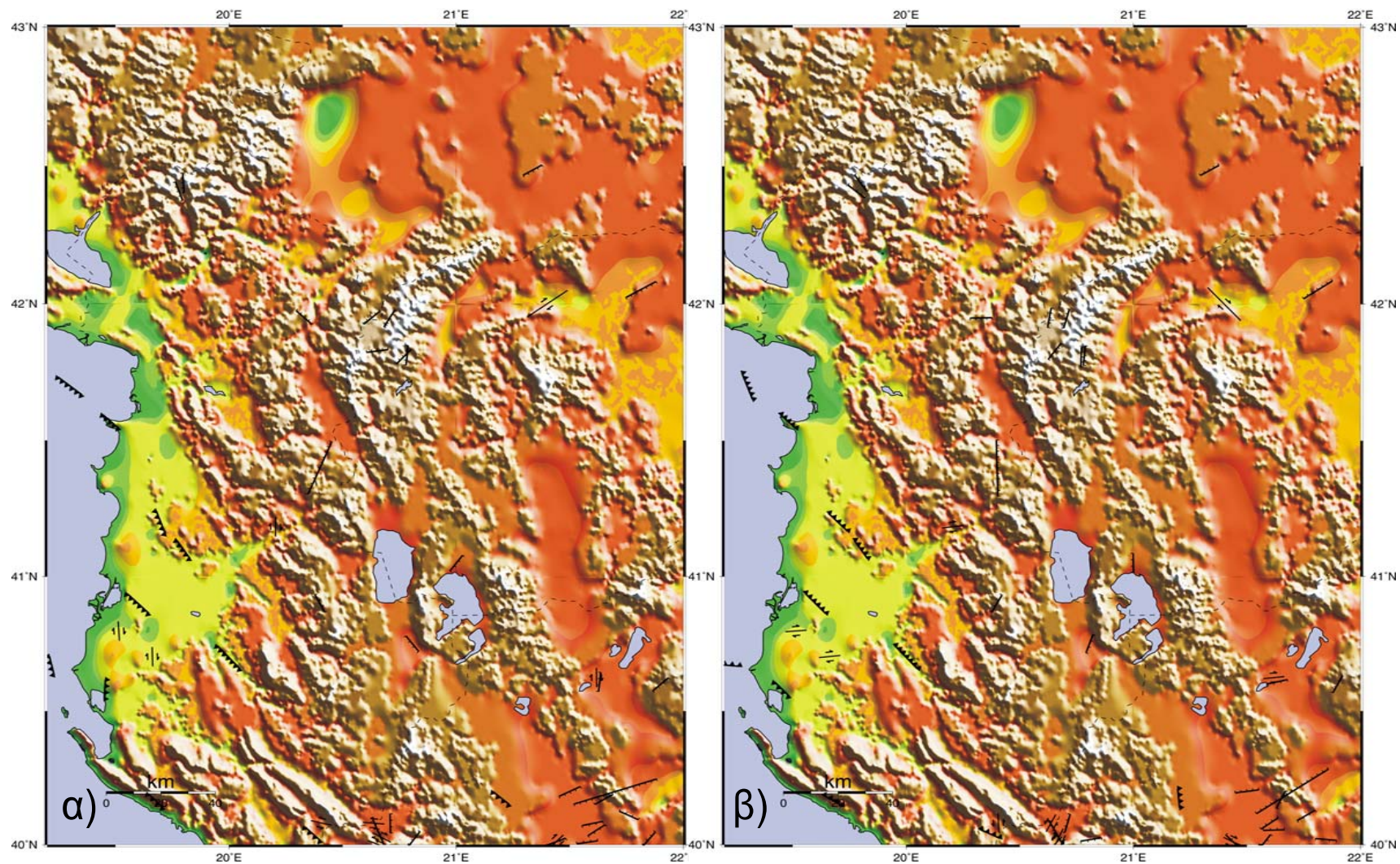
Σχήμα 28. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρίφθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το Νότιο-Δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



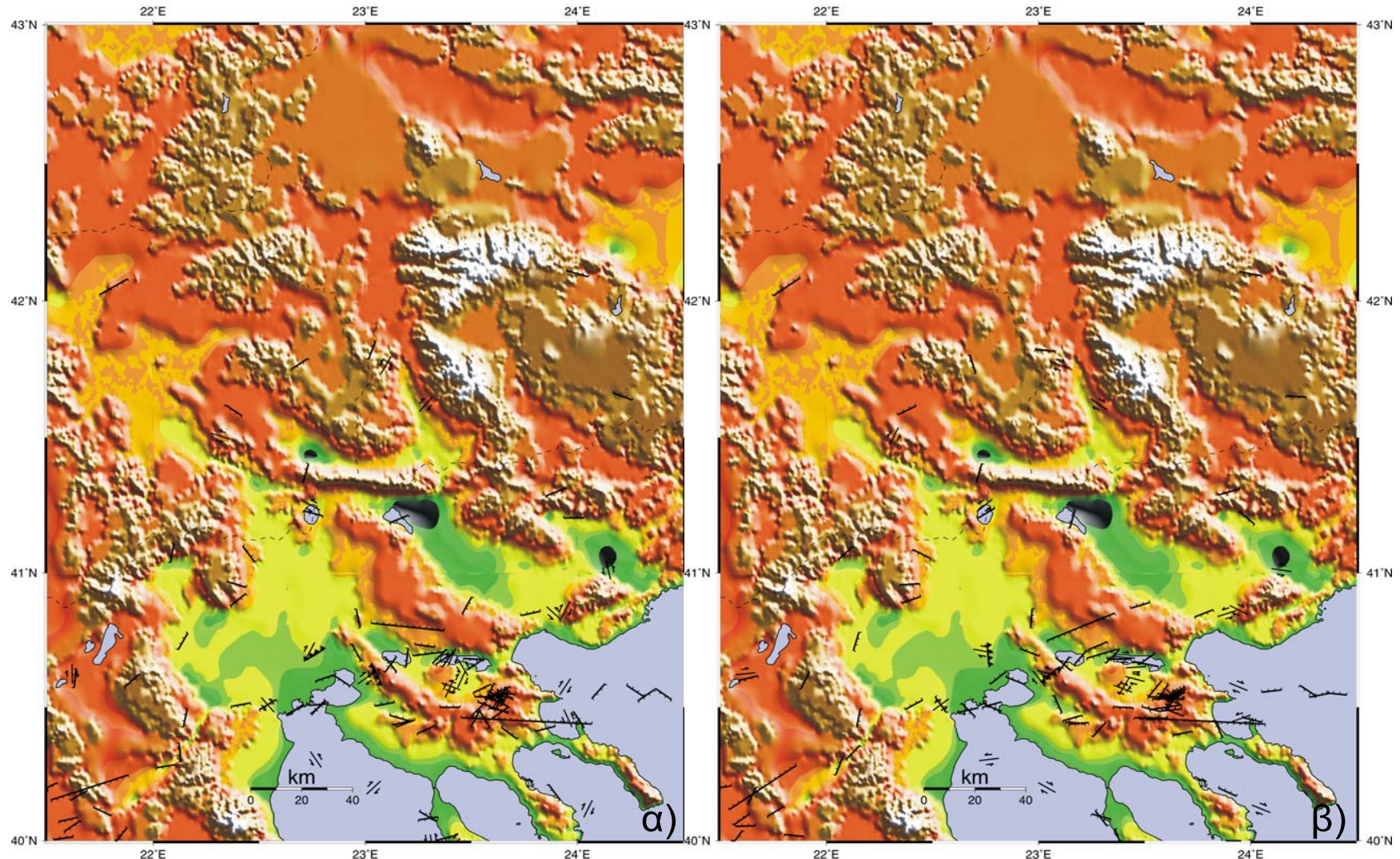
Σχήμα 29. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρίφθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το κεντρικό-Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης.



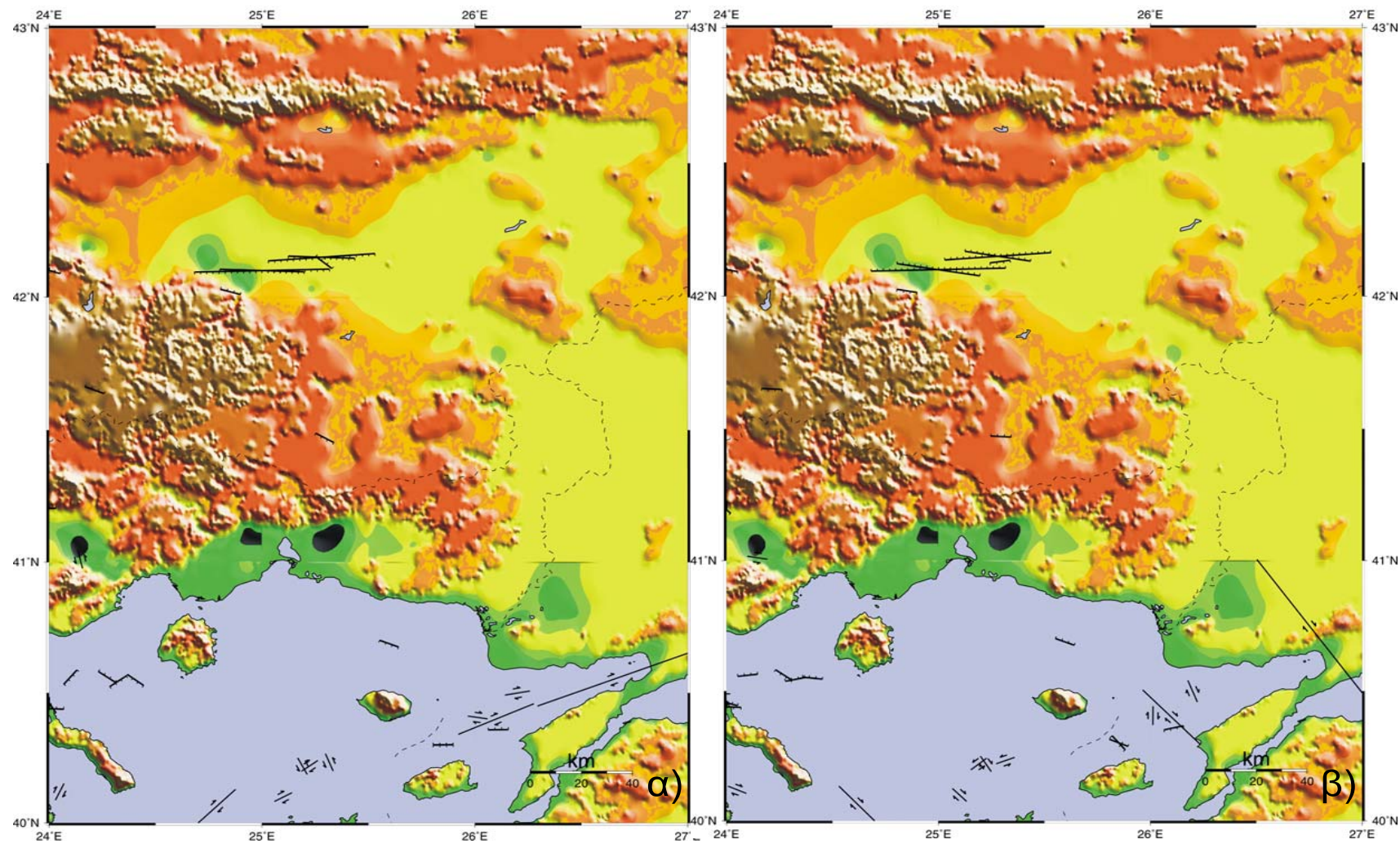
Σχήμα 30. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρίφθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το Νότιο-Ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 31. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρόφηθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το Βόρειο-Δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 32. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρίφθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το κεντρικό Βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 33. Ρήγματα που «επιλέχθηκαν» (α) και «απορρίφθηκαν» (β) με βάση την μέθοδο αντιστροφής του πεδίου των τάσεων για το Βόρειο-Ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

B. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ-ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Προγενέστερες νεοτεκτονικές έρευνες

Στο Βορειοελλαδικό χώρο οι προγενέστερες έρευνες που αφορούν τη μελέτη της ενεργού παραμόρφωσης, όπως αυτή εκδηλώνεται μέσω της σεισμικής δραστηριότητας και της παρουσίας μεγάλων ζωνών διάρρηξης, προσδιορίζεται χρονικά κυρίως στο διάστημα μετά το κύριο σεισμό της 20 Ιουνίου 1978 που συνέβη στη Θεσσαλονίκη.

Μετά από το σεισμό αυτό, με μια σειρά ποκίλλων ερευνητικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου επιχειρήθηκε η γεωλογική μελέτη των φαινομένων της ενεργού παραμόρφωσης, και η μελέτη της νεοτεκτονικής εξέλιξης του Βορειοελλαδικού χώρου. Από το σύνολο των ερευνητικών αυτών δραστηριοτήτων, τα δεδομένα των οποίων σε μεγάλο βαθμό αξιολογήθηκαν στην παρούσα εργασία, ως κύριες μπορούμε ενδεικτικά ν' αναφέρουμε αυτές των: Mercier et al., (1983, 1989); Lyberis (1984); Παυλίδης (1985); Pavlides & Mountrakis (1987); Pavlides & Kiliass (1987); Pavlides et al., (1990); Pavlides & Tranos (1991); Caputo & Pavlides (1993); Μουντράκης κ.ά. (1994; 1995; 1996α, β, 1997α, β); Tranos et al. (1995); Tranos & Mountrakis (1998), Τρανός (1998), Tranos et al (2003, in press).

1.2. Σκοπός – μεθοδολογία της έρευνας

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας έρευνας αποτέλεσε:

- Ο προσδιορισμός ζωνών διάρρηξης, μεγάλων ρηγμάτων και των τμημάτων ρηγμάτων από τα οποία αποτελούνται οι ζώνες διάρρηξης στις διάφορες περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου.

- Η αξιολόγηση των ρηγμάτων και των τμημάτων αυτών που εμφανίζουν μεγάλη πιθανότητα να δραστηριοποιηθούν στο σύγχρονο εντατικό πεδίο.

Η μελέτη των ζωνών διάρρηξης και ειδικότερα των γεωμετρικών και κινηματικών χαρακτηριστικών τους, αλλά και των μορφοτεκτονικών εκείνων στοιχείων που αποτελούν ενδείξεις για την πρόσφατη δράση αυτών ή τμημάτων των ζωνών διάρρηξης.

Ο προσδιορισμός του σύγχρονου εντατικού πεδίου που διέπει τις επιμέρους περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου και είναι υπεύθυνο για τη συγκεκριμένη δράση των ζωνών διάρρηξης στις περιοχές αυτές, τόσο με την ανάλυση των μεγάλων ρηγμάτων μιας περιοχής, αλλά και άλλων ρηξιγενών δομών, όπως είναι π.χ. οι νεοτεκτονικές διακλάσεις, οι οποίες παρέχουν στοιχεία για το ενεργό πεδίο των τάσεων.

Η υλοποίηση των παραπάνω έγινε προσπάθεια να επιτευχθεί με την αξιολόγηση μέσω ενός κοινού πρίσματος ανάλυσης όλων των υπαρχόντων γεωλογικών και σεισμολογικών στοιχείων που αφορούν την ενεργό παραμόρφωση του Βορειοελλαδικού χώρου και έχουν προκύψει από τις διάφορες πρόσφατες ερευνητικές εργασίες, έτσι ώστε τελικά να γίνει καλύτερα αντιληπτός ο βαθμός επικινδυνότητας κάθε περιοχής με βάση φυσικά τα υπάρχοντα δεδομένα.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα αφορά κυρίως τις εργασίες υπαίθρου και τις εργασίες χαρτογράφησης και ανάλυσης δεδομένων. Ειδικότερα στις εργασίες υπαίθρου χρησιμοποιήθηκαν οι γνώσεις και οι μεθοδολογίες που αφορούν:

- (1) τη μορφοτεκτονική ανάλυση ρηξιγενών δομών,
- (2) την ανάλυση μικροτεκτονικών δομών που σχηματίζονται στις ρηξιγενείς ζώνες,
- (3) τη χαρτογράφηση των ρηξιγενών δομών.

Επειδή βασικός στόχος είναι η διάκριση των ρηξιγενών ζωνών σε σχέση με την επικινδυνότητά τους, αλλά και η παρουσίαση των μεγάλων ενεργών ρηγμάτων με τρόπο σαφή και καταληπτό από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα έτσι ώστε να είναι άμεσα και γρήγορα αξιοποιήσιμα, τα ρήγματα διακρίθηκαν σε τρεις κατηγορίες με τα παρακάτω κριτήρια:

- (1) Τα Σεισμικά ρήγματα τα οποία αποδεδειγμένα συνδέονται με συγκεκριμένους πρόσφατους ή ιστορικούς σεισμούς ή ακόμη συμπεραίνεται η σχέση τους με την κατανομή των επικέντρων συγκεκριμένων σεισμικών ακολουθιών. Τα σεισμικά

ρήγματα σχεδιάστηκαν στο "Χάρτη σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων" με βυσσινί χρώμα.

- (2) Τα Ενεργά ρήγματα τα οποία χαρακτηρίστηκαν ως ενεργά κυρίως με γεωλογικά κριτήρια λαμβάνονται υπόψη και ορισμένα άλλα έμμεσα κριτήρια (συσχέτιση με γνωστά σεισμικά ρήγματα, ιστορική σεισμικότητα των συγκεκριμένων περιοχών, γεωφυσικά δεδομένα κλπ). Ως βασικό πάντως γεωλογικό κριτήριο για να χαρακτηριστεί κάποιο ρήγμα ως ενεργό θεωρήθηκε το ρήγμα ενεργοποιήθηκε τα τελευταία 100.000 χρόνια, δηλαδή την περίοδο Άνω Πλειστόκαινο-Ολόκαινο, καθώς και ο συνδυασμός ορισμένων άλλων γεωλογικών κριτηρίων σύμφωνα με τα διεθνή καθιερωμένα. Τα γεωλογικά ενεργά ρήγματα σχεδιάστηκαν με κόκκινο χρώμα.
- (3) Τα Πιθανά Ενεργά ρήγματα, για τα οποία όλα τα παραπάνω γεωλογικά και σεισμολογικά στοιχεία δεν είναι απόλυτα σαφή, αλλά με βάση στρωματογραφικά στοιχεία έδρασαν από το Ανώτερο Πλειόκαινο μέχρι το Ανώτερο Πλειστόκαινο. Ο χαρακτηρισμός τους στηρίχτηκε εκτός των στρωματογραφικών κριτηρίων στη συσχέτιση αυτών με τα ενεργά και σεισμικά ρήγματα π.χ. εάν βρίσκονται στη συνέχεια αυτών και εμφανίζουν παρόμοια γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά ή γενικά είναι συμβατά με το σύγχρονο εντατικό πεδίο. Τα Πιθανά Ενεργά ρήγματα σχεδιάστηκαν με κίτρινο χρώμα.
- (4) Τα Ανενεργά ρήγματα για τα οποία μετά τη μελέτη τους ή χαρακτηρίστηκαν ως ανενεργά ή ακόμη δεν βρέθηκαν στοιχεία που να δείχνουν ότι έχουν ενεργοποιηθεί τα τελευταία 100.000 χρόνια, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι μπορεί να αποκλεισθεί απόλυτα το ενδεχόμενο κάποια από τα ρήγματα αυτά να είναι ενεργά και απλώς να μην έχουν αφήσει ίχνη των τελευταίων, πρόσφατων επαναδραστηριοποιήσεων τους λόγω κυρίως του ότι εμφανίζονται σε πετρώματα του αλπικού υποβάθρου και όχι στα νέα ιζήματα. Τα ρήγματα αυτά δεν μελετήθηκαν ιδιαίτερα στην παρούσα έρευνα και δεν περιελήφθησαν στον τελικό χάρτη των ενεργών ρηγμάτων.

Πολλά από τα ρήγματα αυτά χαρτογραφούνται στα περιθωριακά τμήματα των λεκανών ως ευθύγραμμες ρηξιγενείς γραμμές οι οποίες εμφανίζονται να καθορίζουν το

σχηματισμό ή και να διαμορφώνουν την ανάπτυξη των λεκανών. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται ως περιθωριακά ή κρασπεδικά ρήγματα.

Σε αρκετές περιπτώσεις αναγνωρίζεται μια ζώνη παράλληλων ή υποπαράλληλων ρηγμάτων, τα οποία εμφανίζονται να δραστηριοποιούνται από ένα κοινό εντατικό πεδίο σχηματίζοντας έτσι μια ρηξιγενή ζώνη. Δεδομένου ότι μια ρηξιγενής ζώνη είναι δυνατό να δραστηριοποιηθεί σε επιμέρους ρήγματα ή τμήματα αυτής και όχι σ' όλο το μήκος της στη παρούσα έρευνα καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια να προσδιοριστούν τα στοιχεία τμηματοποίησης ορισμένων ολίγον γνωστών μέχρι σήμερα ρηξιγενών ζωνών.

Επομένως, συμπερασματικά ως προς τα ρήγματα, η παρούσα γεωλογική έρευνα επικεντρώθηκε στη μελέτη των ενεργών-σεισμικών ρηγμάτων του Βορειοελλαδικού χώρου και ιδιαίτερα σε εκείνα που μέχρι σήμερα δεν είχαν αναλυτικά μελετηθεί σε προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Τα τελικά αποτελέσματα της συνδυασμένης γεωλογικής –σεισμολογικής μελέτης δίδονται σε ένα «Χάρτη σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων του Βόρειου Ελληνικού Χώρου» κλίμακας 1:500.000 στον οποίο παρουσιάζονται μόνο τα σεισμικά ενεργά ρήγματα για τα οποία υπάρχουν αποδείξεις ή απόλυτα σαφείς ενδείξεις ότι είναι ενεργά ή πιθανά ενεργά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας ή προηγούμενων αντίστοιχων ερευνών της ερευνητικής ομάδας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Έτσι ο προτεινόμενος χάρτης αποτελεί το συγκεντρωτικό αποτέλεσμα των μέχρι σήμερα ερευνητικών προσπαθειών του παραπάνω τμήματος στο θέμα των σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων του Βορειοελλαδικού χώρου.

Για να γίνουν όσο το δυνατόν περισσότερο εμφανείς οι θέσεις των ρηγμάτων, τα πετρώματα και οι σχηματισμοί σχεδιάστηκαν στο "Χάρτη των ενεργών-σεισμικών ρηγμάτων" με απλό τρόπο. Συγκεκριμένα το Αλπικό και προ-αλπικό υπόβαθρο σχεδιάστηκε ενιαίο, αδιαίρετο, χωρίς διάκριση σε επιμέρους ενότητες, σχηματισμούς και ζώνες.

Για τον ίδιο λόγο δεν απεικονίστηκαν οι αλπικές τεκτονικές γραμμές (επωθήσεις, επιπευσεις κλπ) που συχνά αποτελούν και όρια των αλπικών ενοτήτων ή ζωνών και δεν απεικονίστηκαν τα ανενεργά ρήγματα. Οι μεταλπικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν απλά σε:

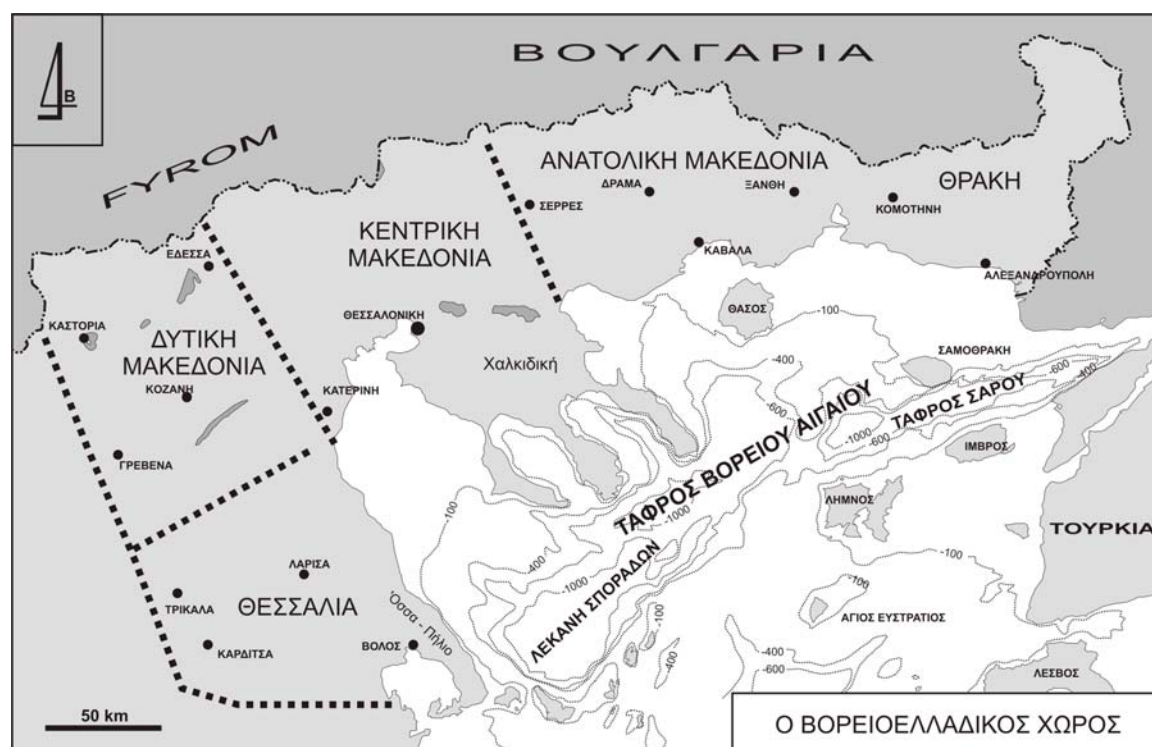
1. ΟΛΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ: Ποικίλλης σύστασης σύγχρονες χερσαίες και παράκτιες αποθέσεις, όπως: (α) πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων (άμμοι-χαλίκια), (β) προσχώσεις κοιλάδων (άμμοι, άργιλοι, ιλύες, χαλίκια), (γ) λιμναίες και αλλουβιακές αποθέσεις (ιλύες, πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χαλίκια), (δ) παράκτιες αποθέσεις αιγιαλίτιδας ζώνης (άμμοι, χαλίκια) και αποθέσεις δέλτα (άμμοι, ιλύες κλπ.).
2. ΠΛΕΙΟ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ: (α) χερσαία, χερσοποτάμια και λιμναία ιζήματα (άμμοι, χαλίκια, άργιλοι, ερυθροστρώματα, κλπ.), και (β) θαλάσσια ιζήματα (μάργες, άργιλοι, άμμοι, ιλύες κλπ.).
3. ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ: Ιζήματα που αποτέθηκαν στο Ανω Μειόκαινο και το Πλειόκαινο: (α) λιμναία και χερσαία ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή, άμμοι, άργιλοι, μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ερυθροστρώματα και στρώματα λιγνίτη, (β) θαλάσσια και υφάλμυρα ιζήματα, όπως μάργες, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, κλπ.
4. ΜΟΛΑΣΣΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ: Μολασσικού τύπου ιζήματα, κυρίως άργιλοι, ψαμμίτες, μάργες και κροκαλοπαγή των τριών Μολασσικών Αυλάκων: Μέσο Ηωκαινικά-Κάτω Ολιγοκαινικά μολασσικά ιζήματα της Αύλακας Εβρου στη Θράκη και στο Βόρειο Αιγαίο, Ανω Ηωκαινικά-Κάτω Ολιγοκαινικά ιζήματα της Αύλακας Αξιού-Θερμαϊκού στην Κεντρική Μακεδονία και τα Ολιγοκαινικά-Κάτω Μειοκαινικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας στη Δυτική Μακεδονία.
5. ΠΛΕΙΟ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ: Οξίνα έως ενδιάμεσα ηφαιστειακά πετρώματα του όρους Βόρας στη Κεντρική Μακεδονία. Ρυόλιθοι, ρυοδακίτες, δακίτες, ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες, τραχείτες και πυροκλαστικά υλικά.
6. ΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ: Οξίνα έως ενδιάμεσα ηφαιστειογενή πετρώματα της Θράκης (ρυόλιθοι, ρυοδακίτες, δακίτες, ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες, τραχείτες και πυροκλαστικά υλικά) Ανω Ολιγοκαίνου-Κάτω Μειοκαίνου.

1.3. Προσδιορισμός ζωνών διάρρηξης και κύριων σεισμικών ρηγμάτων

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας ο Βορειοελλαδικός χώρος διακρίθηκε σε επιμέρους περιοχές όπως Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, Κεντρική Μακεδονία, Δυτική Μακεδονία και Θεσσαλία (Σχ. 34). Σε κάθε επιμέρους περιοχή προσδιορίστηκαν οι ενεργές ζώνες διάρρηξης με βάση τη συσχέτιση των γεωλογικών στοιχείων με τα πρόσφατα επεξεργασμένα σεισμολογικά δεδομένα (κατανομή επικέντρων, μηχανισμοί γένεσης, κλπ).

Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικές από τις ρηξιγενείς ζώνες που προσδιορίστηκαν στις επιμέρους περιοχές και χαρτογραφήθηκαν στον επισημασμένο χάρτη (ΧΑΡΤΗΣ 1):

Α. Στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης οι ρηξιγενείς ζώνες Δράμας, Παγγαίου, Ξάνθης-Κομοτηνής.



Σχήμα 34. Σκαρίφημα του Βορειοελλαδικού χώρου και της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου, με τις επιμέρους περιοχές στις οποίες διακρίθηκε στην παρούσα μελέτη.

Β. Στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας οι ρηξιγενείς ζώνες Κερκίνης, Σερρών, Μυγδόνας λεκάνης, Βεργίνας-Αιγινίου.

Γ. Στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας το σύστημα ρηγμάτων Πτολεμαΐδας και η ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα.

Δ. Στο χώρο της Θεσσαλίας η ρηξιγενής ζώνη Νότιας Θεσσαλίας και η ρηξιγενής ζώνη Τυρνάβου.

1.4. Χαρτογράφηση - μελέτη, περιγραφή και παρουσίαση των κύριων ζωνών διάρρηξης

Για τις κύριες ζώνες διάρρηξης στις επιμέρους περιοχές που προσδιορίστηκαν και ειδικότερα για αυτές που δεν υπήρχαν διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα, πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση και τεκτονική μελέτη αυτών. Συγκεκριμένα, η χαρτογράφηση πραγματοποιήθηκε σε κλίμακα 1:50,000, και ως στόχο είχε:

- (1) Τον προσδιορισμό της γεωμετρίας των κύριων ζωνών διάρρηξης στις επιμέρους περιοχές. Ειδικότερα τον προσδιορισμό της παράταξης, της διεύθυνσης κλίσης, του μήκους κ.ά. των τμημάτων ρηγμάτων που συνιστούν τη ζώνη διάρρηξης.
- (2) Την αναγνώριση εκείνων των μορφοτεκτονικών στοιχείων, που δείχνουν πιθανή πρόσφατη σεισμική δράση.
- (3) Τη συσχέτιση της δράσης των ζωνών διάρρηξης με το σχηματισμό και τη σύγχρονη διαμόρφωση των Τεταρτογενών λεκανών και των ιζημάτων τους.

Ακόμη έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι τυχόν γεωμετρικές, κινηματικές και μορφοτεκτονικές διαφοροποιήσεις των επιμέρους τμημάτων ρηγμάτων τους, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ομοιόμορφη ή όχι δράση της ζώνης διάρρηξης, ενώ ο κύριος στόχος ήταν ο προσδιορισμός και η καταγραφή της κινηματικής τους συμπεριφοράς, ιδιαίτερα της πρόσφατης που ενδεχομένως μπορεί να συνδέεται με σύγχρονη σεισμική δράση.

Όπως προαναφέρθηκε η παρουσίαση και περιγραφή των ρηγμάτων γίνεται χάρτη κλίμακας 1:500.000 ψηφιοποιημένο με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και δημιουργία αναγλύφου με ισοΰψεις των 50m, και με τους γεωλογικούς σχηματισμούς ομαδοποιημένους όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στη γεωμετρική και κινηματική ανάλυση των ρηξιγενών δομών σε σχέση με το προσανατολισμό τους γιατί για πρώτη φορά γίνεται η συστηματική συσχέτιση των γεωλογικών δεδομένων με σεισμολογικά δεδομένα όπως τους μηχανισμούς γένεσης.

1.5. Ανάλυση πεδίου τάσεων

Ο προσδιορισμός του σύγχρονου εντατικού πεδίου που διέπει το Βορειοελλαδικό χώρο αποτέλεσε έναν από τους κύριους στόχους της παρούσας έρευνας. Για το λόγο αυτό έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί τόσο από τα γεωλογικά στοιχεία όπως η γεωμετρία και η κινηματική των ρηγμάτων, όσο και από τα σεισμολογικά δεδομένα όπως οι μηχανισμοί γένεσης σεισμών.

Συγκεκριμένα, σε κάθε επιμέρους περιοχή από τη γεωμετρία και κινηματική των μεγάλων ρηγμάτων που προσδιορίστηκαν ως ενεργά ή σεισμικά προσδιορίζεται το εντατικό πεδίο και συσχετίζεται με τη παραμόρφωση που προσδιορίζεται μέσω των μηχανισμών γένεσης των σεισμών που έχουν συμβεί στην περιοχή. Η συσχέτιση αυτή οδήγησε σ' ένα τελικό προσδιορισμό του σύγχρονου πεδίου τάσεων στις επιμέρους περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου και γίνεται προσπάθεια να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα.

Σε γενικές γραμμές το ενεργό πεδίο των τάσεων, όπως προκύπτει τόσο από τα σεισμολογικά όσο και τα γεωλογικά δεδομένα, παρουσιάζει μια σημαντική διασπορά σε προσανατολισμό γύρω από την διεύθυνση B-N στο χώρο της Ανατολικής και ιδιαίτερα της Κεντρικής Μακεδονίας, ενώ στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας εμφανίζει μια μικρή, αλλά ιδιαίτερα σταθερή απόκλιση προς BBD-NNA διεύθυνση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι υπάρχει μια ισχυρή συσχέτιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τα σεισμολογικά και γεωλογικά δεδομένα και φαίνεται ότι η ταυτόχρονη και συνδυασμένη ανάλυση και των δύο κατηγοριών στοιχείων είναι απαραίτητη στις μελλοντικές έρευνες.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

2.1. Αλπική δομή

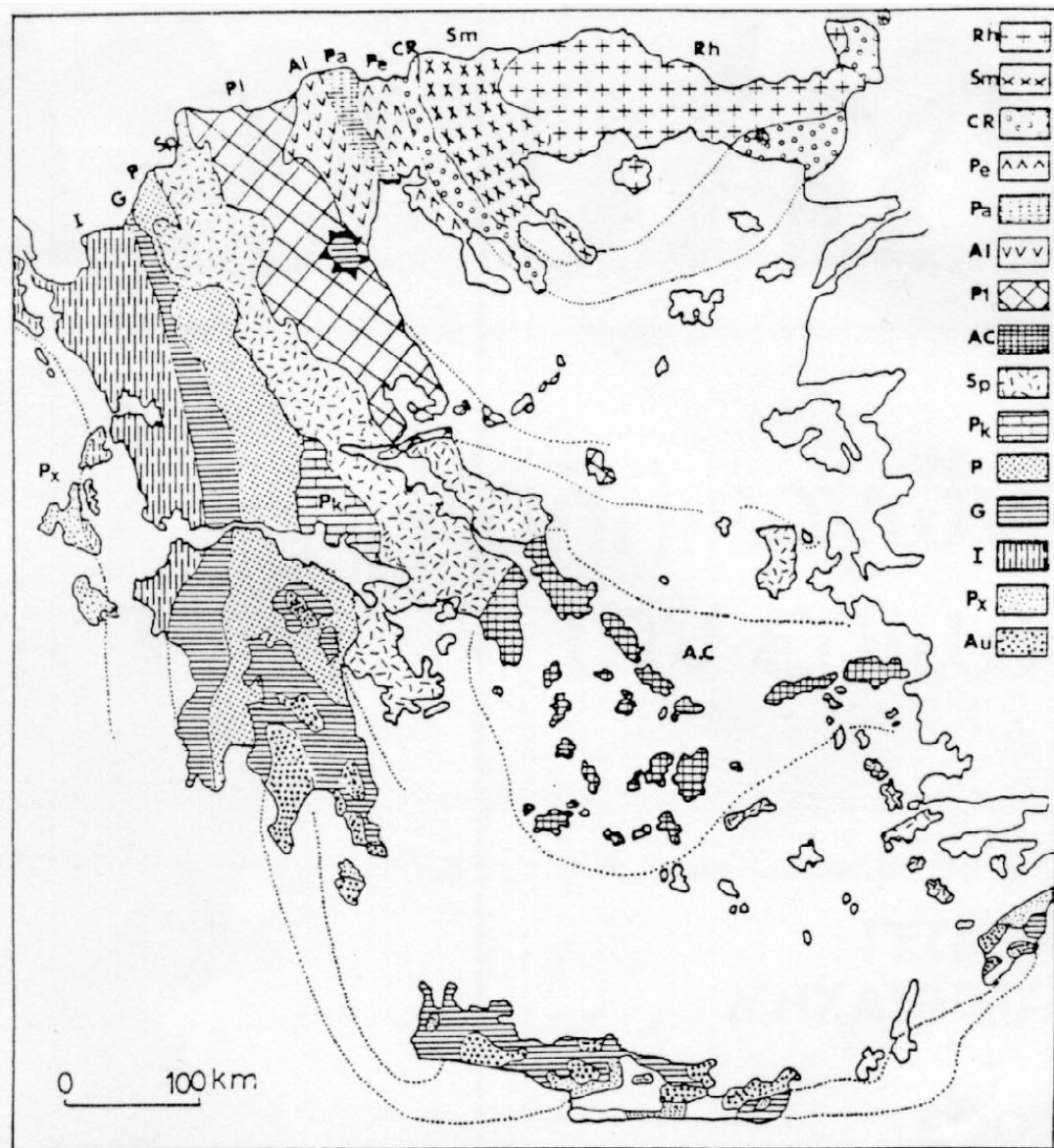
Ο Βορειοελλαδικός χώρος, όπως και όλος ο Ελληνικός χώρος αποτελεί δημιούργημα των αλπικών ορογενετικών διεργασιών που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Μεσοζωϊκού και συνεχίστηκαν στο Τριτογενές με την τελική σύγκρουση της Απούλιας πλάκας και της Ευρασίας. Κατά τη σύγκρουση αυτή το Ελληνικό ορογενές φαίνεται να λαμβάνει σε γενικές γραμμές την τελική του διαμόρφωση αποκτώντας ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση ανάπτυξης, ενώ ανατολικότερα στο χώρο του Αιγαίου η διεύθυνση αυτή μεταβάλλεται βαθμιαία σε Α-Δ συνεχίζοντας τελικά στο χώρο της Τουρκίας προς τις Ταυρίδες οροσειρές, αποκτώντας τη γνωστή δομή του Διναροταυρικού τόξου.

Η εικόνα αυτή, ωστόσο, γίνεται περισσότερο πολύπλοκη από το γεγονός ότι κατά το Μέσο Μειόκαινο σχηματίζεται η σύγχρονη ζώνη υποβύθισης της Αφρικής κάτω από την Ευρασία, διαμορφώνοντας το σύγχρονο γεωτεκτονικό καθεστώς του Αιγαίου.

Μέσα στο αλπικό ορογενετικό πλαίσιο, ο Ελληνικός χώρος έχει διακριθεί σε γεωτεκτονικές ζώνες (Σχ. 35), οι οποίες εντάσσονται στις Εξωτερικές Ελληνίδες, στις Εσωτερικές Ελληνίδες και την Ενδοχώρα. Ο Βορειοελλαδικός χώρος αποτελώντας μια εγκάρσια λωρίδα γης ως προς την ανάπτυξη του Ελληνικού ορογενούς αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του Ελληνικού ορογενούς σχεδόν από το όριο των Εξωτερικών Ελληνίδων με τις Εσωτερικές μέχρι και την Ενδοχώρα στα ανατολικά.

Τα πετρώματα του Βόρειου Ελληνικού χώρου εντάσσονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά στις ακόλουθες γεωτεκτονικές ζώνες (Σχ. 35):

Μάζα Ροδόπης. Η μάζα Ροδόπης αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία διακρίνονται σε δύο τεκτονικές ενότητες. Την Κατώτερη Ενότητα Παγγαίου και την Ανώτερη Ενότητα Σιδηρόνερου. Η πρώτη συγκροτεί τους ορεινούς όγκους Ορβηλου, Φαλακρού, Μενίκιου, Λεκάνης και Παγγαίου και αποτελείται από ένα κατώτερο ορίζοντα με γνεύσιους και σχιστόλιθους, ένα μεσαίο ορίζοντα με μάρμαρα που έχουν μεγάλο πάχος και ένα ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων. Η δεύτερη αποτελείται κυρίως από ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους,



Σχήμα 35. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοσική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας), Pl: Πελαγονική ζώνη, AC: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα “Ταλέα όρη-πλακώδεις ασβεστόλιθοι” πιθανόν της Ιονίου ζώνης (κατά Mountrakis et al., 1983).

αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες και εντοπίζεται κατά μήκος των Ελληνοβουλγαρικών συνόρων καταλαμβάνοντας τον ορεινό όγκο της Ροδόπης στην Ανατολική Μακεδονία-Θράκη. Η Ενότητα Παγγαίου καταλαμβάνει τα τμήματα της

Ροδόπης από τον Στρυμόνα ποταμό μέχρι τη Ξάνθη. Η Ανώτερη Ενότητα Σιδηρόνερου επιπεύει την Ενότητα Παγγαίου δια μέσω μιας ΔΒΔ-ΑΝΑ (110°) διεύθυνσης τεκτονικής γραμμής.

Σερβομακεδονική Μάζα. Τοποθετείται δυτικά της πεδιάδας του Στρυμόνα και εκτείνεται στον άξονα Βερτίσκου-Κερδυλλίων-Χαλκιδικής. Περιλαμβάνει κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, τα οποία εντάσσονται σε δύο τεκτονικές ενότητες, την Κατώτερη Ενότητα Κερδυλλίων και την Ανώτερη Ενότητα Βερτίσκου. Η πρώτη περιλαμβάνει γνεύσιους, ορθογνεύσιους και μιγματιτικούς γνεύσιους με ευδιάκριτους ορίζοντες μαρμάρων, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει διμαρμαρυγικούς γνεύσιους, μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Η σχέση της Σερβομακεδονικής μάζας με την Ενότητα Παγγαίου της Ροδόπης είναι τεκτονική, και συγκεκριμένα υπέρκειται αυτής μέσω ενός μικρής γωνίας εκτατικού ρήγματος αποκόλλησης, το οποίο προσδιορίζεται στα ανατολικά όρια της πεδιάδας του Στρυμόνα.

Περιοδοπική ζώνη. Τα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης είναι Ανω Παλαιοζωϊκά και Μεσοζωϊκά ιζηματογενή και ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία εμφανίζουν χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, και εντάσσονται σε τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες, οι οποίες είναι από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά: (1) Η Ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιάς, με Ανω Παλαιοζωϊκά ηφαιστειοιζηματογενή πετρώματα και νηριτικά Τριαδικά ανθρακικά πετρώματα, (2) Η Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, με Τριαδικά ανθρακικά πετρώματα και κλαστικά φλυσχικού τύπου μεταϊζήματα Κάτω-Μέσο Ιουρασικής ηλικίας, (3) Η Ενότητα Ασπρης Βρύσης-Χορτιάτη, με Περμο-Τριαδικά κλαστικά και Τριαδικά νηριτικά ανθρακικά πετρώματα στα κατώτερα τμήματα και με Κάτω-Μέσο Ιουρασικά ιζήματα βαθιάς θάλασσας και έκχυτα πυριγενή πετρώματα στα ανώτερα τμήματα. Τα πετρώματα των παραπάνω ενοτήτων τοποθετούνται τεκτονικά προς τα Δυτικά με διαδοχικά επιπευτικά ρήγματα. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι την περιοχή ανατολικά της Αλεξανδρούπολης καλύπτουν χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα της **Ενότητας Μάκρης**, η οποία θεωρείται ανάλογη της Περιοδοπικής ζώνης και η προς τα ανατολικά συνέχεια αυτής.

Ζώνη Αξιού. Αποτελείται από τις επιμέρους ζώνες Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας από ανατολικά προς τα δυτικά και θεωρείται ότι είναι ο χώρος ανάπτυξης της κύριας οφειολιθικής συρραφής του Ελληνικού ορογενούς που συμπίπτει με τον ωκεανό της Παλαιοτηθύος, ο οποίος λειτούργησε στο Μεσοζωϊκό. Συνοπτικά, η ζώνη Αξιού αποτελείται από τους βαθύτερους ορίζοντες προς τους ανώτερους από: ασβεστόλιθους Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού, ηφαιστειοϊζηματογενείς σειρές Τριαδικού-Ιουρασικού, ασβεστόλιθους Ανωτ. Ιουρασικού, οφειολιθικά πετρώματα και τα Ανω Ιουρασικής ηλικίας συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας, μετακλαστικά ιζήματα Ανωτέρου Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού, ενώ χαρακτηριστική είναι η ασυμφωνία του Μέσο-Ανω Κρητιδικού με την απόθεση Ανω Κρητιδικών ασβεστολίθων και φλύσχη. Η ζώνη Αλμωπίας χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλα τεκτονικά λέπια με φορά κίνησης προς τα ΝΔ, όπως και η Ζώνη Παιονίας, ενώ στη ζώνη του Πάικου υπάρχει μια διαφοροποίηση στην αλπική παραμόρφωση με την διαμόρφωση μιας μεγα-αντιμορφικής δομής ή δόμου.

Πελαγονική ζώνη. Η ζώνη αυτή συγκροτεί τους ορεινούς όγκους της Δυτικής Μακεδονίας όπως του Βόρα, του Βέρνου, του Ασκιου, κ.ά. και υπόκειται τεκτονικά της ζώνης της Αλμωπίας. Περιλαμβάνει Παλαιοζωϊκής ηλικίας κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, Ανω Παλαιοζωϊκά πλουτωνικά και ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, Τριαδικο-Ιουρασικά μάρμαρα και οφειόλιθους καθώς και επικλυσιογενή Μεσο-Ανω Κρητιδικά ανθρακικά πετρώματα και φλύσχη.

Υποπελαγονική ζώνη. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία των σημαντικών μαζών του οφειολιθικού συμπλέγματος της Νεοτηθύος, οι οποίες εκτίθενται κυρίως στους ορεινούς όγκους της Ορθρυς, του Βούρινου και της Καστοριάς και τοποθετούνται πάνω στα Τριαδικο-Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα του παλιού ηπειρωτικού περιθωρίου της Κιμμερικής ηπείρου.

Ζώνη Πίνδου. Η ζώνη αυτή αναγνωρίζεται στα τμήματα της Δυτικής Μακεδονίας που συνορεύουν με την Ηπειρο, αλλά και στον ορεινό όγκο του Κόζιακα δυτικά της Θεσσαλικής πεδιάδας. Αποτελείται από Μεσοζωϊκά κυρίως ανθρακικά πετρώματα, τα

οποία διαδέχεται κλαστικός φλύσχος ηλικίας Μαιστριχτίου-Ηωκαίνου, καθώς και τεκτονικά τοποθετημένες οφειολιθικές μάζες της Νεοτηθύος.

Θα πρέπει ν' αναφέρουμε ότι στο χώρο της Θεσσαλίας και ειδικότερα στους ορεινούς όγκους του Ολύμπου και της Οσσας αναγνωρίζονται πετρώματα που εντάσσονται στην **Ενότητα του Ολύμπου** και την **Ενότητα Αμπελάκια**. Η πρώτη περιλαμβάνει ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ανωτέρου Κρητιδικού και φλυσχικά πετρώματα Τριτογενούς ηλικίας. Η δεύτερη αποτελείται από υψηλής πίεσης μεταμορφωμένα πετρώματα συνδεδεμένα με την ζώνη υποβύθισης της Απούλιας πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα στο χρονικό διάστημα του Ηωκαίνου.

2.2. Μετα-αλπική τεκτονική και σχηματισμός λεκανών

Στο Βορειοελλαδικό χώρο τη συνέχεια των πετρωμάτων που συγκροτούν το αλπικό και προαλπικό υπόβαθρο διακόπτουν επιμήκεις λεκάνες, οι οποίες πληρώνονται με μεταλλικά ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές διακρίνονται:

- (1) στις **μολασσικές αύλακες** που αναπτύχθηκαν στο Ολιγόκαινο-Μέσο Μειόκαινο και πληρώνονται με μολασσικού τύπου ιζήματα. Η σημαντικότερη είναι η ΒΒΔ-NNA διεύθυνσης Μεσοελληνική Αύλακα στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας-Θεσσαλίας, η ΒΒΔ-NNA διεύθυνσης Αύλακα Αξιού-Θερμαϊκού στη Κεντρική Μακεδονία και η Μολασσική Αύλακα στο χώρο του Εβρου,
- (2) στις **Νεογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες**, οι οποίες έχουν σχηματιστεί από το Ανω Μειόκαινο εξαιτίας μιας καθολικής εκτατικής παραμόρφωσης, η οποία οδήγησε στη δραστηριοποίηση μεγάλων ρηξιγενών δομών και στο σχηματισμό λεκανών, οι οποίες πληρώνονται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται πάνω στο αλπικό υπόβαθρο ή/και πάνω στις ήδη σχηματιζόμενες μολασσικές αύλακες. Παρουσιάζουν διάφορες διευθύνσεις προσανατολισμού ΒΒΔ-NNA έως ΒΔ-ΝΑ, ΑΒΑ-ΔΝΔ και Α-Δ ανάλογα με την ηλικία σχηματισμού της κάθε μίας και επομένως ανάλογα με τη διεύθυνση των ρηγμάτων που τις ορειοθετούν. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις λεκάνες Φλώρινας-

Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Θεσσαλίας, Θεσσαλίας, Αξιού-Θεσσαλονίκης, Κατερίνης, Στρυμόνα, Δράμας και Ξάνθης-Κομοτηνής.

Ακόμη, στο χώρο της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης το αλπικό και προαλπικό υπόβαθρο διακόπτεται από πυριγενή πετρώματα, τα οποία αποτελούν το αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης μαγματικής δραστηριότητας που έλαβε χώρα στο Τριτογενές. Συγκεκριμένα, αναγνωρίζονται: (1) μεγάλα ή μικρότερα όξινα πλουτωνικά σώματα στο χώρο της Σερβομακεδονικής ζώνης (Κεντρική Μακεδονία) που χρονολογούνται στο διάστημα Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου, (2) μεγάλα όξινα πλουτωνικά σώματα στο χώρο ανάπτυξης της Ενότητας Παγγαίου της Μάζας της Ροδόπης (Ανατολική Μακεδονία) που χρονολογούνται στο Ανω Ολιγόκαινο και Κάτω Μειόκαινο, και (3) όξινα ηφαιστειογενή πετρώματα στο χώρο της Ενότητας Σιδηρόνερου και των Ολιγοκαινικών μολασσικού τύπου ιζημάτων στο χώρο της νότιας Θράκης (περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής-Αλεξανδρούπολης).

Τα ρήγματα που βρίσκονται μέσα στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα των λεκανών και τα οποία εμφανίζουν μία ή δύο διαφορετικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης. Τα ρήγματα του υποβάθρου χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη κινηματική πολυπλοκότητα και εμφανίζουν μια επιλεκτική δραστηριοποίηση κατά τη νεοτεκτονική και σύγχρονη περίοδο υπό μορφή κανονικών και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ για το διάστημα Ανω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου και Α-Δ κατά το Τεταρτογενές.

2.3. Η γεωμορφολογική δομή του Βόρειου Ελλαδικού χώρου

Τα κύρια μορφολογικά στοιχεία που αναγνωρίζονται σήμερα να χαρακτηρίζουν τον Βορειοελλαδικό χώρο είναι:

Η Τάφρος του Βόρειου Αιγαίου. Αποτελεί το σημαντικότερο μορφοδόμημα του εσωτερικού Ελληνικού χώρου παρουσιάζοντας συνολικό μήκος περίπου 300 km και μέγιστο βάθος 1900 m (Σχ. 34). Μπορεί ωστόσο να διαχωριστεί σε δύο διαφορετικές περιοχές με βάση τη διεύθυνση και τη μορφολογία σε δύο επιμέρους υποθαλάσσιες λεκάνες: (1) τη Λεκάνη των Σποράδων και (2) την Τάφρο της Σάρου, όπως

προσδιορίζονται από την ισοβαθή των 400 m. Κατά τους Lyberis (1984) και Le Pichon et al., (1984) η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου είναι ουσιαστικά το σύνολο μιας σειράς μικρότερων βαθιών και οριοθετημένων με μεγάλα ρήγματα υποθαλάσσιων λεκανών. Γενικά η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου εμφανίζει υψηλή σεισμική δραστηριότητα με σεισμούς των οποίων οι μηχανισμοί γένεσης αντιστοιχούν σε δραστηριοποιήσεις κανονικών ρηγμάτων και ρηγμάτων δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης.

Μεγάλες ΒΔ-ΝΑ λεκάνες. Πρόκειται για μεγάλες επιμήκεις λεκάνες πληρωμένες με μεταλλικά ιζήματα, οι οποίες σχηματίζονται κυρίως κατά το Νεογενές, όπως είναι οι λεκάνες Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Αγ. Δημητρίου, Αξιού, Στρυμόνα και Δράμας στο χώρο της Μακεδονίας και οι λεκάνες Τρικάλων-Καρδίτσας και Λάρισας στο χώρο της Θεσσαλίας. Χαρακτηριστικό των λεκανών αυτών είναι το μέγεθος καθ' όσον διατρέχουν ως επιμήκεις λωρίδες όλο το χερσαίο χώρο της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας αντίστοιχα.

Μολονότι, οι λεκάνες αυτές διακόπτουν τη συνέχεια του αλπικού και προαλπικού υποβάθρου, αναπτύσσονται παράλληλα προς την κύρια ορογενετική υφή των Ελληνίδων ζωνών και παράλληλα προς τα όρια των Ελληνίδων ζωνών στο χώρο της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας. Το γεγονός ότι η κύρια αλπική ορογενετική υφή λαμβάνει τη συγκεκριμένη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στη περίοδο του Παλαιογενούς (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο), η ταύτιση αυτή στον προσανατολισμό των μεταγενέστερων Νεογενών λεκανών με την ορογενετική διάταξη των Ελληνίδων δείχνει ότι οι Νεογενείς λεκάνες ενδεχόμενα αναπτύχθηκαν σε παλαιότερες λεκάνες του βραδυορογενετικού σταδίου, συνδεδεμένες με την απόθεση των μολασσικού τύπου ιζημάτων. Το ενδεχόμενο αυτό ενισχύεται σε σημαντικό βαθμό από το γεγονός ότι η λεκάνη Τρικάλων-Καρδίτσας και Αξιού αναπτύσσονται πράγματι σε χώρους απόθεσης μολασσικών ιζημάτων.

Υψηλοί ορεινοί όγκοι. Πρόκειται για όρη ή και ορεινούς επιμήκεις κατά την ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση όγκους με υψόμετρο > 1500m, όπως τα όρη Βαρνούντας, Βέρνο (Βίτσι), Μορίκι, Ασκιο (Σινιάτσικο), Βούρινος, Καμβούνια, Ζάρκος, στη Δυτική Μακεδονία

και Δυτική Θεσσαλία, τα όρη Βόρας (Καϊμακτσαλάν), Βέρμιο, Πιέρια, Ολυμπος, Οσσα, Πήλιο στη Κεντρική Μακεδονία και Ανατολική Θεσσαλία. Την ίδια ΒΔ-ΝΑ διάταξη έχουν και τα βουνά Πάικο, Κερδύλια, Βερτίσκοι, και Αθως στην ανατολική πλευρά της Κεντρικής Μακεδονίας. Τα όρη αυτά λειτουργούν ως φυσικογεωγραφικά στοιχεία διαχωρισμού μεγάλων περιοχών του Βορειοελλαδικού χώρου. Τα μεγάλα αυτά υψόμετρα των συγκεκριμένων ορεινών όγκων οφείλονται στην ισχυρή ανύψωση που έχει λάβει και λαμβάνει χώρα στο Βορειοελλαδικό χώρο. Ωστόσο, δεν έχει πλήρως διευκρινιστεί εάν αυτή η ανύψωση αυτή είναι αποτέλεσμα μιας βαθμιαίας παραμόρφωσης ή συμβαίνει σε συγκεκριμένες έντονες περιόδους.

Πιο Ανατολικά στην Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη οι ορεινοί όγκοι έχουν χαμηλότερα υψόμετρα 800-1500m και η διάταξή τους δεν είναι η κλασική Διναρική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, αλλά κυμαίνεται από Α-Δ ως ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση όπως τα όρη Ροδόπη, Κερκίνη, Βροντού, Παγγαίο-Σύμβολο.

3. ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ, ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Το νεοτεκτονικό πλαίσιο που διέπει το Βορειοελλαδικό χώρο έχει προσδιοριστεί με νεοτεκτονικές και σεισμοτεκτονικές εργασίες που έγιναν τα τελευταία χρόνια στον ευρύτερο χώρο Μακεδονίας - Θράκης, αλλά και από γεωφυσικές μελέτες στο θαλάσσιο χώρο του Βορείου Αιγαίου.

Η νεοτεκτονική δράση σηματοδοτείται από τη δημιουργία και την έναρξη πλήρωσης των μεγάλων λεκανών με τα μεταλικά Νεογενή ιζήματα, όπως της λεκάνης Στρυμόνα, Αξιού, Δράμας, Φλώρινας-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης κλπ. Ωστόσο το νεοτεκτονικό πλαίσιο του Βορειοελλαδικού χώρου και η εξέλιξη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης σχετίζονται άμεσα με την υποβύθιση της Αφρικανικής ηπείρου κάτω από την Ευρωπαϊκή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού τόξου, η έναρξη του οποίου τοποθετείται στα 13 My (Μέσο Μειόκαινο στο διάστημα μεταξύ Σεραβάλλιου και Τορτόνιου). Έτσι ο εσωτερικός Ελληνικός χώρος θεωρείται ως μια οπισθοτόξια περιοχή (back-arc area) σε άμεση συνάρτηση εξελικτικά με το Ελληνικό τόξο.

Ανεξάρτητα όμως από το χρόνο έναρξης του νεοτεκτονικού πλαισίου του Βορειοελλαδικού χώρου, και γενικότερα του Ελληνικού χώρου, η νεοτεκτονική παραμόρφωση και η ενεργός τεκτονική του Βορειοελλαδικού χώρου χαρακτηρίζονται από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο με δημιουργία κανονικών και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων κυρίως μέσα στις ιζηματογενείς αποθέσεις που πληρώνουν τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες. Εξαιτίας του εφελκυσμού αυτού προκαλείται επίσης επαναδραστηριοποίηση πολλών παλαιότερων ασθενικών τεκτονικών γραμμών, τόσο μέσα στα Νεογενή ιζήματα όσο και μέσα στα πετρώματα του υποβάθρου, οι οποίες και επαναλειτούργουν ως κανονικά ή πλαγιοκανονικά ρήγματα. Πρέπει όμως να αναφέρουμε ότι η θραυσιγενής παραμόρφωση του υποβάθρου ίσως είναι πιο πολύπλοκη δεδομένου ότι έχουν εντοπισθεί πολλά ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης η γεωδυναμική σημασία των οποίων δεν έχει ακόμη διευκρινιστεί πλήρως.

Η διεύθυνση του μέγιστου εφελκυσμού προσδιορίζεται σε (1) ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση κατά το διάστημα Άνω Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου και (2) σε γενική διεύθυνση Β-Ν από το Κάτω Πλειστόκαινο ως σήμερα. Μάλιστα η εξέλιξη του πρώτου ΒΑ-ΝΔ

εφελκυστικού πεδίου στο δεύτερο B-N που ουσιαστικά είναι ο ενεργός εφελκυσμός, καθώς επίσης η λειτουργία των υφιστάμενων ρηγμάτων (γεωμετρία και κινηματική συμπεριφορά) είναι θέματα που παραμένουν υπό έρευνα, καθ' όσον μάλιστα πιθανολογείται ότι στην εξέλιξη έλαβαν χώρα σημαντικές περιστροφές τεμαχών που έχουν εντοπιστεί με παλαιομαγνητικές μεθόδους (π.χ ο χώρος της ΝΑ Χαλκιδικής, η οποίος παρουσιάζει δεξιόστροφη περιστροφή των 30°). Είναι επομένως αυτονόητο ότι πιθανές τέτοιες περιστροφές έχουν σημαντικά τροποποιήσει τις διευθύνσεις των ρηγμάτων που σήμερα παρατηρούμε.

Ιδιαίτερης όμως σημασίας είναι το γεγονός ότι ο ενεργός εφελκυσμός του Βορειοελλαδικού χώρου παρουσιάζει μια περίπου ακτινωτή ανάπτυξη (ή ανάπτυξη Βεντάλιας) με τη διεύθυνση του μέγιστου άξονα έκτασης σ_3 να στρέφεται από ΒΒΑ-διεύθυνση στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη σε Β-Ν στην Κεντρική Μακεδονία και ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση στη Δυτική Μακεδονία. Αυτά προκύπτουν κυρίως από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών που έχουν καταγραφεί κατά τον παρόντα αιώνα, αλλά ακόμη και τις *in situ* μετρήσεις της τάσης και τις τεκτονικές μετρήσεις υπαίθρου των κινήσεων στα νεοτεκτονικά ρήγματα.

Η μικρή σχετικά αυτή μεταβολή του μέγιστου εφελκυσμού φαίνεται σε μεγακλίμακα να είναι σταδιακή (ή βαθμιαία) από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά και γίνεται αντιληπτή στη γεωμετρία των ρηγμάτων, όσο και στην κινηματική τους. Έτσι τα μεγάλα ενεργά ρήγματα στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης έχουν κυρίως διεύθυνση Α-Δ μέχρι και ΔΒΔ-ΑΝΑ, με αποτέλεσμα τα περιθώρια των λεκανών με ΒΔ-ΝΑ ανάπτυξη να έχουν επηρεαστεί σημαντικά από την Α-Δ διεύθυνση, ενώ στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας τα ενεργά ρήγματα έχουν ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνση όπως το πρόσφατο σεισμικό ρήγμα του Αλιάκμονα στην περιοχή Γρεβενών-Κοζάνης που η τελευταία δραστηριοποίηση του προκάλεσε τον μεγάλο καταστροφικό σεισμό της 13ης Μαΐου 1995 με μέγεθος $M_s=6.5$.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο στο νεοτεκτονικό πλαίσιο της Βόρειας Ελλάδας είναι η Τάφρος του Βορείου Αιγαίου που αποτελεί μια μεγάλη μορφοτεκτονική δομή με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ και η οποία επηρεάζει τον ευρύτερο Βορειοελλαδικό χώρο (Σχ. 34). Όπως προσδιορίζεται από τους μηχανισμούς γένεσης διαφόρων μεγάλων σεισμών στο χώρο της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου η κινηματική συμπεριφορά των ρηγμάτων

που τη συγκροτούν δεν αντιστοιχεί σε κανονικά ρήγματα, όπως προαναφέραμε, αλλά αντίθετα σε ρήγματα που χαρακτηρίζονται από δεξιόστροφη οριζόντια μετατόπιση.

Ακόμη όμως και η ίδια η γεωμετρική ανάπτυξη της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου δημιουργεί ερωτηματικά για τη συμβατότητα του χώρου αυτού ως τυπικής οπισθοτόξιας περιοχής συνδεδεμένης με μια ζώνη υποβύθισης. Για τους λόγους αυτούς πρόσφατα προτάθηκε από τους Pavlides et al. (1990) ότι ο χώρος του Βορείου Αιγαίου και της Κεντρικής Μακεδονίας παρουσιάζει μια εφελκυσμένη διατμητική ενδοηπειρωτική παραμόρφωση σαν αποτέλεσμα όχι μόνο της ενεργού εξέλιξης του Ελληνικού τόξου που προκαλείται από την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας, αλλά και της κίνησης προς τα Δυτικά της Τουρκικής μικροπλάκας, με συνλειτουργία τόσο των κανονικών ρηγμάτων όσο και των ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης.

Μια διαφορετική άποψη για την εξέλιξη του Βορειοελλαδικού χώρου διατυπώθηκε από τους Dinter et al. (1993), σύμφωνα με την οποία ο χώρος της Θράκης και της Κεντρικής Μακεδονίας μέχρι τον Αξιό, έχει παραμορφωθεί από το Άνω Μειόκαινο μέχρι το Κάτω Πλειόκαινο κυρίως με μικρής γωνίας παράλληλες εκτατικές ζώνες αποκόλλησης (κανονικά ρήγματα πολύ μικρής γωνίας βύθισης) με διεύθυνση κυρίως ΒΔ-ΝΑ και βύθιση προς τα ΝΔ, που συμπίπτουν σε διεύθυνση μ' αυτή των ΒΑ περιθωρίων των μεγάλων κύριων λεκανών. Από το Άνω Πλειόκαινο μέχρι σήμερα η παραμόρφωση του χώρου αυτού γίνεται με τη συνλειτουργία μιας κύριας ζώνης αποκόλλησης, στην ανατολική πλευρά του Ολύμπου με βύθιση προς τα ΒΑ, τα μεγάλης γωνίας κανονικά ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στα περιθώρια των λεκανών π.χ. Στρυμόνα και το σύστημα ρηγμάτων της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου με κινήσεις δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης σαν ένα ρήγμα μεταβίβασης της παραμόρφωσης.

Τέλος μέσα σ' αυτό τον εκτεταμένο εφελκυσμό που δεσπόζει κατά τη νεοτεκτονική παραμόρφωση πρέπει να σημειώσουμε ότι έχουν αναφερθεί από μερικούς γεωεπιστήμονες ρήγματα (ακόμη και μέσα στα Νεογενή ιζήματα) που προσδιορίζουν σμίκρυνση του χώρου σ' αντίθεση με το γενικότερο εφελκυστικό πλαίσιο. Οι παρατηρήσεις αυτές δημιουργούν σημαντικά ερωτηματικά εάν αποτελούν στοιχεία πραγματικής σμίκρυνσης του χώρου σε κάποια περίοδο μέσα στην νεοτεκτονική εξέλιξη. Παραταύτα, φαίνεται ως πιο λογική εξήγηση βάση των μέχρι σήμερα λιγοστών διαθέσιμων στοιχείων να πρόκειται για το αποτέλεσμα συμπιεστικών δυνάμεων που

δημιουργούνται τοπικά ή λόγω του γενικότερου εφελκυσμού, της βαρύτητας ή ακόμη της ύπαρξης κάποιων φυσικών στοιχείων-τοιχωμάτων (boundary elements) που υλοποιούνται από την παρουσία των μεγάλων ρηγμάτων.

4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

4.1. Περιοχή Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης

Η περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης διαρρέεται από τα μεγάλα ποτάμια, Στρυμόνας, Νέστος, Εβρος και Αρδας, τα οποία διαρρέουν μεγάλες μεταλλικές λεκάνες όπως του Στρυμόνα, της Δράμας, Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής-Σαππών, της Αλεξανδρούπολης και του Εβρου, οι οποίες εμφανίζονται να ορειοθετούνται και να διαμορφώνονται από μεγάλα περιθωριακά ρήγματα.

Τα ορεινά τμήματα της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης δομούνται από πετρώματα που εντάσσονται στη Μάζα της Ροδόπης, ενώ τα χαμηλά λοφώδη και πεδινά τμήματα καλύπτονται από τα Ολιγοκαινικά μολασσικά και ηφαιστειογενή πετρώματα, τα Νεογενή ιζήματα και τις Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η σεισμικότητα στη περιοχή αυτή είναι σχετικά αραιή, μολονότι έχουν αναφερθεί ιστορικά μεγάλοι σεισμοί όπως αυτός της Δράμας, κλπ.

Ο ρηξιγενής ιστός στο χώρο αυτό περιλαμβάνει ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης τα οποία προσανατολίζονται σε διάφορες διευθύνσεις, κυρίως όμως: (1) Α-Δ και (2) ΒΑ-ΝΔ, και (3) Β-Ν.

4.1.1. Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης

Τα ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ διακρίνονται σε δύο βασικούς τύπους ρηγμάτων όσον αφορά το σχηματισμό τους:

(α) Τα ρήγματα που είναι σύνθετα αποτελούμενα από διαδοχικά επιμέρους τμήματα ρηγμάτων (fault segments) που προκύπτουν από συνενώσεις προϋπαρχόντων ρηγμάτων με ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση και εμφανίζονται σήμερα ως συνεχείς ή ασυνεχείς ρηξιγενείς ζώνες γενικής διεύθυνσης Α-Δ.

(β) Τα ενιαία ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης, τα οποία εμφανίζονται συνεχόμενα και με ομοιόμορφη δράση.

Τα ρήγματα αυτά είναι κανονικά έως πλαγιο-κανονικά ρήγματα και διαμορφώνουν σε σημαντικό βαθμό το μορφοανάγλυφο της περιοχής. Συγκεκριμένα,

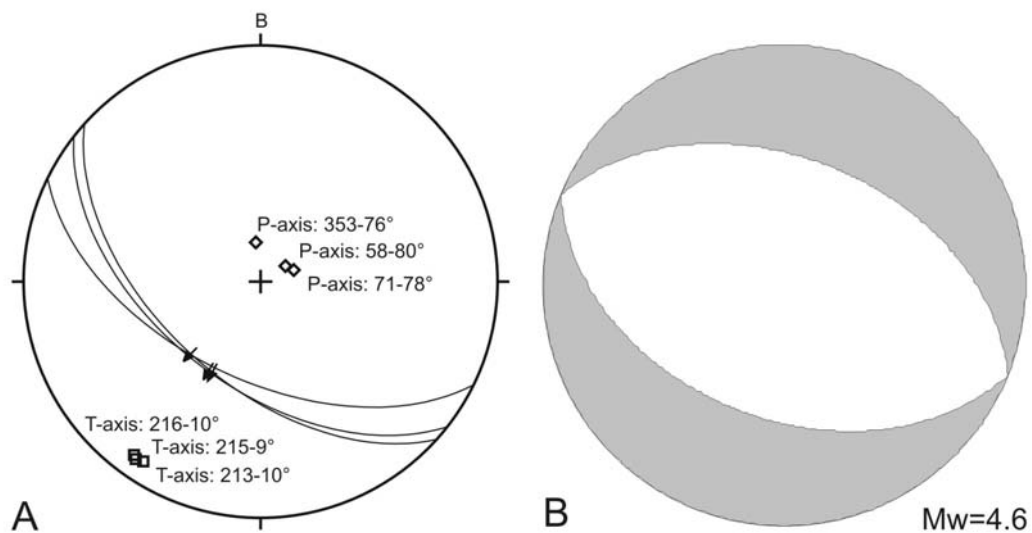
μέσα στο γενικότερο ρηξιγενή ιστό διαμορφώνουν την τοπογραφία στο χώρο Ανατολικά της Καβάλας και κυρίως στην περιοχή ανάμεσα στην Κομοτηνή και την Αλεξανδρούπολη, καθώς επίσης εμφανίζονται και ως περιθωριακά ρήγματα να οριοθετούν λεκάνες σε διάφορα τμήματα αυτών, όπως της Δράμας, Ξάνθης-Κομοτηνής και Στρυμόνα-Σερρών.

Στα ρήγματα αυτής της διεύθυνσης εντάσσονται το ρήγμα Οφρυνίου, το ρήγμα Σερρών, το ρήγμα Ξάνθης-Ιασμου, το ρήγμα Δράμας, το ρήγμα Μάκρης-Αλεξανδρούπολης, το ρήγμα Διδυμότειχου, κ.ά.

Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε το ρήγμα Δράμας, Μάκρης-Αλεξανδρούπολης, το ρήγμα Ξάνθης-Ιασμου, το ρήγμα Αβάντα.

Το ρήγμα Μαρώνειας-Μάκρης-Αλεξανδρούπολης

Το ρήγμα αυτό με διεύθυνση Α-Δ διαμορφώνει στη διεύθυνση αυτή την ακτογραμμή από τη Μαρώνεια της Κομοτηνής μέχρι την Αλεξανδρούπολη στα



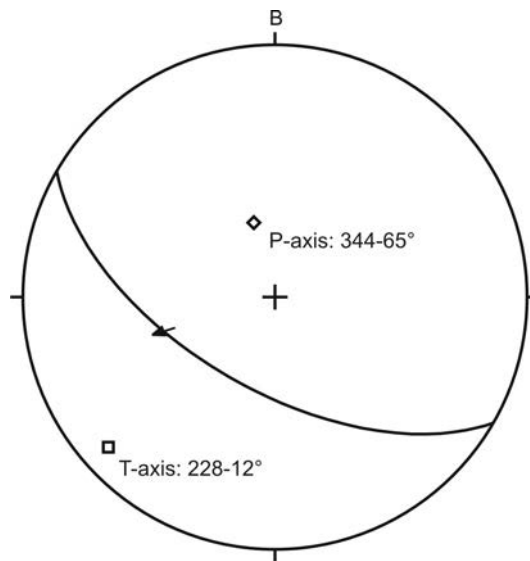
Σχήμα 36. (α) Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Μαρώνειας-Μάκρης-Αλεξανδρούπολης, όπως προσδιορίζονται στο τμήμα ρήγματος Μαρώνειας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα, (β) μηχανισμός γένεσης πλησίον της Αλεξανδρούπολης μέσα στο Θρακικό πέλαγος, ο οποίος εμφανίζει παρόμοια γεωμετρική και κινηματική συμπεριφορά και έκταση σε BBA-NNΔ.

ανατολικά, δηλαδή σε μήκος περίπου 35km, ενώ είναι πιθανό να προεκτείνεται, μη ορατό, και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το γεγονός ότι το ρήγμα διαμορφώνει τις ακτογραμμές από τη Μαρώνεια μέχρι και την Αλεξανδρούπολη και διέρχεται πλησίον της πόλης της Αλεξανδρούπολης, το καθιστά ένα σημαντικό ρήγμα στο χώρο της Θράκης.

Το ρήγμα κλίνει με γωνία 60° περίπου προς τα Νότια και χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό στιλπνής κατοπτρικής επιφάνειας με αυλακώσεις (corrugations) ιδιαίτερα στο τμήμα ρήγματος Μαρώνειας. Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 36) που καταγράφηκαν στο ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης τμήμα-ρήγμα Μαρώνειας προσδιορίζουν κανονική δραστηριοποίηση και μέγιστη έκταση σε διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ (T: $215-9^\circ$). Στο υπερκείμενο τέμαχος αναγνωρίζονται Πλειστοκαινικές ποταμοχερσαίες αποθέσεις άμμων και χαλικιών, τα οποία εμφανίζουν ασυνέχειες αντιθετικές ως προς το κύριο ρήγμα, ενώ από τη δράση του ρήγματος σχηματίζεται μια σύνθετη ζώνη πάχους κατακλαστίτη πάχους περίπου 1m. Το γεγονός αυτό χρονολογεί τη δραστηριοποίηση αυτή στη διάρκεια του Τεταρτογενούς, με αποτέλεσμα το ρήγμα αυτό να θεωρείται ως γεωλογικά ενεργό.

Το ρήγμα Αβάντα

Στο χωριό Αβάντας της Ροδόπης παρατηρείται μια ΔΒΔ-ΑΝΑ ρηξιγενής γραμμή μήκους 7km περίπου, η οποία αποτελεί σε μεγάλο τμήμα συμπίπτει με την επαφή των Ανω Ηώκαινικών-Ολιγοκαινικών μολασσικών κλαστικών ιζημάτων με τους υποκείμενους Ανω Ηώκαινικούς νουμουλιτικούς ασβεστόλιθους. Πρόκειται για δεξιόστροφο πλαγιοκανονικό ρήγμα και η κινηματική του προσδιορίζει έκταση σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (μέγιστη έκταση T: $228-12^\circ$) (Σχ. 37).



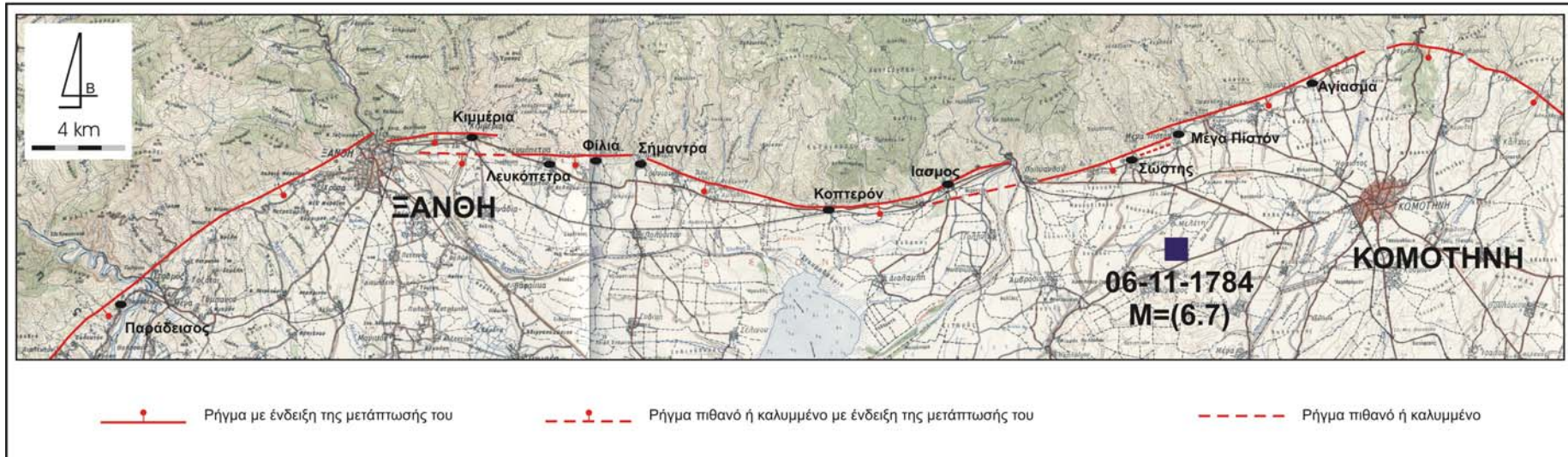
Σχήμα 37. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Αβάντα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Το γεγονός ότι το ρήγμα αυτό είναι παράλληλο με το ενεργό ρήγμα Μαρώνειας-Μάκρης-Αλεξανδρούπολης και διαμορφώνει τον πεδινό χώρο βόρεια της Αλεξανδρούπολης σε συνδυασμό με το ότι τα ρήγματα αυτά είναι τα κυρίαρχα στη περιοχή και συμβατά με το σύγχρονο εντατικό πεδίο διεύθυνσης BBA-NNΔ μας οδηγεί στο χαρακτηρισμό του ρήγματος ως πιθανού ενεργού.

Η ρηξιγενής ζώνη Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής

Το ρήγμα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο λόγω του μεγάλου μήκους του, αλλά κυρίως επειδή διέρχεται πλησίον των τριών μεγάλων πόλεων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, την Καβάλα, τη Ξάνθη και την Κομοτηνή. Συνολικά η ρηξιγενής αυτή ζώνη έχει μήκος περί τα 110km, γεγονός πολύ μεγάλης σημασίας στο ενδεχόμενο μιας σεισμικής δραστηριοποίησης της ρηξιγενούς ζώνης ή ενός μεγάλου τμήματός της. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαίο να μελετηθεί η κινηματική της ρηξιγενούς αυτής ζώνης σ' όλο το μήκος της για να προσδιοριστεί η συμπεριφορά αυτής.

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη Καβάλας - Ξάνθης - Κομοτηνής, μολονότι συνιστά συνολικά μια ABA - ΔNΔ έως Α - Δ διεύθυνσης ρηξιγενή ζώνη, ωστόσο, αποτελείται από επιμέρους



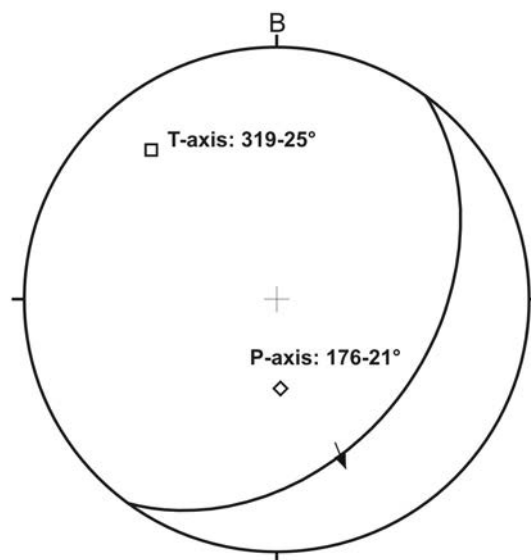
Σχήμα 38. Η ρηξιγενής ζώνη Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής στο τμήμα Ξάνθης-Κομοτηνής. Η ζώνη προσδιορίζεται από τη συνένωση προϋπαρχόντων ρηγματίων σε διάφορες διευθύνσεις όπως ΒΑ-ΝΔ, Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ. Με μπλέ τετράγωνο ο ιστορικός σεισμός της Κομοτηνής, όπως αναφέρεται από τους Parazachos & Parazachou, (1997).

προϋπάρχοντα τμήματα ρηγμάτων τα οποία έχουν διαφορετικούς προσανατολισμούς και τα οποία στη συνέχεια συνενώθηκαν στο ενεργό γεωτεκτονικό πλαίσιο (Σχ. 38). Τα τμήματα αυτά από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι τα εξής:

- (1) το τμήμα ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ
- (2) το τμήμα ρήγματος Ξάνθης-Ιασμου με διεύθυνση Α-Δ,
- (3) το τμήμα ρήγματος Ιασμου-Αγιάσματος με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ
- (4) το τμήμα ρήγματος Αγιάσματος-Σκαλώμα με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση

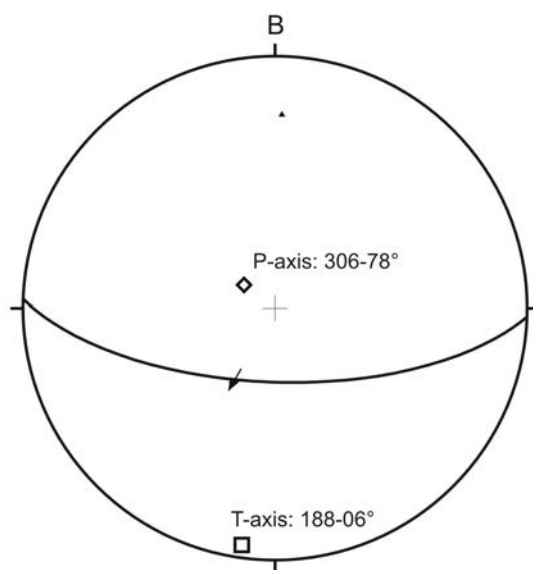
Το τμήμα ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς τα ΝΑ εμφανίζει μήκος περί τα 45km. Διαχωρίζει την περιοχή σε δύο διαφορετικούς γεωμορφολογικά χώρους, αυτόν του ορεινού όγκου Λεκάνης και αυτόν του πεδινού χώρου ανάπτυξης του αλλουβιακού ριπιδίου Χρυσούπολης στην έξοδο του ποταμού Νέστου. Ο ορεινός όγκος αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και το αλλουβιακό πεδίο αποτελείται από Ολοκαινικές αποθέσεις.

Στο χωριό Παράδεισος κατά μήκος ρηξιγενών επιφανειών παράλληλων προς το τμήμα ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης προσδιορίζουν ως πιο πρόσφατη κίνηση, δεξιόστροφη πλαγιοκανονική και έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 39).



Σχήμα 39. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Το τμήμα ρήγματος Ξάνθης-Ιασμου με γενική διεύθυνση Α-Δ, μεγάλες κλίσεις προς τα Ν και με αριστερόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση (Σχ. 40) έχει συνολικό μήκος περί τα 29km. Από τη χαρτογράφηση που πραγματοποιήσαμε προκύπτει ότι το τμήμα ρήγματος Ξάνθης-Ιασμου αποτελείται από ρηξιγενείς επιφάνειες που προσανατολίζονται σε ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση έως Α-Δ. Ανατολικά της Ξάνθης και μέχρι το χωριό Φίλια δηλαδή σε μήκος περίπου 6km, οι επιφάνειες αυτές είναι συνθετικές, έχουν διεύθυνση Α-Δ και μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα Νότια (π.χ. ρηξιγενείς επιφάνειες Κιμμέριας και Λευκόπετρας-Φίλιας). Αντίθετα, μεταξύ των χωριών Σήμαντρα και Κοπτερόν οι ρηξιγενείς επιφάνειες έχουν ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση. Ανατολικότερα του Κοπτερού και μέχρι το χωριό Ιασμος το ρήγμα εμφανίζει ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση και μήκος περί τα 8.5km περίπου. Η κινηματική του ρήγματος αυτού (Σχ. 40) προσδιορίζει μέγιστη έκταση σε ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση.

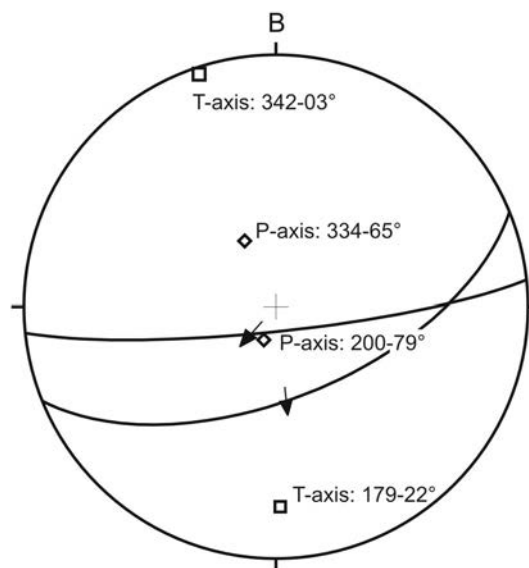


Σχήμα 40. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ξάνθης-Ιασμου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Το τμήμα ρήγματος Ιασμου-Αγιάσματος με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ εμφανίζει συνολικό μήκος 17km, ενώ πιθανόν συνεχίζεται και βορειοανατολικότερα με ακόμη μεγαλύτερο μήκος. Στο σύνολό του κλίνει προς τα ΝΝΑ διαμορφώνοντας το πεδινό τμήμα της Κομοτηνής, ενώ στο τμήμα ανάμεσα στο χωριό Σώστης και Μέγα Πιστόν αναγνωρίζονται μέσα στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα μικρού ύψους τεκτονικά

πρηνή-αναβαθμοί παράλληλα προς τη διεύθυνση του ρήγματος, τα οποία δείχνουν την πρόσφατη δράση του ρήγματος και ενδεχομένως να έχουν προκληθεί από την δραστηριοποίηση του τμήματος Ίασμου-Αγιάσματος κατά τον ιστορικό σεισμό της Κομοτηνής, αφού ο σεισμός αυτός προσδιορίζεται στο κέντρο σχεδόν του τμήματος-ρήγματος αυτού (Parazachos & Parazachou, 1997). Παρόλα αυτά, επειδή ο συγκεκριμένος σεισμός είναι ιστορικός και ο προσδιορισμός του δεν στηρίζεται σε ενόργανες καταγραφές, γι αυτό και διατηρούμε κάποια επιφύλαξη για την απόλυτη σύνδεση του σεισμού αυτού με το συγκεκριμένο τμήμα ρήγματος.

Το ρήγμα Ιασμου-Αγιάσματος εμφανίζει σημαντική ευθύγραμμη ανάπτυξη και αποτελείται από δύο κύριους κλάδους ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης. Τον κλάδο Πολύανθου-Μέγα Πίστιου με μήκος 6km περίπου και τον κλάδο Μέγα Πίστιου-Αγιάσματος με μήκος 9km περίπου. Η κινηματική του ρήγματος Ιασμου-Αγιάσματος προσδιορίζεται μέγιστη έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 41).

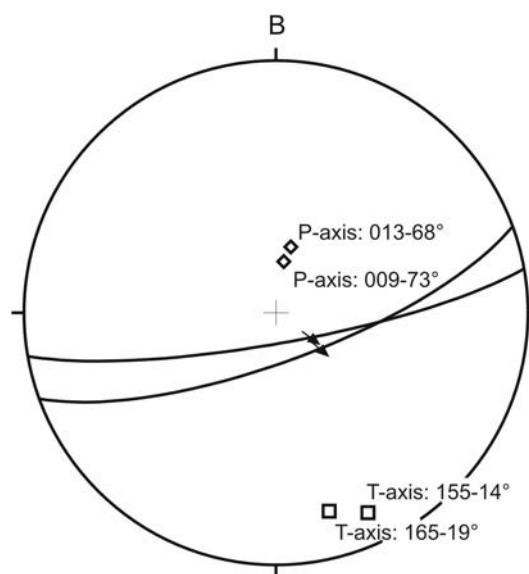


Σχήμα 41. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ιασμου-Αγιάσματος. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ανατολικότερα της Κομοτηνής, το ρήγμα μετατίθεται προς ΝΑ κατά μήκος της γραμμής Γρατινή-Φιλλυρά-Σκάλωμα, όπου εμφανίζει Α-Δ διεύθυνση. Τα ρήγματα αυτά

ορειοθετούν προς τα βόρεια το πεδινό τμήμα της ευρύτερης περιοχής Κομοτηνής-Σάπες. Μάλιστα, τη διεύθυνση αυτή παρακολουθούν και μεγάλα ποτάμια της περιοχής, όπως το "Κακό Ρέμα", αλλά και σε πολλά σημεία τα ρέματα με κατεύθυνση προς τα Νότια εμφανίζουν φαινόμενα πειρατείας. Επιπλέον, βόρεια της Φιλλυράς παρατηρούνται και μέσα στα Νεογενή ιζήματα ρήγματα παράλληλα προς το κρασπεδικό ρήγμα.

Η κινηματική των ρηγμάτων αυτών προσδιορίζει μέγιστη έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 42).



Σχήμα 42. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήματος Γρατινή-Φιλλυρά-Σκάλωμα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Η σύγχρονη σεισμικότητα της περιοχής όπως προκύπτει από τις ενόργανες καταγραφές των τελευταίων δεκαετιών είναι ιδιαίτερα μικρή. Ωστόσο, αναγνωρίζονται εύκολα σεισμοί στο πεδινό τμήμα νότια της ρηξιγενούς ζώνης Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής και σ'όλο το μήκος της. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν συγκεκριμένες αποδείξεις ότι η ρηξιγενής ζώνη Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής συνδέεται με σύγχρονη σεισμική δραστηριότητα. Υπάρχουν ορισμένες ιστορικές πηγές που παρουσιάζουν στοιχεία τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ενδείξεις ότι το ρήγμα συνδέεται με κάποιους ιστορικούς σεισμούς που έχουν αναφερθεί στην ευρύτερη περιοχή, και ειδικότερα με το σεισμό της Κομοτηνής που συνέβη στις 6/11/1784 με μέγεθος $M = (6.7)$ (Papazachos & Papazachou, 1997) (Σχ. 38).

Οι παρατηρήσεις ότι η ρηξιγενής αυτή γραμμή διαμορφώνει σ' όλο της το μήκος την απόθεση των Τεταρτογενών ιζημάτων στα πεδινά τμήματα και ότι σε ορισμένες θέσεις σχηματίζονται πρηνή-αναβαθμοί μέσα στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα (π.χ. τμήμα Ιασμου-Αγιάσματος) δείχνουν την πρόσφατη δράση αυτής και ενδεχομένως και την σεισμική τμήματος δράση αυτής. Τα παραπάνω στοιχεία συνηγορούν στο χαρακτηρισμό της ρηξιγενούς ζώνης Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής ως ενεργού.

Ρηξιγενής ζώνη Δράμας-Προσοτσάνης

Στην ευρύτερη περιοχή της Δράμας αναφέρεται ιστορικά ότι συνέβη ένας μεγάλος σεισμός μεγέθους $M=7.0$ το 1829, ο οποίος προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στη πόλη της Δράμας. Για το λόγο αυτό, αλλά και γιατί στην ίδια περιοχή αναπτύσσεται η Νεογενής και Τεταρτογενή λεκάνη Δράμας, ο σχηματισμός της οποίας αποδίδεται στη νεοτεκτονική δράση ρηγμάτων, έγινε προσπάθεια να μελετηθεί το βόρειο περιθώριο της λεκάνης, αφού αυτό έχει διεύθυνση Α-Δ, μια διεύθυνση που χαρακτηρίζει τα περισσότερα ενεργά ρήγματα του εσωτερικού Ελληνικού χώρου. Κατά συνέπεια, η ρηξιγενής ζώνη Δράμας προσδιορίζεται στο βορειότερο τμήμα της ομώνυμης λεκάνης να διαμορφώνει με γενική διεύθυνση Α-Δ τις νότιες παρυφές του ορεινού όγκου Φαλακρού και παράλληλα να οριοθετεί προς τα βόρεια την ανάπτυξη της μεγάλης Νεογενούς-Τεταρτογενούς λεκάνης Δράμας.

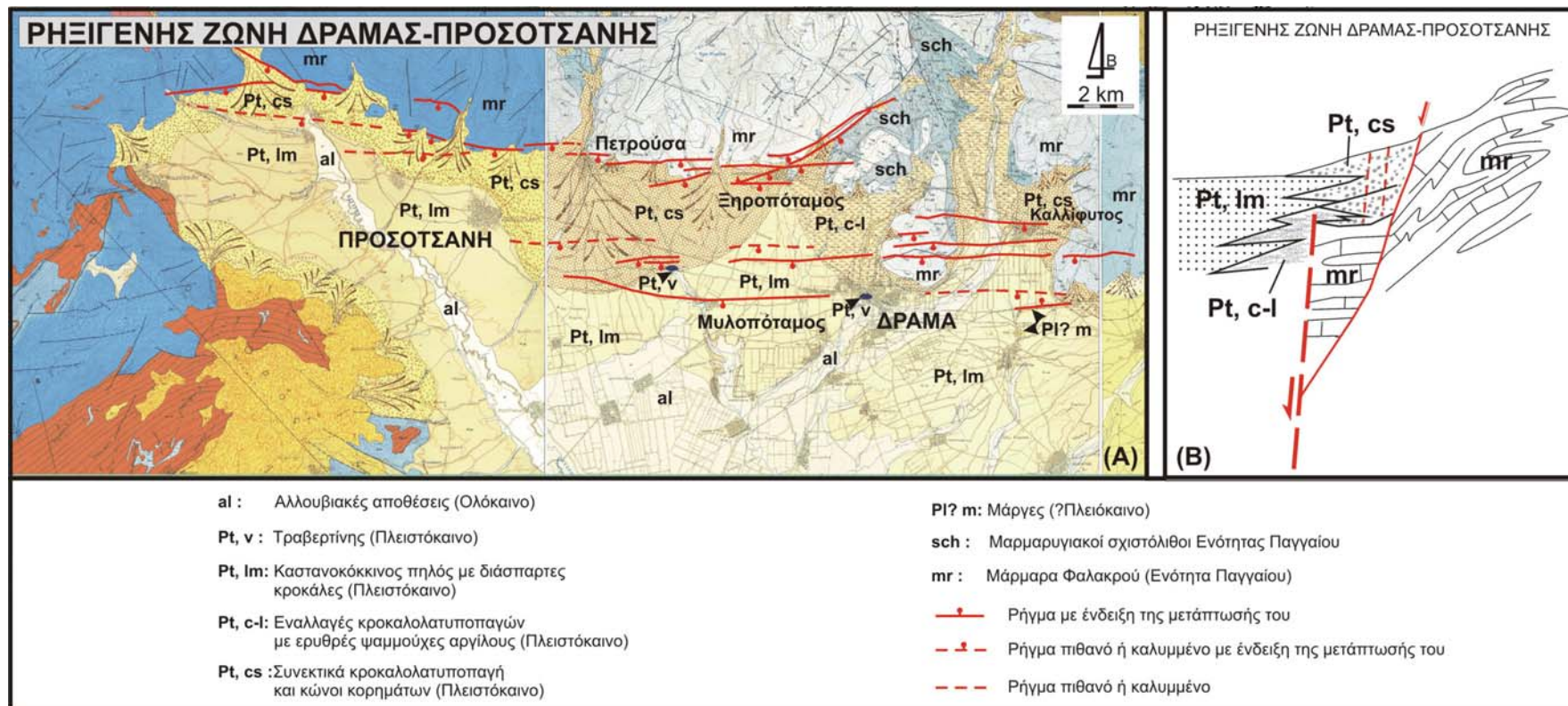
Η ρηξιγενής ζώνη Δράμας-Προσοτσάνης είναι δύσκολα ανιχνεύσιμη, κατά την υπαίθρια διερεύνηση, εξαιτίας του πολύ μεγάλου πάχους και πλάτους των ριπιδίων που καλύπτουν το ρηξιγενές μέτωπο των νότιων παρυφών του Φαλακρού όρους, αλλά και από το γεγονός ότι η ζώνη αυτή δεν χαρακτηρίζεται από μια κύρια σαφή και συνεχή επιφάνεια ρήγματος με σχηματισμό χαρακτηριστικών τεκτονικών πρηνών, αλλά από περισσότερους παράλληλους, συνθετικούς κλάδους ρηγμάτων σε διεύθυνση Α-Δ (Σχ. 43α) που ταπεινώνουν προς τα Νότια το δάπεδο της λεκάνης (Σχ. 43β).

Εκτιμάται ότι στο δυτικό τμήμα της ζώνης δηλαδή στο τμήμα Αγγίτη-Προσοτσάνης-Ξηροποτάμου, η κύρια δραστηριοποίηση του ρήγματος έλαβε χώρα πριν την απόθεση των ριπιδίων που σχηματίζονται στην έξοδο των ρεμάτων Σοσίτσα και Ντούμπαρη και καλύπτουν το περιθωριακό ρήγμα της ζώνης, ενώ η σύγχρονη δραστηριοποίηση μεταβιβάζεται στους νοτιότερους κλάδους της, που εντοπίζονται στο

ύψος της πόλης Δράμας, αλλά είναι καλυμμένοι και ιδιαίτερα δύσκολα ανιχνεύσιμοι. Η εκτίμηση αυτή πέρα από τις γενικότερες μορφοτεκτονικές ενδείξεις ενισχύεται από το ότι στα ανατολικά της πόλης Δράμας και νότια του χωριού Καλλίφυτος αναγνωρίστηκε Α-Δ ρηξιγενής γραμμή με πρόσφατη Τεταρτογενή δραστηριότητα συνδεδεμένη με κανονική κίνηση, ενώ τόσο στη πόλη της Δράμας, όσο και δυτικότερα, σε απόσταση 1km βόρεια από το χωριό Μυλοπόταμος σχηματίζονται τραβερτινοειδείς αποθέσεις που προφανώς συνδέονται με την ύπαρξη κλάδων ρηγμάτων σε διεύθυνση Α-Δ. Οι παραπάνω γεωλογικές ενδείξεις συνηγορούν ότι η ρηξιγενής ζώνη Δράμας-Προσοτσάνης αποτελεί πιθανή ενεργή ζώνη διάρρηξης.

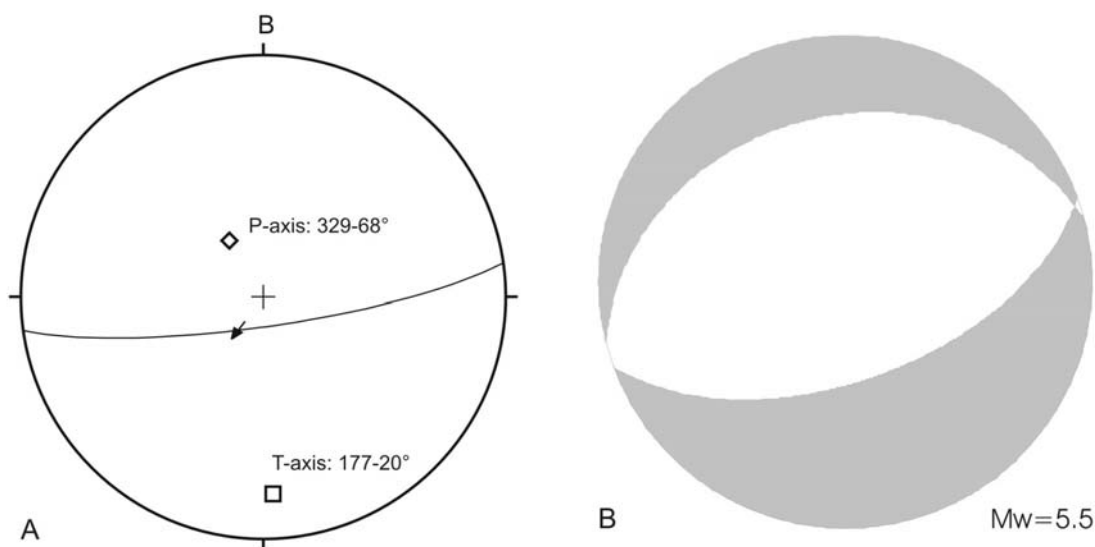
Το ρήγμα, όπως προκύπτει από τη διαμόρφωση του βόρειου τμήματος της λεκάνης και την απόθεση των Τεταρτογενών σχηματισμών, εμφανίζει συνολικό μήκος 30 km περίπου, ωστόσο τα τμήματα-κλάδοι αυτού είναι αρκετά μικρότερου μήκους, συνήθως από 5-10km, όπως αυτά προσδιορίζονται από τα μορφοτεκτονικά στοιχεία τους.

Η ρηξιγενής ζώνη Δράμας-Προσοτσάνης είναι ουσιαστικά ένα από τα μεγάλα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης που αναγνωρίζονται στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία, όπως π.χ αυτό της Κερκίνης, των Σερρών, της Ξάνθης κλπ., τα οποία χαρακτηρίζονται από κανονική έως πλαγιοκανονική κίνηση, ενώ η διεύθυνση τους είναι σημαντικά ευνοϊκή για δραστηριοποίηση με το ενεργό πεδίο των τάσεων του ευρύτερου χώρου (εγκάρσια ως προς τον ελάχιστο κύριο άξονα τάσης σ_3) (Σχ. 44α).



Σχήμα 43. (α) Η ρηξιγενής ζώνη Δράμας, όπως χαρτογραφήθηκε στο παρόν ερευνητικό έργο, δεν αποτελείται από ένα ενιαίο και συνεχές ίχνος, αλλά από περισσότερους κλάδους-τμήματα ρηγμάτων, τα περισσότερα από τα οποία είναι καλυμμένα από τα Τεταρτογενή ιζήματα, (β) σχηματική γεωλογική τομή εγκάρσια στη ρηξιγενή ζώνη Δράμας.

Παρόμοια γεωμετρική και κινηματική προσδιορίζεται και από το μηχανισμό γένεσης του σεισμού της 9 Νοεμβρίου 1990 με μέγεθος Mw-5.5 (Σχ. 44β).



Σχήμα 44. (α) Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρηξιγενούς ζώνης Δράμας, όπως προσδιορίζεται στη περιοχή της Δράμας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα, (β) ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού Δράμας που συνέβη στις 9 Νοεμβρίου 1990 εμφανίζει παρόμοια γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά και έκταση σε BBD-NNA διεύθυνση.

Ρηξιγενής ζώνη Σερρών-Νέας Ζίχνης

Στο χώρο βόρεια και βορειοανατολικά της πόλης των Σερρών μέχρι και το χωριό Μέταλλα διαμορφώνεται μια σύνθετη ρηξιγενής ζώνη, η οποία καθορίζει την ανάπτυξη του Μενοικίου όρους προς τα Νότια για ένα μήκος περίπου 19km.

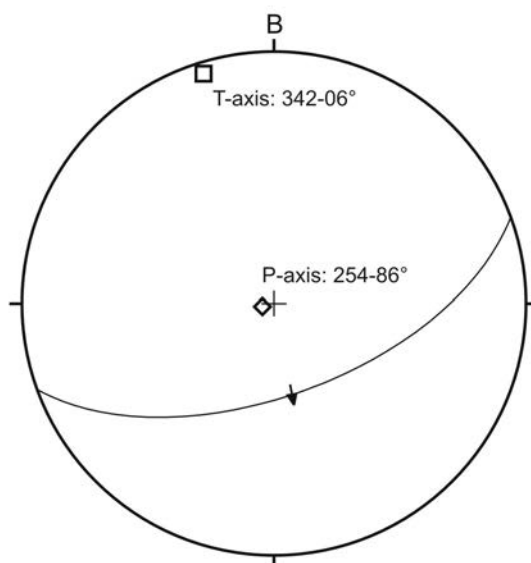
Η ζώνη αυτή διακρίνεται σε δύο τμήματα: (α) στο τμήμα Σερρών-Αγ. Πνεύματος με ABA-ΔΝΔ έως Α-Δ διεύθυνση και μήκος 13km περίπου, και (β) στο τμήμα Αγ. Πνεύματος-Μέταλλα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και μήκος 6km περίπου.

Στο (α) τμήμα Σερρών-Αγ. Πνεύματος αναγνωρίζονται τρία τουλάχιστον κανονικά ρήγματα χιλιομετρικής τάξης και διεύθυνσης Α-Δ, με μεγάλη γωνία κλίσης και μετάπτωση προς Νότο. Τα ρήγματα αυτά φαίνονται να είναι υπεύθυνα για τη σταδιακή προς Νότο ταπείνωση του Μενοίκιου όρους στην περιοχή αυτή και πιθανόν είναι παράλληλες ρηξιγενείς επιφάνειες που στο βάθος ενώνονται σε ένα κύριο μεγάλο ρήγμα που βυθίζει προς Νότο το υπόβαθρο της Ροδόπης και δημιουργεί το βύθισμα των Σερρών. Η κύρια ρηξιγενής ζώνη προσδιορίζεται κατά μήκος της γραμμής Αγ. Ιωάννη-Επτάμυλοι-Οινούσα-Αγ. Πνεύμα, η οποία καθορίζει την

ανάπτυξη των σύγχρονων αλλουβιακών ριπιδίων σε διεύθυνση Α-Δ και διαμορφώνει τεκτονικές αναβαθμίδες-πρανή και μέσα στα Τεταρτογενή ιζήματα.

Το (β) τμήμα Αγ. Πνεύματος-Μέταλλα φαίνεται να είναι περίπου 700m νοτιότερα του τμήματος Σερρών-Αγ. Πνεύματος προσδιορίζοντας μια δεξιόθετη γεωμετρία μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων. Η μετάθεση αποδίδεται στην ύπαρξη του ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματος Αγ. Πνεύματος-Μικρόπολης, το οποίο φαίνεται ως φράγμα μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων. Ωστόσο, η ενοποίηση των δύο αυτών τμημάτων δηλαδή η διαμόρφωση ενός ενιαίου τμήματος Σερρών-Μετάλλων και το σπάσιμο του φράγματος (barrier) φαίνεται να έχει συμβεί μέσω της γραμμής Νέου Σουλίου, η οποία τελικά συνδέει τα δύο αυτά τμήματα.

Οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που καταγράφηκαν κατά μήκος αυτού είναι σχεδόν κατακόρυφες και προσδιορίζουν κανονική κίνηση έως δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση (Σχ. 45). Οι κινηματικοί άξονες που προσδιορίζονται είναι T: 342-06° και P: 254-86°.



Σχήμα 45. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία της ρηξιγενούς ζώνης Σερρών. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Από το χωρίο Μέταλλα και νοτιοανατολικότερα αναγνωρίζεται μια ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ να υλοποιείται κατά μήκος των χωριών Δαφνούδι-Γάζωρος και να συνεχίζει μέχρι και στο χώρο Νότια της Νέας Ζίχνης με μήκος 10km περίπου. Η ζώνη αυτή εμφανίζεται να είναι δεξιόθετα μετατιθεμένη σε σχέση με το τμήμα Αγ. Πνεύματος-Μέταλλα, ωστόσο, δεν φαίνεται να αποτελεί εξίσου ενεργή γραμμή με το

τμήμα Σέρρες-Μέταλλα. Η δευτερογενής δραστηριοποίηση φαίνεται να είναι περισσότερο αρμοστή για το κλάδο αυτό.

Η ρηξιγενής ζώνη Σερρών-Μετάλλων αποτελεί μια ενεργό ζώνη διάρρηξης γιατί στο μεγαλύτερο τμήμα της κόβει Πλειστοκαινικά ιζήματα, ενώ η προς τη Νέα Ζίχνη συνέχειά της φαίνεται να αποτελεί αποτέλεσμα δευτερογενούς δραστηριοποίησης και για το λόγο αυτό το τελευταίο αυτό τμήμα χαρακτηρίζεται ως πιθανό ενεργό.

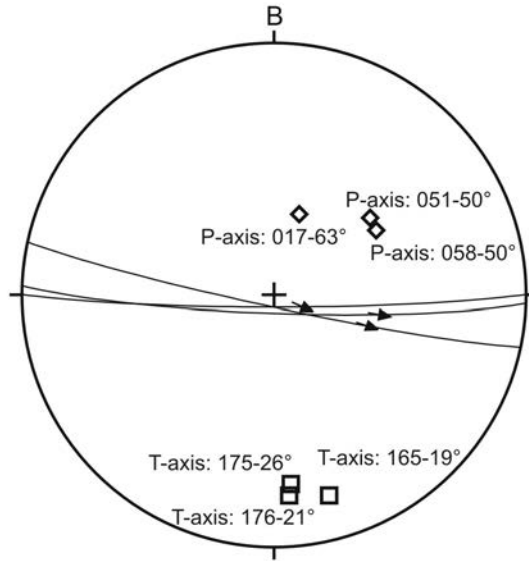
Ομάδα Ενεργών ρηγμάτων Οφρυνίου-Γαληψού

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.

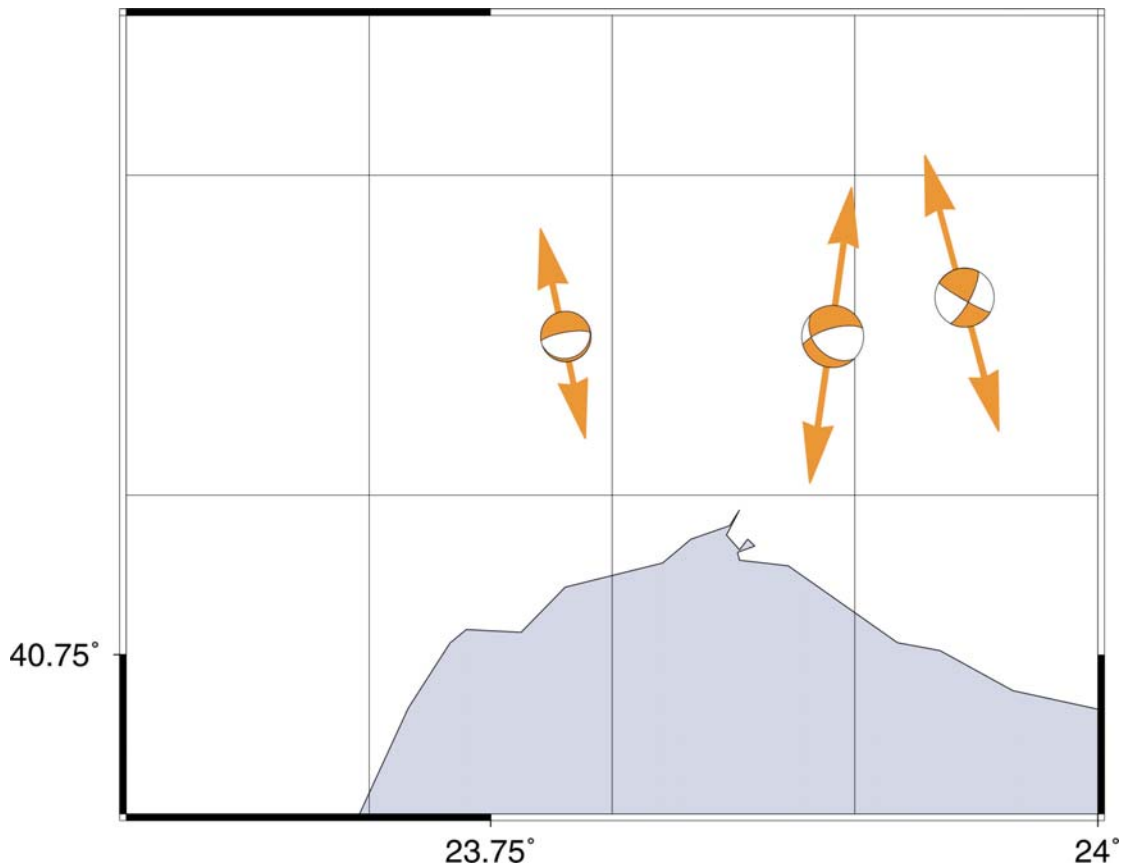
Αναγνωρίζονται τουλάχιστον τρεις κύριες ρηξιγενείς γραμμές παράλληλες μεταξύ τους που κλιμακωτά ταπεινώνουν τη νότια πλευρά του Παγγαίου, με κυριότερη τεκτονική γραμμή αυτή που διέρχεται Βόρεια από τὰ χωριά Οφρύνιο και Γαληψός.

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°. Το συνολικό του μήκος είναι 10km.

Σημαντική είναι η κινηματική αυτού του ρήγματος και ιδιαίτερα η ενεργός δράση του, η οποία προκύπτει από τα εξής: οι γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (σχ. 46) σε συσχετισμό με άλλα γνωστά, της ίδιας γεωμετρίας, ενεργά ρήγματα στις γειτονικές περιοχές, παρουσιάζουν συμβατότητα με το Β-Ν εφελκυστικό πεδίο που επικρατεί και σήμερα στην ευρύτερη περιοχή όπως προκύπτει από τους υπάρχοντες μηχανισμούς γένεσης των σεισμών (σχ. 47). Επίσης στο χωριό Γαληψός βρέθηκαν, μέσα σε αλλουβιακά ριπίδια Τεταρτογενούς ηλικίας, μικρά κανονικά ρήγματα παράλληλα προς αυτό και με μετάπτωση προς Νότο.



Σχήμα 46. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία της ομάδας ρηγμάτων Οφρυνίου-Γαληψού. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.



Σχήμα 47. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών στην περιοχή Οφρυνίου-Γαληψού-ΝΑ Παγγαίου. Η παρουσίαση των μηχανισμών (χρώματα κλπ.) είναι όπως και αυτή των σχημάτων 19 και 21.

Οι άλλες δύο νοτιότερες ρηξιγενείς γραμμές κόβουν Άνω 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. Επιπλέον τα παράλληλα επιμήκη ρέγματα που ξεκινούν από τις παρυφές του όρους Παγγαίου και κατευθύνονται στον κόλπο του Στρυμώνα εκτρέπονται τοπικά σε συγκεκριμένα σημεία, τα οποία υλοποιούν νοητές γραμμές Α-Δ διεύθυνσης.

4.1.2. Τα ρήγματα σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση

Πρόκειται για μεγάλα, χιλιομετρικής τάξης, ρήγματα, τα οποία εμφανίζονται να διαμορφώνουν τη σύγχρονη τοπογραφία και οριοθετούν τις πεδινές εκτάσεις.

Στα ρήγματα αυτά μεταξύ άλλων εντάσσονται το ρήγμα Αισύμης-Σουφλίου, το ρήγμα Φερρών, το ρήγμα Παγγαίου (Ελευθερούπολης), το ρήγμα Αγίου Πνεύματος, το ρήγμα Ροδολίβους-Πρώτης Σερρών και το υποθαλάσσιο ρήγμα Καβάλας. Το τελευταίο αποτελεί τμήμα της μεγάλης ρηξιγενούς γραμμής Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής. Το μήκος των ρηγμάτων αυτών ποικίλει από 15-40km, ενώ παρουσιάζουν πολύ ισχυρή συγκέντρωση όσον αφορά τον προσανατολισμό. Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε το ρήγμα Αισύμης-Σουφλίου, στο οποίο είχε αποδοθεί ο ιστορικός σεισμός του 1752 με μέγεθος $M=7.4$ και ο οποίος αναφέρεται ως σεισμός Διδυμότειχου (Παπαζαχος & Παπαζαχου 1997), αλλά και μια δεξιόστροφη οριζόντιας μετατόπισης κινηματική συμπεριφορά (Παπαζάχος κ.ά. 2001).

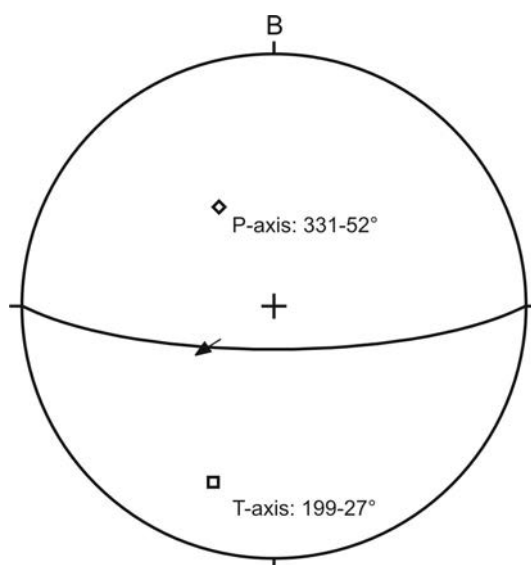
Η ρηξιγενής ζώνη Αισύμης-Σουφλίου

Η ρηξιγενής ζώνη Αισύμης-Σουφλίου με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΑ εμφανίζει συνολικό μήκος 35km περίπου. Κατά μήκος αυτής σχηματίζονται στενές κοιλάδες σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, όπως αυτή που βρίσκεται ΒΑ της Αισύμης και αυτή που βρίσκεται ΒΒΑ της Δαδιάς.

Στο τμήμα της Δαδιάς, το ρήγμα ορειοθετεί την ανάπτυξη των μολασσοειδών ιζημάτων σε σχέση με το προαλπικό υπόβαθρο, το οποίο περιορίζεται ΒΔ του ρήγματος και αποτελείται από πρασινοσχιστόλιθους, γνεύσιους και οφειολιθικά πετρώματα. Η ρηξιγενής αυτή γραμμή εμφανίζει χαρακτηριστικά μιας παλαιάς διατημητικής ζώνης με κύρια την οριζόντια συνιστώσα κίνησης και κίνηση του

υπερκείμενου προς τα ΒΑ. Τμήμα όμως αυτής εμφανίζει να έχει υποστεί μια νεότερη δραστηριοποίηση σε θραυστιγενείς συνθήκες προσδιορίζοντας έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση. Ωστόσο, μέσα στο ρέμα της Διαδιάς, κατά μήκος του Α-Δ διεύθυνσης ρήγματος Διαδιάς, το οποίο κλίνει προς τα Βόρεια, βρέθηκε Α-Δ διεύθυνσης αντιθετική ρηξιγενής επιφάνεια με γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, η οποία προσδιορίζει δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση και μέγιστη έκταση σε ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση (T: 199-27°) (Σχ. 48).

Το ρήγμα θεωρήθηκε πιθανό ενεργό επειδή στην περιοχή αυτή αναφέρεται ο σεισμός του Διδυμότειχου που συνέβει το 1752 με μέγεθος $M=7.5$ (Parazachos & Parazachou, 1997) οι ισόστεισες του οποίου βρίσκονται σε απόλυτη ταύτιση με τη διεύθυνση του συγκεκριμένου ρήγματος.



Σχήμα 48. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία αντιθετικής ρηξιγενούς επιφάνειας ως προς το ρήγμα Διαδιάς που βρέθηκε κατά μήκος αυτού. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

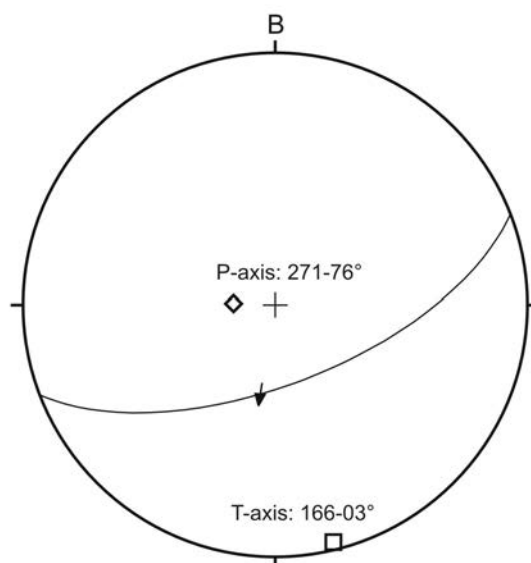
Παρ' όλα αυτά δεν υπάρχουν σαφείς γεωλογικές ενδείξεις ότι το συγκεκριμένο ρήγμα έχει πρόσφατη δράση.

Η ρηξιγενής ζώνη Παγγαίου (Ελευθερούπολης)

Η ρηξιγενής ζώνη Παγγαίου εμφανίζει ένα μήκος 20km περίπου σε ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση διαμορφώνοντας τη στενή κοιλάδα ή λεκάνη Ελευθερούπολης-Ποδοχωρίου. Το κύριο ρήγμα οριοθετεί τις νότιες παρυφές της λεκάνης και κλίνει με μεγάλη γωνία κλίσης προς τα ΒΒΔ. Μορφοτεκτονικά διαμορφώνει ευθύγραμμο

τεκτονικά πρηνή-αναβαθμούς, τα οποία παρατηρούνται μεταξύ των χωριών Μέλισσα και Εξοχή και οι οποίες καθορίζουν την απόθεση των Τεταρτογενών ιζημάτων. Αντίθετα, στις βόρειες παρυφές της κοιλάδας, στις οποίες βάσει των υπάρχουσών βιβλιογραφικών δεδομένων υπήρχε ανάλογο και για αρκετούς το κύριο ρήγμα της κοιλάδας δεν βρέθηκε μια ενιαία ρηξιγενής γραμμή, αλλά μικρότερου μήκους ρήγματα σε διεύθυνση Α-Δ και ΑΒΑ-ΔΝΔ, τα οποία σαφώς και κλίνουν προς τα Νότια, διαμορφώνοντας τεκτονικά πρηνή και βαθμίδες μικρότερου όμως μήκους. Η κοιλάδα, η οποία πληρώνεται με Τεταρτογενή ιζήματα παρουσιάζει μια ασύμμετρη βύθιση προς τα Νότια, γεγονός που συνηγορεί για το ότι το κύριο ρήγμα αποτελεί ένα πιθανό ενεργό ρήγμα, το οποίο βρίσκεται στις νότιες παρυφές της κοιλάδας και κλίνει προς τα ΒΒΔ. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μηχανισμοί γένεσης μικρών σεισμών στην περιοχή εμφανίζουν ανάλογη κινηματική συμπεριφορά των σεισμικών ρηγμάτων (σχ. 47).

Κατά την υπαίθρια έρευνα, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί η κινηματική



Σχήμα 49. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ποδοχωρίου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

συμπεριφορά της ρηξιγενούς αυτής ζώνης, ωστόσο, δεν κατέστη δυνατόν να βρεθούν κινηματικά στοιχεία για το κύριο ρήγμα. Αντίθετα, πλησίον του χωριού Ποδοχωρίου σε ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης σε παράλληλη προς την ανάπτυξη της λεκάνης ρηξιγενή επιφάνεια, η οποία κλίνει προς τα ΝΝΑ και είναι αντιθετική του κύριου ρήγματος

Παγγαίου βρέθηκαν γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι οποίες προσδιορίζουν έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 49) και εμμέσως προσδιορίζουν και τη συμπεριφορά του κύριου ρήγματος ως κανονικό γενικά ρήγμα.

Ενεργό υποθαλάσσιο ρήγμα του κόλπου της Καβάλας

Το ρήγμα έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (50-60°) και μετάπτωση προς τα ΝΑ. Είναι παράλληλο με τη ρηξιγενή γραμμή Παγγαίου που περιγράφηκε προηγουμένως και αποτελεί την συνέχεια της ρηξιγενούς γραμμής Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής.

Εντοπίστηκε από τις υποθαλάσσιες γεωλογικές και γεωφυσικές έρευνες πετρελαίου που είχαν γίνει στο θαλάσσιο χώρο Καβάλας-Πρίνου και σύμφωνα με τη στρωματογραφία των υποθαλάσσιων ιζημάτων που επηρεάζει το ρήγμα πρέπει να θεωρηθεί ενεργό γι' αυτό και αναφέρεται. Δεν υπάρχουν όμως υπαίθριες γεωλογικές παρατηρήσεις στην πιθανή συνέχεια του στην ξηρά.

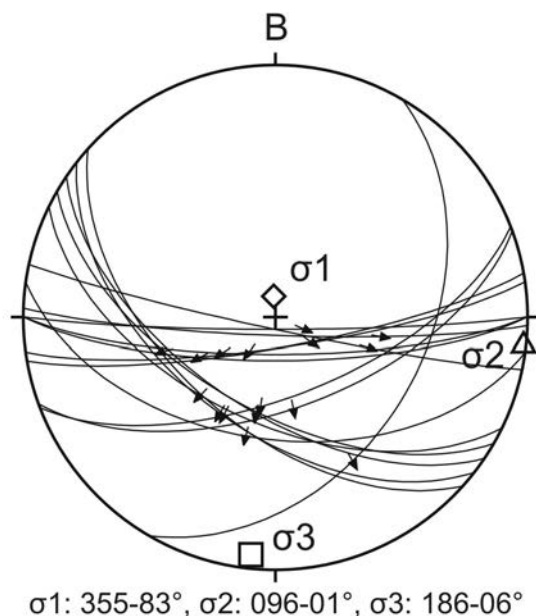
4.1.3. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης

Οι έρευνες στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης για τον προσδιορισμό του εντατικού πεδίου που διέπει την περιοχή πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες θέσεις ή ρήγματα στο χώρο αυτό. Από τις έρευνες αυτές διαπιστώνεται ότι στη περιοχή επικρατεί εκτατικό εντατικό πεδίο με μέγιστο εκτατικό άξονα που κυμαίνεται στις διάφορες θέσεις από ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση έως ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση, με κυρίαρχη όμως τη τελευταία.

Το γεγονός ότι η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή και διάσπαρτη σεισμικότητα, δεν επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό του εντατικού πεδίου με σεισμολογική προσέγγιση. Ωστόσο, από τους λίγους μηχανισμούς γένεσης που υπάρχουν φαίνεται ότι ο μέγιστος εκτατικός άξονας (T) προσανατολίζεται σε ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση.

Στην παρούσα έρευνα επιχειρείται να προσδιοριστεί το εντατικό πεδίο μέσω της γεωμετρίας και της κινηματικής των μεγάλων ρηγμάτων που αναλύθηκαν και περιγράφηκαν παραπάνω και εκτείνονται σε όλη την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι το εντατικό πεδίο στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης είναι εκτατικό με ελάχιστο κύριο άξονα

τάσης (σ_3) σχεδόν οριζόντιο σε BBA-NNΔ διεύθυνση και μέγιστο κύριο άξονα τάσης (σ_1) σχεδόν κατακόρυφο (Σχ. 50).



Σχήμα 50. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης όπως προσδιορίζεται από τα μεγάλα ενεργά ρήγματα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της έκθεσης θα γίνει η συσχέτιση των αποτελεσμάτων αυτών για το πεδίο των τάσεων που προέκυψαν από τη μελέτη των ρηγμάτων στο ύπαιθρο με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της πρόσφατης σεισμολογικής έρευνας που έγινε στα πλαίσια αυτού του προγράμματος για να εξαχθούν τα τελευταία συμπεράσματα για το πεδίο των τάσεων στην Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, όπως και για όλες τις περιοχές που καλύπτει το παρόν ερευνητικό έργο.

4.2. Περιοχή Κεντρικής Μακεδονίας

Η Κεντρική Μακεδονία (Σχ. 34), από φυσικογεωγραφική άποψη, αποτελεί κατά βάση μια πεδινή και λοφώδη περιοχή, η οποία περιβάλλει ορισμένους ορεινούς όγκους που δεν υπερβαίνουν σε ύψος το 1.5km. Οι ορεινοί όγκοι της Κερκίνης, του Πάικου, της Τζένας και του Βόρα στα Βόρεια, του Βερμίου στα Δυτικά και του Ολύμπου στα Νότια αποτελούν σαφή ορειοθετικά φυσικογεωγραφικά στοιχεία της

Κεντρικής Μακεδονίας. Αντίθετα, στα Ανατολικά και Νότια ο χερσαίος χώρος της Κεντρικής Μακεδονίας ορειοθετείται από τον ποταμό Στρυμόνα, και από το θαλάσσιο χώρο του Θερμαϊκού κόλπου και γενικότερα του Βορείου Αιγαίου αντίστοιχα.

Οι ορεινοί όγκοι, τα πεδινά τμήματα και τα ποτάμια εμφανίζουν μια σαφή ΒΒΔ-ΝΝΑ ανάπτυξη, η οποία όμως φαίνεται να τροποποιείται κατά διεύθυνση Α-Δ σε διάφορες περιοχές και στη διεύθυνση αυτή διαμορφώνονται μικρότερης τάξης φυσικογεωγραφικά στοιχεία όπως η κοιλάδα Πορόιων-Πετριτσίου, η λεκάνη Ανθεμούντα, η Μυγδονία λεκάνη, κ.ά.

Οι ορεινοί όγκοι δομούνται από πετρώματα που εμφανίζουν μια ΒΒΔ-ΝΝΑ τεκτονική υφή και εντάσσονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά στις ζώνες της Σερβομακεδονικής μάζας, της Περιοδοπικής, της ζώνης Αξιού (με τις υποζώνες Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας).

Εκτός των ορεινών όγκων τα υπόλοιπα κύρια φυσικογεωγραφικά στοιχεία που αναγνωρίζονται στην Κεντρική Μακεδονία είναι:

(α) Οι ποταμοί Αξιός και Γαλλικός, οι οποίοι με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση διαμορφώνουν μια παρόμοια σε προσανατολισμό επιμήκη κοιλάδα, η οποία διαχωρίζει τον ορεινό όγκο του Πάικου στα Δυτικά από τους ορεινούς όγκους Κρουσίων και Βερτίσκου στα Ανατολικά,

(β) Η μεγάλη πεδιάδα της Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, η οποία ουσιαστικά καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και αποτελεί μια λεκάνη, η οποία ορειοθετείται από ορισμένες τεκτονικές γραμμές διαφορετικού προσανατολισμού,

(γ) Η χερσόνησος της Χαλκιδικής αποτελεί ένα ιδιόμορφο φυσικογεωγραφικό χώρο με τρεις επιμήκεις ΒΔ-ΝΑ χερσονήσους και τον κορμό που χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο, εντός του οποίου αναγνωρίζονται ενδοορεινές κοιλάδες ή πεδινά τμήματα που οφείλονται όπως και οι τρεις επιμήκεις χερσονήσοι στη ρηξιγενή τεκτονική που προκάλεσε ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ.

Ο ρηξιγενής ιστός στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας περιλαμβάνει ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης τα οποία προσανατολίζονται σε: (1) Α-Δ διεύθυνση με κλάδους που αποκλίνουν σε διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ και ΑΒΑ-ΔΝΔ, (2) ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, (3) ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση.

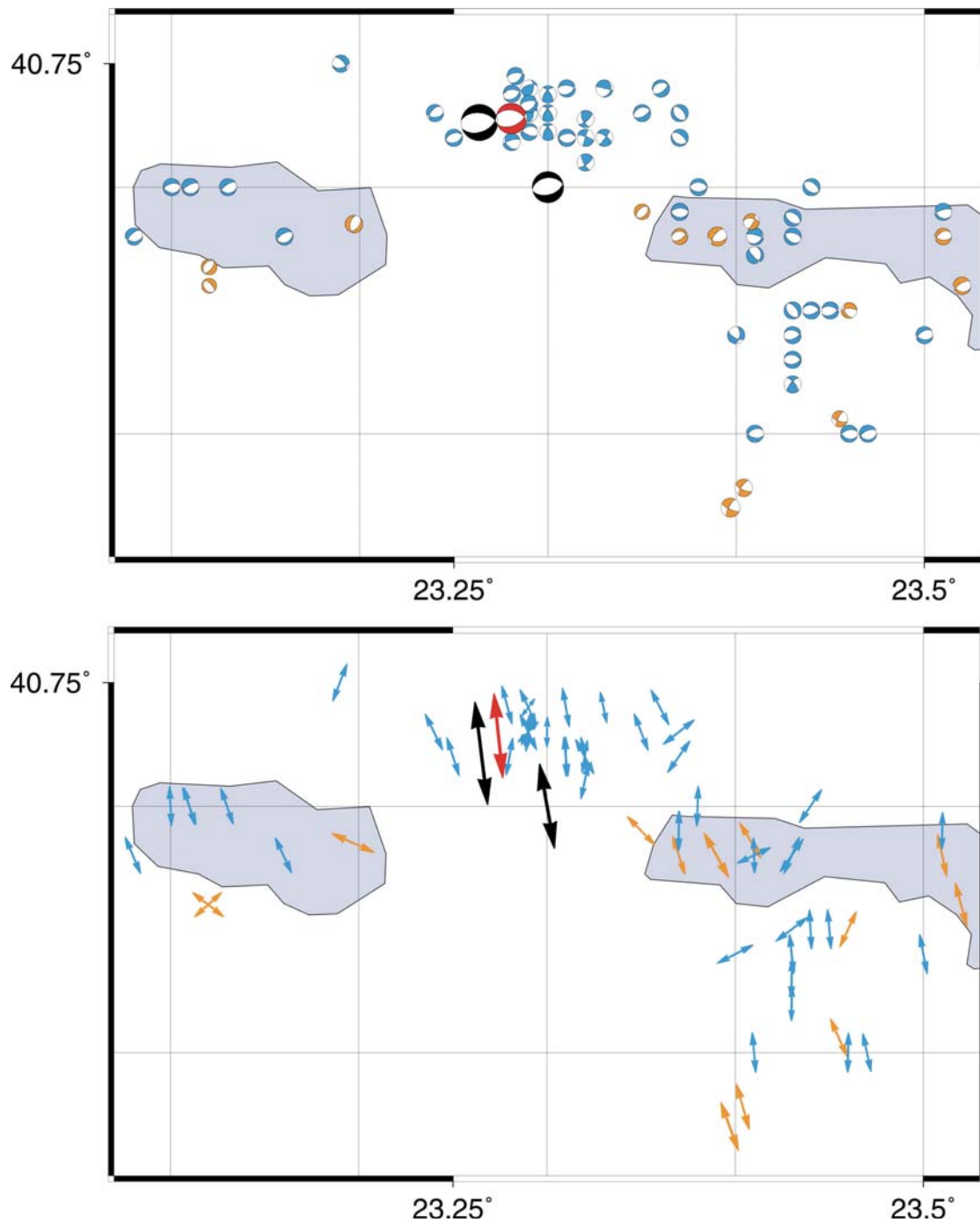
4.2.1 Ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης

Τα ρήγματα αυτά γεωμετρικά εμφανίζουν διακύμανση στη παράταξη από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, η οποία οφείλεται στο ότι αποτελούν συνενώσεις ή ενοποιήσεις προϋπαρχόντων ρηξιγενών γραμμών σ' αυτές τις διευθύνσεις, οι οποίες τείνουν να προσανατολιστούν εγκάρσια ως προς το σύγχρονο εντατικό πεδίο. Ακόμη κινηματικά παρουσιάζουν μια σημαντική ιδιαιτερότητα, η οποία προκύπτει από το γεγονός ότι εμφανίζονται ρήγματα με γενική διεύθυνση Α-Δ να λειτουργούν είτε ως αριστερόστροφα πλαγιοκανονικά ρήγματα είτε ως δεξιόστροφα πλαγιοκανονικά ρήγματα. Και στις δύο περιπτώσεις τα ρήγματα είναι συμβατά με το σύγχρονο εντατικό πεδίο, ωστόσο, προσδιορίζουν μέγιστη έκταση σε γενική διεύθυνση Β-Ν, όμως με μεγάλη διακύμανση.

Σεισμική ρηξιγενής ζώνη Βόλβης

Η πιο σημαντική ρηξιγενής ζώνη που δεσπόζει στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας, είναι αυτή που δημιούργησε και οριοθετεί τη νότια πλευρά του βυθίσματος της Μυγδονίας λεκάνης. Εμφανίζει μια σύνθετη γεωμετρική εικόνα με ρήγματα ή τμήματα ρηγμάτων γενικής διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία όμως συνεχίζονται σε ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ λόγω του ότι ορισμένα τμήματα ρηγμάτων αποτελούν επαναδραστηριοποιήσεις προϋπαρχουσών ρηξιγενών δομών.

Η ζώνη Βόλβης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί τμήματα ρηγμάτων αυτής προκάλεσαν τη σεισμική ακολουθία της Θεσσαλονίκης το 1978 (Papazachos



Σχήμα 51. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών της ευρύτερης περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης (λίμνες Βόλβη – Λαγκαδά), που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη.

et al. 1979a, b), ενώ και ιστορικοί σεισμοί προσδιορίζονται κατά μήκος της ζώνης αυτής (Παπαζάχος & Παπαζάχου 1997). Στη ζώνη αυτή που έχει μήκος περίπου 70km μπορούν να συμπεριληφθούν διάφορα τμήματα ρηγμάτων, όπως το (1) ρήγμα Μελισσοχωρίου, (2) ρήγμα Λητής-Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου, (3) ρήγμα Γερακαρούς-

Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα, (4) ρήγμα Λουτρών Βόλβης – Απολλωνίας, (5) ρήγμα Νέας Μάδυτου.

Πρόσφατη έρευνα παρουσίασε μια διαφοροποιημένη εικόνα για την περιοχή αυτή, στην οποία η ρηξιγενής ζώνη αυτή σχηματίζεται από αριστερόθετα κύρια ρήγματα διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ (N100°) με μήκος 17-20km που γεφυρώνονται από ρήγματα μικρότερου μήκους (8-10km) και διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ δημιουργώντας ένα μεγάλο ενιαίο σύστημα ρηγμάτων από τη Ρεντίνα-Μυγδονία μέχρι τη Θεσσαλονίκη (Tranos et al. 2003, in press). Και στο σύστημα αυτό εντάσσονται και τα ρήγματα στην περιοχή μεταξύ των χωριών που πιθανόν έμμεσα συνδέονται προς τα Ανατολικά με το σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα.

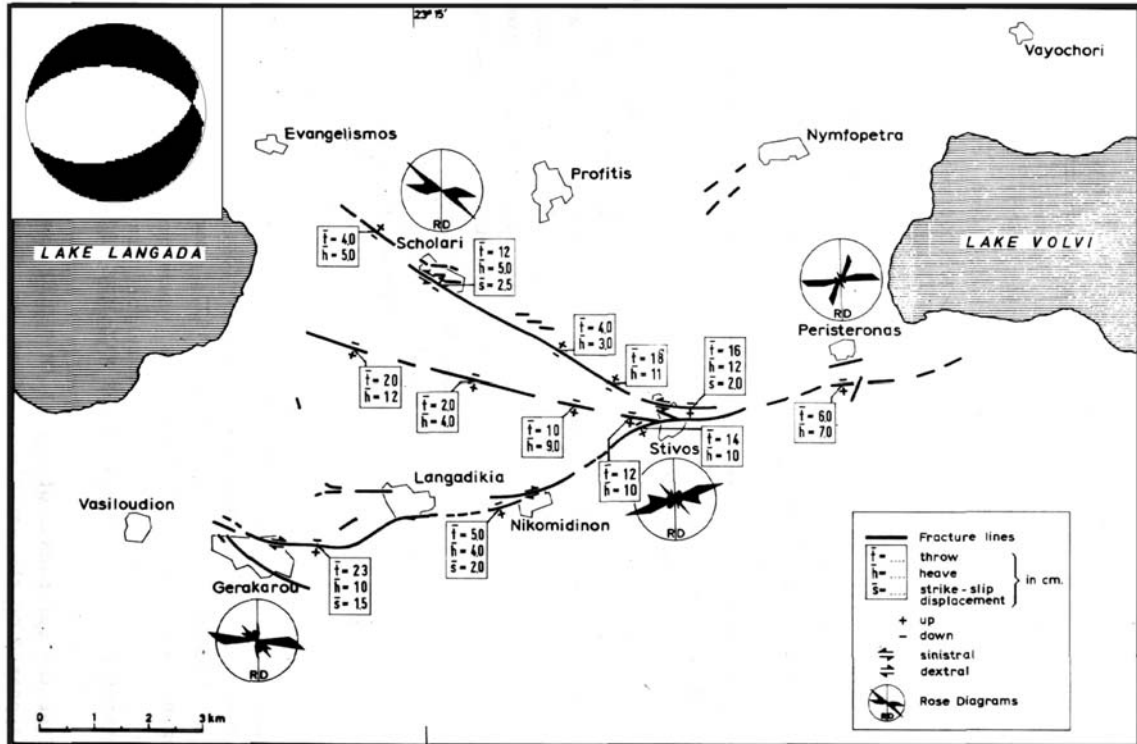
Συνολικά το σύστημα αυτό των ρηγμάτων περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα ρηγμάτων:

Ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα

Το τμήμα αυτό της ρηξιγενούς ζώνης έχει περιγραφεί σαν "Σεισμικό ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώννα" γιατί αυτό προκάλεσε τον μεγάλο σεισμό της Θεσσαλονίκης (20 Ιουνίου 1978, 10:31:07, συντεταγμένες 40.8°N - 23.2°E, Ms = 6.5 VIII + Στίβος) (Papazachos et al. 1979a, b).

Η γενική διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος είναι ΑΒΑ-ΔΝΔ και κλίνει προς τα Βόρεια (σχ. 52). Επιφανειακά εμφανίζει μεγάλες (75°-85°) γωνίες κλίσης προς Βορρά, σταδιακά με το βάθος όμως η κλίση του μειώνεται με το βάθος λαμβάνοντας ως και την τιμή των 35°, όπως έχει διαπιστωθεί από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών. Για το λόγο αυτό συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για λιστροτού τύπου ρήγμα (listric fault).

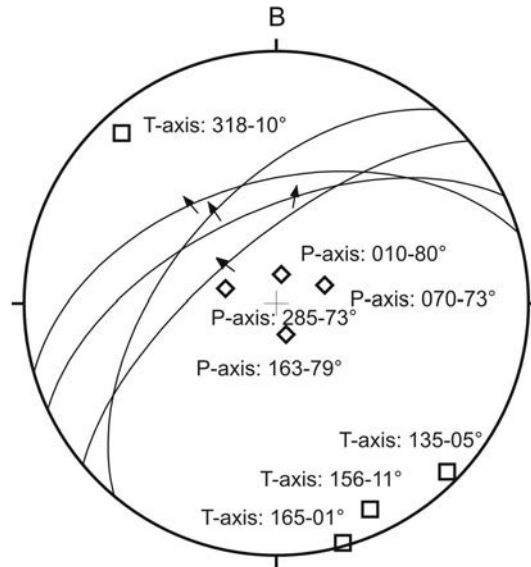
Το ρήγμα είναι ευδιάκριτο στις δορυφορικές εικόνες και στις αεροφωτογραφίες. Στο ύπαιθρο εντοπίζεται από τις τεκτονικές αναβαθμίδες που δημιουργεί και αντιστοιχούνε στο γεωλογικό όριο μεταξύ του υποβάθρου με τα νεότερα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης είτε στο γεωλογικό όριο των Κάτω Πλειστοκαινικών αποθέσεων (Σχηματισμός Γερακαρούς) με τα Μέσο Άνω Πλειστοκαινικά ιζήματα. Στα τελευταία παρατηρούνται επιπλέον δύο κλάδοι ρηγμάτων παρόμοιας γενικά γεωμετρίας με το κύριο ρήγμα.



Σχήμα 52. Το σεισμικό ρήγμα Γερακαρού-Στίβος-Νικομηδινό-Περιστερώνας και οι σεισμικές διαρρήξεις που προκλήθηκαν με το σεισμό της Θεσσαλονίκης 1978 (Papazachos et al. 1979a). Στο πλαίσιο πάνω αριστερά ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού της 20 Ιουνίου 1978 (από Soufleris & Stewart, 1981).

Οι κατοπτρικές ρηξιγενείς επιφάνειες κατά μήκος του ρήγματος δεν είναι γενικά πολλές γιατί έχουν εξομαλυνθεί από τη διάβρωση των χαλαρών ιζημάτων. Παρακάτω δίνονται ορισμένες αντιπροσωπευτικές μετρήσεις ρηξιγενών επιφανειών με τις αντίστοιχες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 53).

Με τη σεισμική δράση του 1978 ($M_s=6.5$) δημιουργήθηκαν επιφανειακά ίχνη του ρήγματος σε μήκος 15-18 km περίπου (Papazachos et al. 1979a, b; Mountrakis et al. 1983). Το μέγιστο επιφανειακό άλμα της νέας διάρρηξης εμφανίσθηκε στα χωριά Γερακαρού (23 cm) και Στίβος (14 cm), ενώ σε πολλές άλλες θέσεις μεταξύ Γερακαρούς-Περιστερώνας το άλμα κυμάνθηκε μεταξύ 5-10 cm. Δημιουργήθηκαν επίσης ανοίγματα 4-10 cm, καθώς και μικρή δεξιόστροφη μετατόπιση (2 cm περίπου) σε ένα σημείο στο χωριό Νικομηδινό.



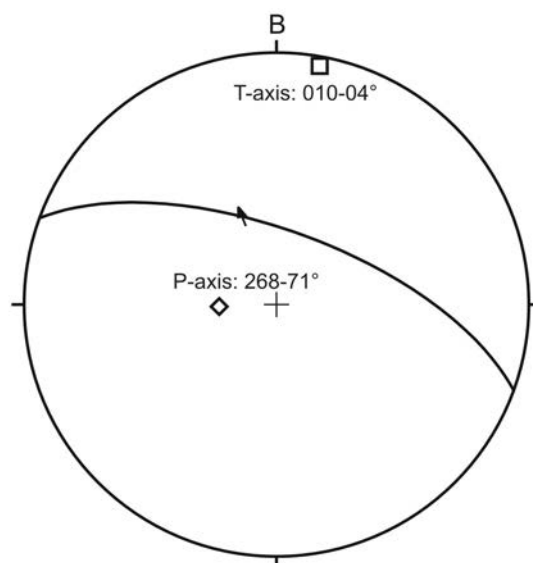
Σχήμα 53. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Εκτός από το μεγάλο σεισμό ($M_s = 6.5$) με το ρήγμα αυτό συνδέεται γενικά ένας πολύ μεγάλος αριθμός μικροσεισμών ($M_s = 2.0-4.5$), το σύνολο των οποίων έχει εστιακά βάθη 8-14 km. Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος σε όλη τη διάρκεια του Τεταρτογενούς υπολογίζεται με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις σε 250m.

Ρήγμα Λουτρών Βόλβης-Νέας Απολλωνίας

Το ρήγμα αυτό αποτελεί την προς τα Ανατολικά συνέχεια του σεισμικού ρήγματος από τον Περιστερώνα προς την Απολλωνία δια μέσου των Λουτρών Βόλβης (Μουντράκης κ. ά. 1996α, 1997α). Διαπιστώνεται τόσο στα πετρώματα του υποβάθρου, όσο και στα νέα ιζήματα (Τεταρτογενή), όπου αναγνωρίζεται είτε με μικρές ρηξιγενείς επιφάνειες, είτε με τεκτονικές αναβαθμίδες, είτε από τη γραμμική εμφάνιση χημικών ιζημάτων (τραβερτινών) κυρίως στην περιοχή βόρεια της Νέας Απολλωνίας.

Το ρήγμα έχει μήκος περίπου 10 km, γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και μετάπτωση προς τα ΒΒΑ. Η κινηματική του εκφράζεται από τις αντιπροσωπευτικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που μετρήθηκαν (Σχ. 54).



Σχήμα 54. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Λουτρών Βόλβης-Νέας Απολλωνίας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Η σύνδεση του ρήγματος αυτού με τις θερμές πηγές της Βόλβης διαπιστώνεται από το γεγονός ότι κατά μήκος του ρήγματος και συγκεκριμένα εκεί που διασταυρώνεται με δύο μικρότερα ρήγματα BA-NΔ διεύθυνσης, εκδηλώνονται θερμές πηγές. Το συνολικό άλμα του ενεργού ρήγματος Λουτρών Βόλβης-Απολλωνίας στο Τεταρτογενές θεωρείται ότι είναι ανάλογο με αυτό του ρήγματος Βόλβης, του οποίου άλλωστε αποτελεί τη συνέχεια και υπολογίζεται στα 250 m.

Ενεργό ρήγμα Νέας Μάδυτου

Αποτελεί μια συνεχή ρηξιγενή γραμμή γενικής διεύθυνσης A-Δ που διέρχεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου νότια του χωριού της Νέας Απολλωνίας (Μουντράκης κ.ά. 1994, 1995). Το δυτικότερο τμήμα του ρήγματος εντοπίζεται στα πετρώματα του υποβάθρου με διεύθυνση που κυμαίνεται από ΔΒΔ-ΑΝΑ μέχρι Α-Δ και είναι σχεδόν παράλληλο με το σεισμικό ρήγμα της Βόλβης. Το υπόλοιπο τμήμα διασχίζει εγκάρσια, με διεύθυνση περίπου Α-Δ την υπολεκάνη Νέας Απολλωνίας-Μαραθούσας και συνεχίζει στα Ανατολικά στο χωριό Νέα Μάδυτος όπου αποτελεί το κρασπεδικό (περιθωριακό) ρήγμα που χωρίζει το υπόβαθρο από τα νέα ιζήματα, πάντοτε με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και μετάπτωση προς Βορρά.

Έτσι στο σύνολο λαμβανόμενη η ρηξιγενής γραμμή Νέας Απολλωνίας-Νέας Μάδυτου-Ολυμπιάδας αποτελεί μια μεγάλου μήκους (30 km) ρηξιγενή ζώνη, η οποία έχει όλα τα χαρακτηριστικά του μεγάλου ενεργού ρήγματος. Συγκεκριμένα το ρήγμα

χαρακτηρίστηκε ενεργό γιατί επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα, κυρίως στις θέσεις νότια της Νέας Απολλωνίας και της Κοκαλούς, αλλά και για τους ακόλουθους λόγους: (α) είναι σχεδόν παράλληλο με το σεισμικό ρήγμα Βόλβης και επομένως έχει την ίδια συμβατότητα με το ενεργό πεδίο των τάσεων, (β) φαίνεται να καθορίζει σε σημαντικό βαθμό το σύγχρονο μορφοανάγλυφο και ιδιαίτερα το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, (γ) κατά μήκος του εμφανίζονται τραβερτινικές αποθέσεις, (δ), (ε) βρίσκεται σε περιοχή με έντονη μικροσεισμική δράση.

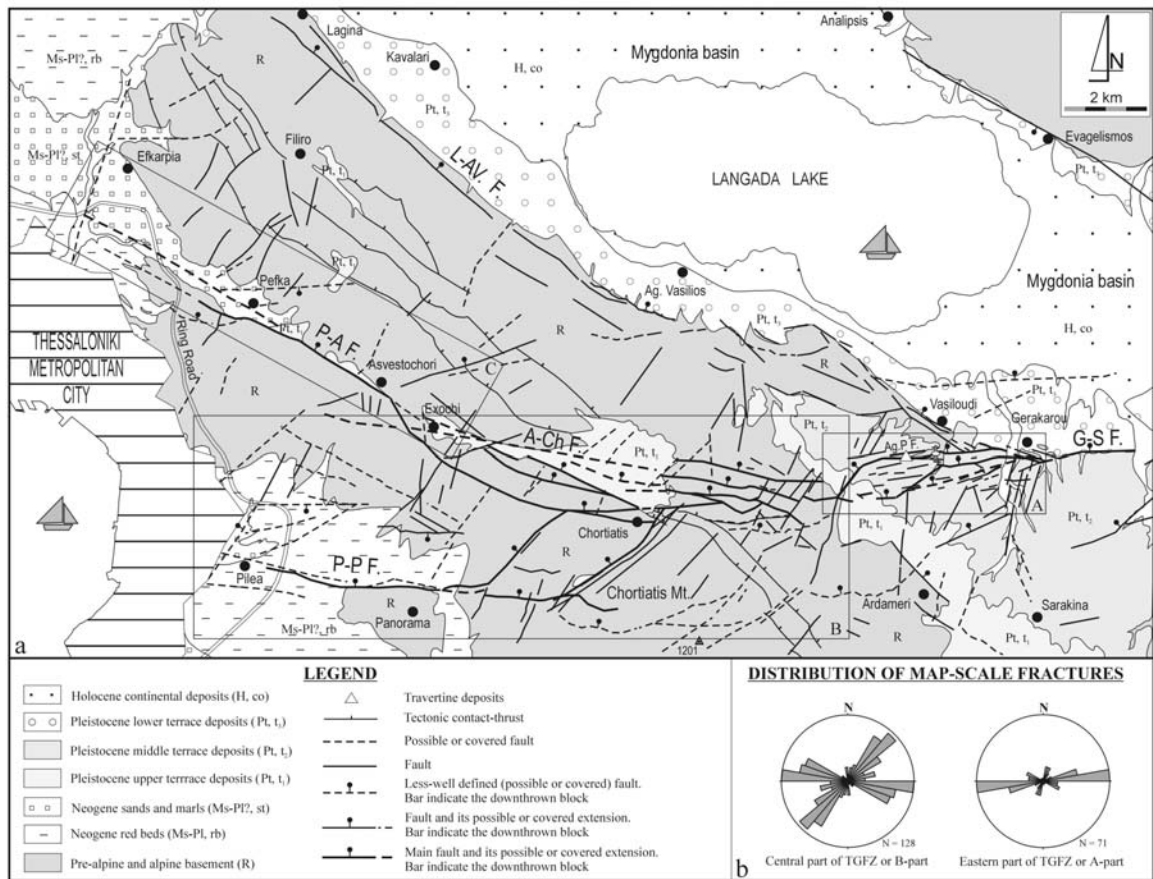
Μια σειρά μικροσεισμών (71) μεταξύ των οποίων και ο σεισμός της 19ης Φεβρουαρίου 1984 03:47:22.1, συντεταγμένες 40.63° N - 23.39° E, $M_s = 5.2$, βάθος $h = 14$ km, συγκεντρώνεται στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος κυρίως στο βόρειο τμήμα του και συνδέονται τόσο με το ρήγμα αυτό, όσο πιθανώς και με μια σειρά παράλληλων μικρότερων ρηγμάτων.

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

Ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Πολίχνης

Το ρήγμα εντοπίζεται κατά μήκος της κοιλάδας του Ασβεστοχωρίου με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ ($N120^{\circ}$) και μετάπτωση προς τα ΑΒΑ. Επηρεάζει κυρίως τους φυλλίτες και τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους της Περιοδοπικής ζώνης με ιδιαίτερα ευθύγραμμη ανάπτυξη σε μήκος περίπου 9.5km. Το ρήγμα πιθανά να συνεχίζεται και στις νέες (Πλειοκαινικές-Τεταρτογενείς) αποθέσεις στα βόρεια προάστεια της Θεσσαλονίκης (Πολίχνη, Σταυρούπολη, Βόρεια του Εύοσμου και Νέου Κορδελιού) αποκτώντας συνολικό ορατό μήκος 15km περίπου.

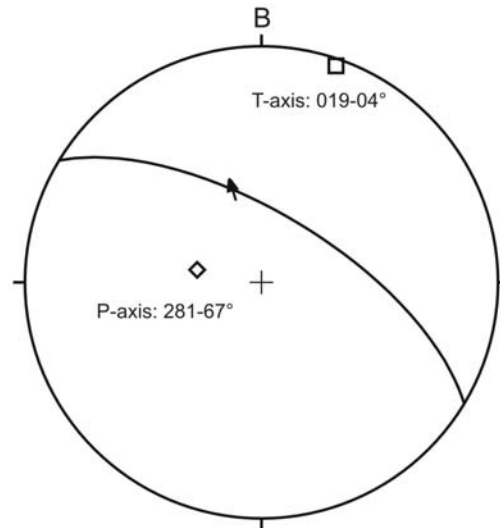
Υπάρχουν πληροφορίες ότι το ρήγμα αυτό επαναδραστηριοποιήθηκε κατά το μεγάλο σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 ($M_s=6.5$) και δημιουργήθηκε σε κάποια θέση του στη περιοχή Πολίχνης σε Τεταρτογενείς αποθέσεις μικρή ρωγμή με άνοιγμα 1-2 cm και μετάπτωση 10 cm αποτέλεσμα μιας αριστερόστροφης πλαγιοκανονικής κίνησης.



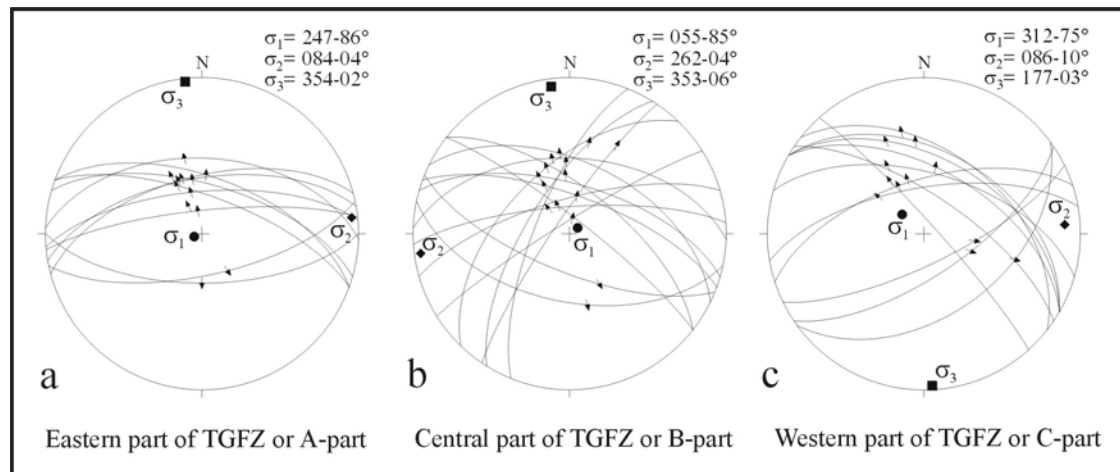
Σχήμα 55. (α) Τεκτονικός χάρτης της ορεινής περιοχής ανατολικά της Θεσσαλονίκης, στον οποίο απεικονίζεται η γεωμετρία των ρηγμάτων της περιοχής μεταξύ Θεσσαλονίκης-Γερακαρούς. Τα πλαίσια προσδιορίζουν το ανατολικό (Α), κεντρικό (Β) και δυτικό (C) τμήμα. S-G F.: ρήγμα Στίβου-Γερακαρούς, Ag. P F.: ρήγμα Αγ. Παρασκευής, A-Ch F.: ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη, P-A F.: ρήγμα Πεύκων-Ασβεστοχωρίου, P-P F.: ρήγμα Πυλέας-Πανοράματος, L-AV. F.: ρήγμα Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου. Οι λεπτές γραμμές με τα τετραγωνάκια είναι τεκτονικές επαφές, οι έντονες γραμμές είναι οι κύριες ρηξιγενείς γραμμές, με τα μαύρα κυκλάκια να σημειώνουν το κατερχόμενο τέμαχος. Οι λεπτές συνεχείς γραμμές είναι τα βέβαια ρήγματα ενώ οι ασυνεχείς είναι τα πιθανά ή καλυμμένα ρήγματα στην περιοχή, (β) Ροδιοδιαγράμματα των νεοτεκτονικών διακλάσεων και ρηγμάτων στο ανατολικό (Α) και κεντρικό (Β) τμήμα της περιοχής (από Tranos et al. 2003, in press).

Για το λόγο αυτό και για το ότι συνεχίζεται στα νέα ιζήματα θεωρείται ενεργό ρήγμα, θα μπορούσε μάλιστα να συνδεθεί με μια σειρά μικροσεισμών που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του ρήματος. Είναι πιθανόν ότι το ρήγμα αυτό αποτελεί τη συνέχεια προς τα δυτικά ορισμένων ρηγμάτων στην περιοχή μεταξύ των χωριών Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη-Γερακαρούς με πιθανή έμμεση σύνδεση με το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα (Tranos et al. 2003, in press) (Σχ. 55).

Το ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Πολίχνης εμφανίζει κινηματική αριστερόστροφου πλαγιοκανονικού ρήγματος (Σχ. 56) που συμφωνεί με το μηχανισμό γένεσης του σεισμού της 20 Ιουνίου 1978, αλλά και της κινηματικής που χαρακτηρίζει γενικότερα τα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης ρήγματα της περιοχής (Σχ. 57).



Σχήμα 56. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ασβεστοχωρίου-Πολίχνης. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.



Σχήμα 57. Γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων της περιοχής Θεσσαλονίκης-Γερακαρούς, στο οποίο συγκαταλέγεται το ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Πολίχνης και προσδιορισμός του εντατικού πεδίου (από Tranos et al. 2003, in press).

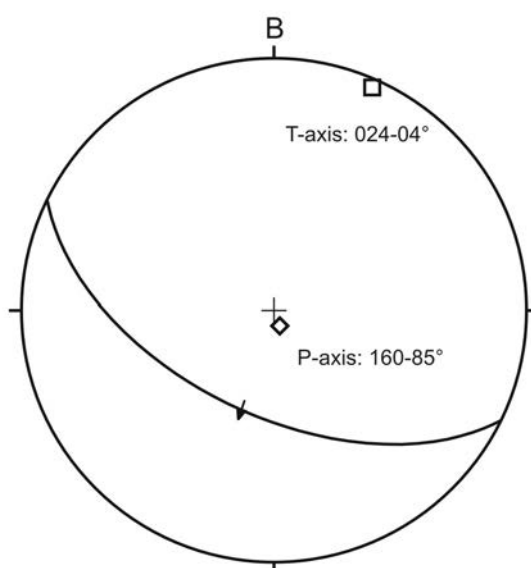
Ρήγμα Μελισσοχωρίου-Λητής

Το ρήγμα αυτό με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και μετάπτωση προς τα ΒΒΑ είναι παράλληλο προς το ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Γερακαρούς και οριοθετεί το πεδινό τμήμα του Κιλκίς ή του προ-Μυγδονιακού συστήματος προς τα δυτικά (Μουντράκης

κ.ά. 1996β, 1997β). Το μήκος του εκτιμάται στα 4km περίπου και εμφανίζει παρόμοια μορφοτεκτονικά στοιχεία με αυτά του ρήγματος Λητής-Αγ. Βασιλείου. Για τους παραπάνω λόγους το ρήγμα θεωρείται πιθανό ενεργό.

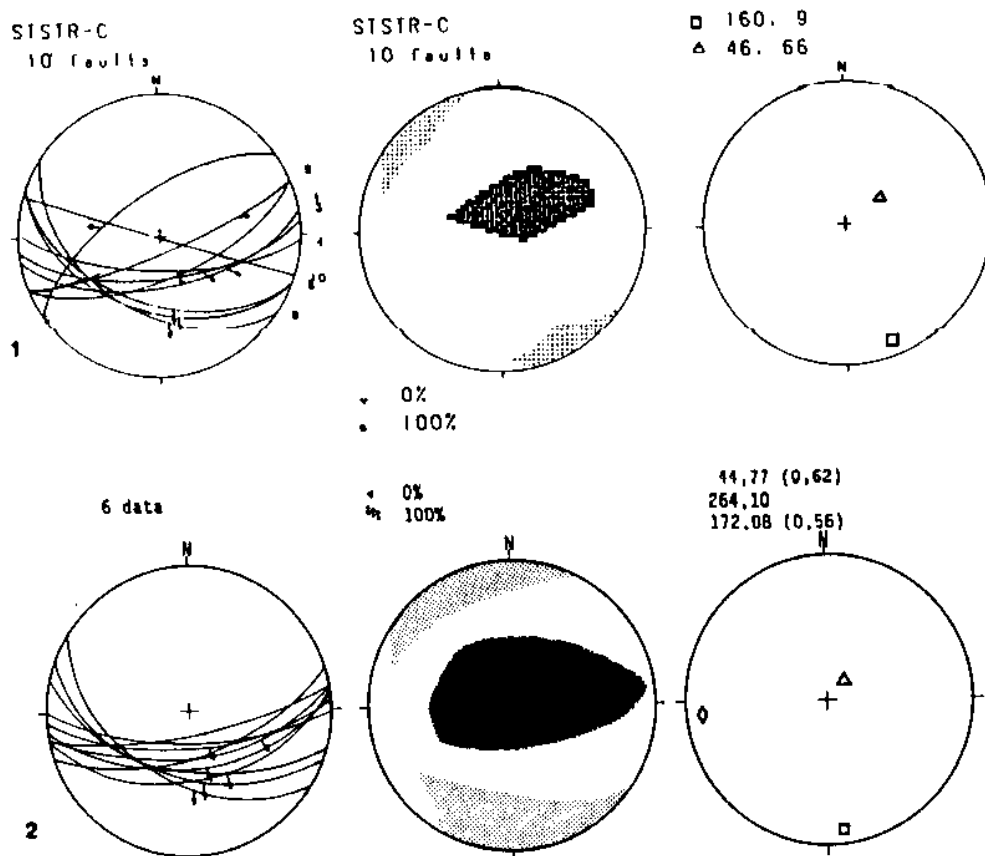
Σεισμικό Ρήγμα Στρατωνίου

Το ρήγμα του Στρατωνίου παρουσιάζει μια γενική Α-Δ διεύθυνση και μήκος περί τα 15 km. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με μετάπτωση προς Νότο που στα Δυτικά αποκτά ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση και βαθμιαία ενώνεται με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας (Μουντράκης κ.ά. 1994).



Σχήμα 58. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Στρατωνίου στο τμήμα της ένωσής του με το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα Βαρβάρας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

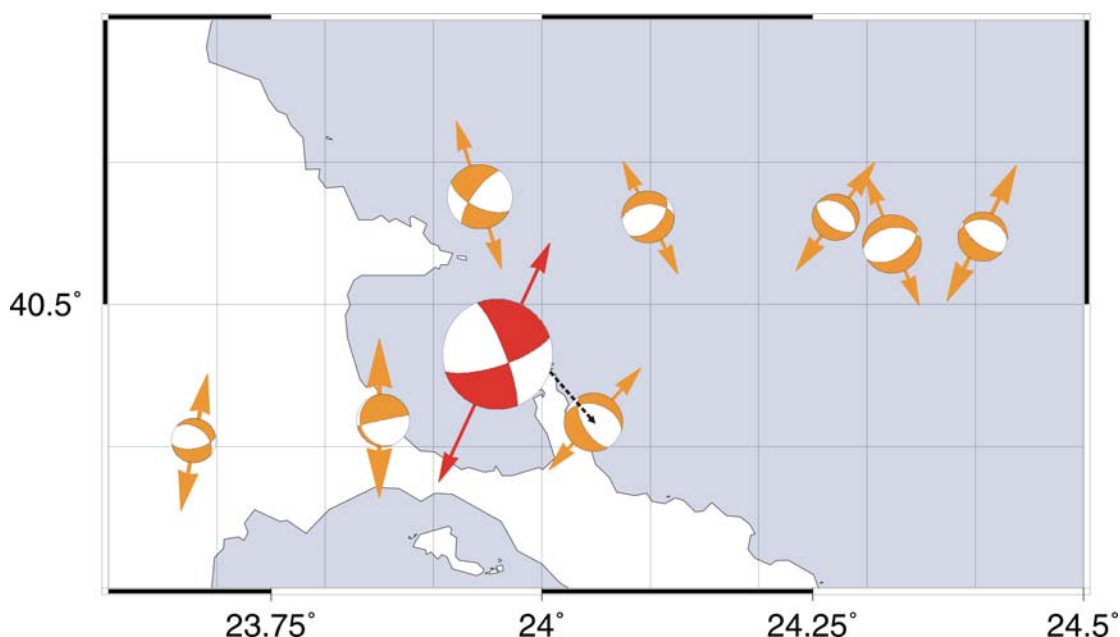
Διαχωρίζει γεωμορφολογικά την περιοχή σε δύο τμήματα: (1) το βόρειο (footwall block) που χαρακτηρίζεται από το υψηλό ανάγλυφο του Στρατονικού όρους, του οποίου οι νότιες πλευρές συμπίπτουν με το ρήγμα του Στρατωνίου και (2) το νότιο (hangingwall block) που συμπίπτει ευρύτερα με το μυχό της Ιερισσού,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



Σχήμα 59. 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).

Κατά μήκος του ρήγματος παρατηρούνται αρκετές αποθέσεις πλευρικών κορημάτων συνδεδεμένων με 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). Έτσι το ρήγμα του Στρατωνίου, το οποίο θεωρείται ως το σειсмоγόνο ρήγμα για το σεισμό της Ιερισσού, χαρακτηρίζεται ως σεισμικό ρήγμα. Στο σχήμα 60 παρουσιάζονται οι μηχανισμοί γένεσης ορισμένων σεισμών (μεταξύ των οποίων και ο σεισμός της Ιερισσού) στην αντίστοιχη περιοχή της Χαλκιδικής και τον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο, καθώς και οι Τ άξονες (εφελκυσμού), που παρουσιάζουν σημαντική

αντιστοίχιση (όχι όμως απόλυτη ταύτιση) με τη γεωμετρία και κινηματική του ρήγματος Στρατωνίου όπως προσδιορίστηκαν από τη γεωλογική παρατήρηση.



Σχήμα 60. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη στην περιοχή Στρατωνίου-Ιερισσού της Χαλκιδικής και του ευρύτερου θαλάσσιου χώρου.

Στα σχήματα 58 και 59 φαίνεται η πρόσφατη κινηματική του συμπεριφορά, η οποία είναι αποτέλεσμα του γενικού εφελκυστικού πεδίου σε διεύθυνση B-N, το οποίο κυριαρχεί στο εσωτερικό χώρο του Αιγαίου από το Μέσο Πλειστόκαινο ως και σήμερα.

Σεισμικό ρήγμα Σοχού

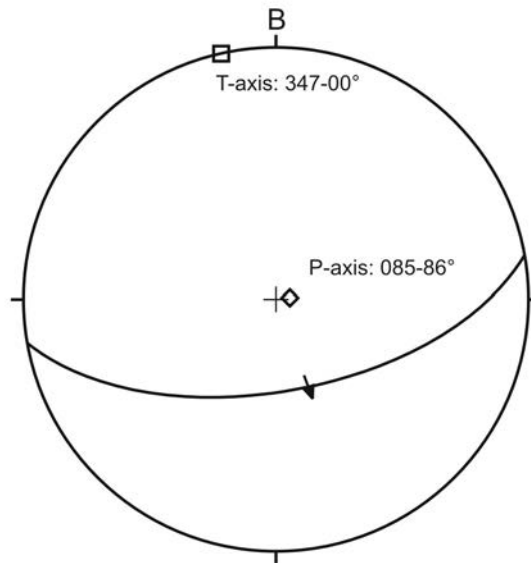
Αποτελεί μια μεγάλη μήκους συνεχή ρηξιγενή γραμμή γενικής διεύθυνσης Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ που διέρχεται από τα χωριά Σοχός-Αυγή-Κρυονέρι-Πέντε Βρύσες και είναι πιθανή η συνέχεια του προς τα Ανατολικά στο χωριό Μαυρούδα στη βόρεια πλευρά της Βρωμολίμνης. Το συνολικό του μήκος μαζί με την πιθανή προέκταση προς τη Μαυρούδα δυνατόν να φθάσει τα 35 km (Μουντράκης κ.ά 1996α, 1997α). Στον χώρο του Σοχού το ρήγμα υποβιβάζει τον ορεινό όγκο του Βερτίσκου. Πρόκειται για τυπικό κανονικό ρήγμα με εντυπωσιακή μετάπτωση προς Νότο. Το

μεγαλύτερο του ορατό άλμα παρατηρείται στην περιοχή των χωριών Σοχού και Αυγής. Το δυτικό τμήμα του ρήγματος, δυτικά του Κρυονερίου, παρουσιάζεται με συνεχώς μειούμενο ορατό άλμα μέχρι σχεδόν οριστικής εξαφάνισης του μεταξύ του χωριού Πέντε Βρύσες και ρέματος Μπογδάνου. Μια περαιτέρω προς τα δυτικά συνέχεια του μέσα (εγκάρσια) στη λεκάνη Λαγκαδά θεωρείται πιθανή χωρίς όμως να υπάρχουν συγκεκριμένες παρατηρήσεις.

Σε όλο του το μήκος το ρήγμα επηρεάζει τα μεταμορφωμένα και γρανιτικά πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας, καθώς και σε ορισμένες θέσεις τα ιζήματα της Προμυγδονιακής Ομάδας Ανω Μειοκαίνου-Κάτω Πλειστοκαίνου.

Υπάρχουν γεωμορφολογικά και γεωλογικά κριτήρια για την τεκμηρίωση της ενεργού δράσης του ρήγματος του Σοχού, όπως π.χ. η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου κατά μήκος του ρήγματος. Επίσης ένα πρόσφατο τεκτονικό βύθισμα (ημιτάφος) που εντοπίζεται μεταξύ των χωριών Κρυονέρι και Σοχός, η απότομη μεταβολή της κλίσης των κλιτύων κατά μήκος του ρήγματος, η ανάπτυξη σύγχρονων πλευρικών κορημάτων, οι έντονα λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες στα χαμηλότερα σημεία του ρήγματος, με τις επίσης έντονες και πολύ ευδιάκριτες τεκτονικές γραμμώσεις ολίσθησης.

Το ρήγμα Σοχού παρουσιάζει γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που δείχνουν κανονική κίνηση (Σχ. 61). Το γεγονός ότι η κινηματική του ρήγματος είναι παρόμοια με αυτήν που παρουσιάζουν τα υπόλοιπα ενεργά και σεισμικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής, δηλαδή κύρια διεύθυνση εφελκυσμού B-N, καθώς και η πιθανή συσχέτιση του ρήγματος με το σεισμό του 1932 μεγέθους $M_s = 6.2$ (συντεταγμένες $40.8^\circ\text{N} - 23.3^\circ\text{E}$), ο οποίος είχε μακροσεισμικό επίκεντρο το χωριό του Σοχού υποδηλώνει ότι το ρήγμα αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενεργό σεισμικό ρήγμα.



Σχήμα 61. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Σοχού. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

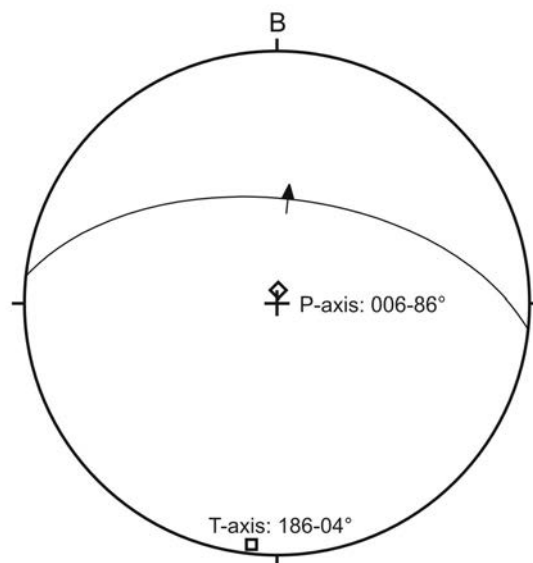
Ρηξιγενής ζώνη Ανθεμούντα

Η ρηξιγενής ζώνη Ανθεμούντα με διεύθυνση Α-Δ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ εντοπίζεται σε απόσταση 30km περίπου Ν-ΝΑ της πόλης Θεσσαλονίκης και διαμορφώνει το τεκτονικό βύθισμα του Ανθεμούντα από το Μεγάλο Εμβολο μέχρι και νότια από το χωριό Αγ. Πρόδρομος (Μουντράκης κ.ά. 1996α,β; 1997α, β).

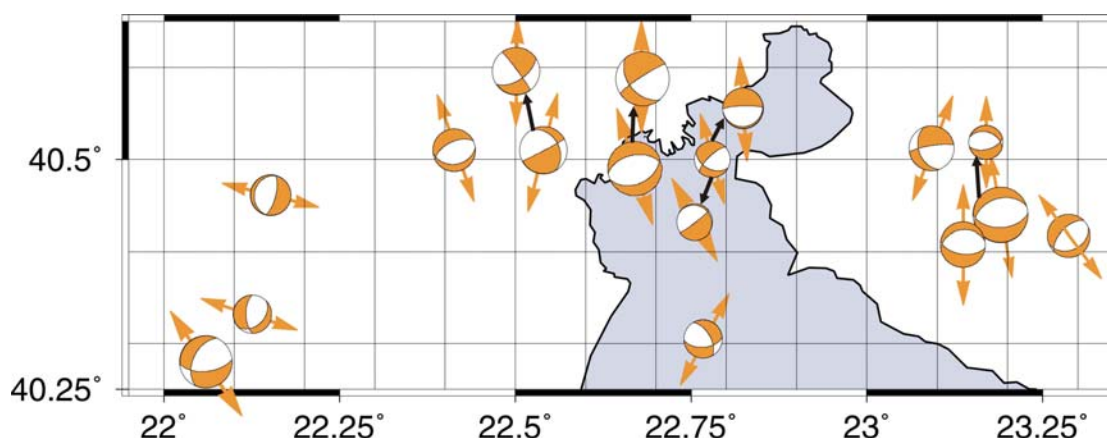
Πρόκειται για ένα κανονικό τυπικό κρασπεδικό ρήγμα μήκους περίπου 40km, το οποίο κλίνει με μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα Βόρεια.

Αποτελεί μια σημαντική ρηξιγενή γραμμή που είναι εντυπωσιακά εμφανής στις δορυφορικές εικόνες και στις αεροφωτογραφίες. Έχει δημιουργήσει χαρακτηριστικές τεκτονικές αναβαθμίδες, ιδιαίτερα στις θέσεις Μεγάλο Έμβολο, Αγία Τριάδα και Περαία επηρεάζοντας έντονα το γενικότερο μορφοανάγλυφο της περιοχής, και έχει δημιουργήσει επίσης μια σειρά από μικρορήγματα που παρατηρούνται κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης.

Το ρήγμα έχει εντοπιστεί σε βάθος και από τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις που έγιναν σε ορισμένες θέσεις, ενώ σε παράλληλες ρηξιγενείς επιφάνειες προς την κύρια ρηξιγενή επιφάνεια χαρακτηρίζεται από σχεδόν κατακόρυφες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 62), οι οποίες χαρακτηρίζουν κανονική κίνηση.



Σχήμα 62. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία της ρηξιγενούς ζώνης Ανθεμούντα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.



Σχήμα 63. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή Ανθεμούντα-Θερμαϊκού Κόλπου-Δέλτα Αξιού και Αλιάκμονα.

Στο σχήμα 63 δείχνονται οι μηχανισμοί γένεσης και άξονες T που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη για τους σεισμούς της ευρύτερης περιοχής Ανθεμούντα-Θερμαϊκού Κόλπου-Δέλτα Αξιού-Αλιάκμονα. Η γεωμετρία και η κινηματική αυτών εμφανίζουν σημαντική συμφωνία με τις γεωλογικές παρατηρήσεις – μετρήσεις υπαίθρου στο ρήγμα Ανθεμούντα και την πιθανή προς Δυσμάς επέκτασή του.

Η ρηξιγενής ζώνη Ανθεμούντα επηρεάζει κατά κανόνα τα Άνω Μειοκαινικά-Πλειοκαινικά ιζήματα της περιοχής, αλλά και τις πιο πρόσφατες Τεταρτογενείς

αποθέσεις. Επίσης υπάρχουν βάσιμες ενδείξεις ότι συνδέεται με μια σειρά σεισμικών δονήσεων μικρού και μεσαίου μεγέθους που συνέβησαν στην περιοχή το Φθινόπωρο του 1988.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι το ρήγμα μπορεί να προεκτείνεται δυτικότερα στο θαλάσσιο χώρο του κόλπου της Θεσσαλονίκης αποκτώντας σημαντικά μεγαλύτερο μήκος. Εάν όντως ισχύει αυτό, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το ρήγμα χαρακτηρίζεται ως ενεργό και το ότι η κλίση του ρήγματος Ανθεμούντα είναι προς το Βορρά, επομένως προς την πλευρά της πόλης της Θεσσαλονίκης, ασφαλώς το θέμα καθίσταται ακόμη πιο δυσάρεστα σημαντικό.

Μολονότι, το ενδεχόμενο αυτό δεν είναι εύκολο να επιβεβαιωθεί στη παρούσα έρευνα στρέψαμε το ενδιαφέρον μας στην άλλη πλευρά του κόλπου στο χώρο της Βόρειας Πιερίας, με σκοπό να ανιχνεύσουμε στο χερσαίο χώρο στη δυτική προέκταση του ρήγματος του Ανθεμούντα.

Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η προς τα δυτικά νοητή επέκταση του ρήγματος Ανθεμούντα στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, στις περιοχές των Δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα, παρ' όλο που αναζητήθηκε επίμονα στο ύπαιθρο δεν επισημάνθηκε προφανώς λόγω των χαλαρών δελταϊκών αποθέσεων των ποταμών. Εντούτοις στην περιοχή αυτή του Δέλτα του Αξιού επισημάνθηκε με γεωφυσικές διασκοπήσεις που έγιναν στο παρελθόν από τη Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου μια μεγάλη ρηξιγενής γραμμή (μήκους 20 km), διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ η οποία κατά βάση ακολουθεί την κοίτη του Λουδία ποταμού και βρίσκεται στη νοητή προέκταση της ρηξιγενούς γραμμής Ανθεμούντα. Όμως κάποια πιθανή σύνδεση των δύο γραμμών δεν μπορεί επί του παρόντος να γίνει με γεωλογικά κριτήρια.

Το συνολικό άλμα του γεωλογικού ρήγματος του Ανθεμούντα στη διάρκεια του Τεταρτογενούς με βάση τις ιζηματολογικές ενδείξεις υπολογίζεται για την ηπειρωτική περιοχή της κοιλάδας του Ανθεμούντα σε 200m, ενώ για τη θαλάσσια περιοχή του κόλπου της Θεσσαλονίκης δεν μπορεί να προσδιοριστεί.

Ρηξιγενής ζώνη Κερκίνης

Η ρηξιγενής ζώνη Κερκίνης βρίσκεται στο βορειότερο τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και με γενική διεύθυνση Α-Δ παράλληλη προς την ανάπτυξη του ορεινού όγκου Κερκίνης διαμορφώνει τις νότιες παρυφές αυτού (Σχ. 64). Το ρήγμα εμφανίζει συνολικό μήκος 70 km περίπου από τη λίμνη Δοϊράνη στα Δυτικά μέχρι

και το Στρυμόνα ποταμό στα Ανατολικά, και συνεχίζεται με την ίδια διεύθυνση ανατολικότερα διαμορφώνοντας τις νότιες πλαγιές του όρους Αγκιστρο.

Όπως προέκυψε από την υπαίθρια διερεύνηση, η ρηξιγενής ζώνη Κερκίνης δεν χαρακτηρίζεται από ένα συνεχές ίχνος ρήγματος που διαμορφώνει το συνολικό του μήκος, αλλά φαίνεται να αποτελείται από τουλάχιστον τρία τμήματα ρήγματος (fault segments), τα οποία μάλιστα παρουσιάζουν δεξιόθετη ανάπτυξη. Συγκεκριμένα αναγνωρίζεται: (α) το τμήμα ρήγματος Καστανούσας, (β) το τμήμα ρήγματος Πορόιων και (γ) το τμήμα ρήγματος Πετριτσίου.

(α) Το τμήμα ρήγματος Καστανούσας έχει διεύθυνση Α-Δ και παρουσιάζει διαδοχικές τριγωνικές απολήξεις-επιφάνειες μεγάλης γωνίας κλίσης (60° περίπου) προς Νότο όπου σχηματίζουν διαδοχικά αντερείσματα του ορεινού όγκου στα σημεία που καταλήγουν στις Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες είναι κορήματα και αποθέσεις ριπιδίων μεγάλου σχετικά πάχους. Κατά μήκος αυτής της γραμμής παρατηρείται έντονη αποσάθρωση των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων με αποχρωματισμό που προσομοιάζει σε εικόνα ρεγκόλιθου και σχηματισμό γενικά μανδύα αποσάθρωσης.

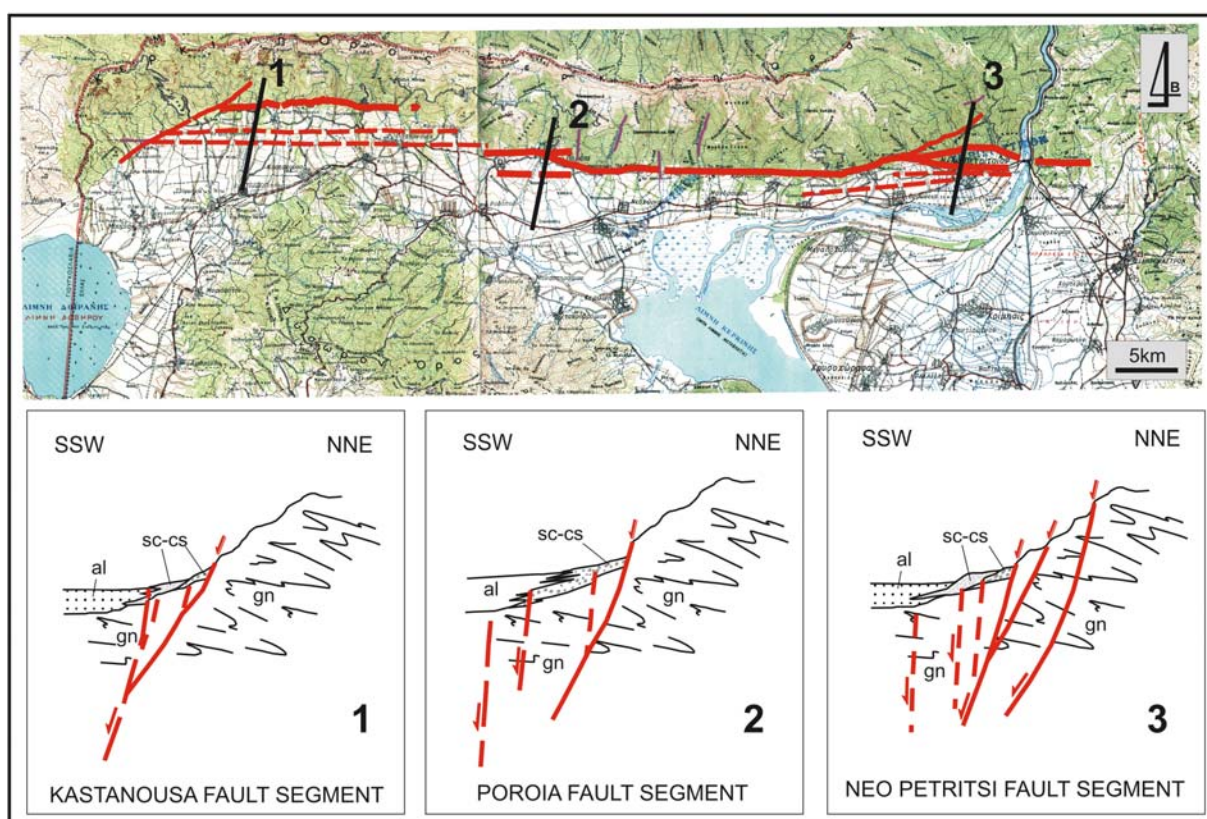
Κατά μήκος του ρήγματος Καστανούσας εντοπίστηκαν μικρές υπολλειματικές ρηξιγενείς επιφάνειες επί των οποίων παρατηρήθηκαν ολισθογραμμώσεις με κανονική κίνηση.

Κατά την υπαίθρια παρατήρηση προέκυψε ότι προς το κέντρο της στενόμακρης κοιλάδας διεύθυνσης Α-Δ, υπάρχει ένας τουλάχιστον παράλληλος κλάδος, ο οποίος λογικά θα πρέπει να εκδηλώνει την πιο πρόσφατη δραστηριοποίηση του ρήγματος Καστανούσας. Ο νέος αυτός κλάδος γίνεται αντιληπτός από μικρού μήκους αναβαθμίδες σε διεύθυνση Α-Δ, και επιπλέον προσδιορίστηκε μέσω γεωφυσικών τομών που πραγματοποιήσαμε εγκάρσια προς το ρήγμα στα πλαίσια του παρόντος έργου. Ο κλάδος αυτός αποτελεί επομένως μια νεότερη ρηξιγενή γραμμή, παράλληλη προς το μέτωπο της οροσειράς και βρίσκεται νοτιότερα σε απόσταση περίπου 1.5km από το κυρίως γεωλογικό ρήγμα του υποβάθρου. Προφανώς η νέα αυτή ρηξιγενής γραμμή αποτελεί την προς τα δυτικά συνέχεια του ρήγματος Πορόιων που είναι το επόμενο τμήμα ρήγματος (fault segment). Η κινηματική του ρήγματος Καστανούσας φαίνεται στο Σχ. 65.

(β) Το τμήμα ρήγματος Πορόιων χαρακτηρίζεται από Α-Δ διεύθυνση και μήκος περί τα 5km. Στο τμήμα αυτό, μολονότι το ορεινό ανάγλυφο εμφανίζει μεγάλη

πτώση, δεν κατέσται δυνατό να βρεθούν κατοπτρικές επιφάνειες του ρήγματος λόγω του έντονου δασώδους. Το ρήγμα από το χωριό Πορόια και ανατολικά μέχρι το χωριό Θρακικόν δηλαδή σ' ένα μήκος 12.5 km, εμφανίζει σημαντικά ευθύγραμμη ανάπτυξη σε διεύθυνση Α-Δ.

Στο τμήμα του ρήγματος Ποροίων ανατολικά του Θρακικού, αναγνωρίζονται ΑΒΑ-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ ρηξιγενείς επιφάνειες μεγάλης γωνίας κλίσης προς τα ΝΑ που κόβουν τον ορεινό όγκο, ενώ με την σειρά τους κόβονται στο νότιο μέτωπο της

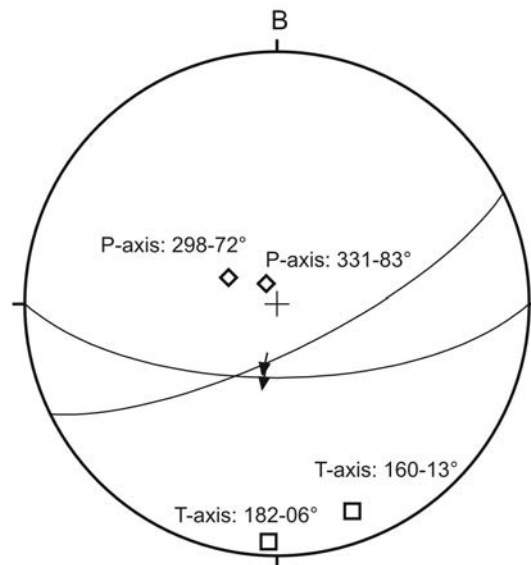


Σχήμα 64. Η ρηξιγενής ζώνη Κερκίνης, όπως χαρτογραφήθηκε στο παρόν ερευνητικό έργο. Απεικονίζονται οι θέσεις των γεωλογικών τομών στα τμήματα ρηγμάτων Καστανούσας, Ποροίων και Πετριτσίου.

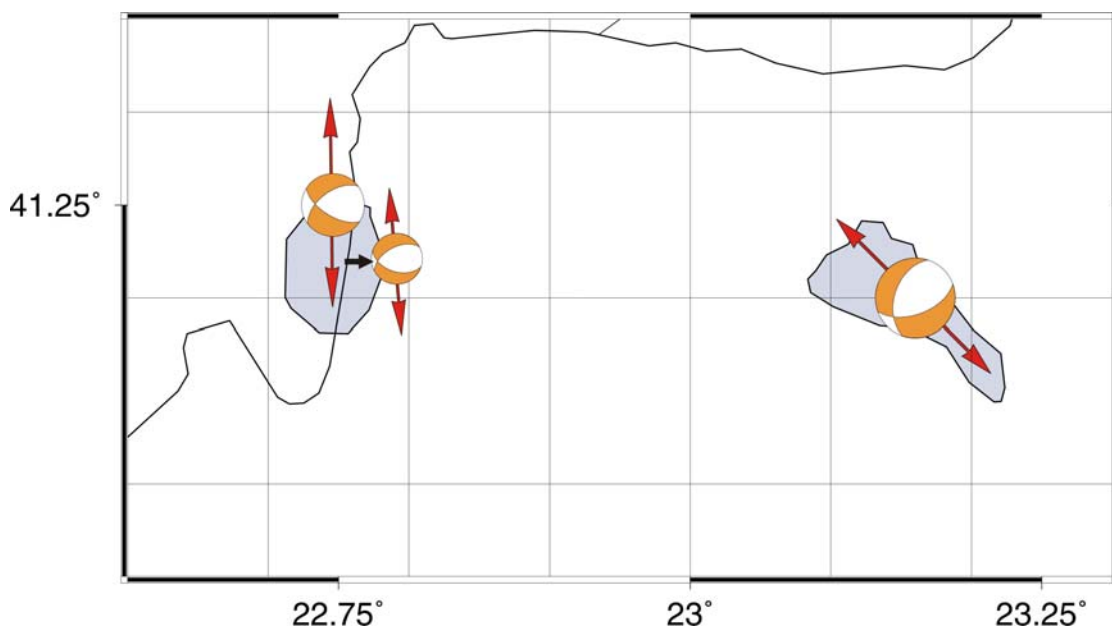
οροσειράς από το (γ) τμήμα ρήγματος Πετριτσίου, το οποίο με διεύθυνση Α-Δ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ κλίνει με μεγάλη γωνία κλίσης προς Νότο. Το ρήγμα αυτό συνεχίζεται ανατολικότερα και μετά τον εθνικό δρόμο Σερρών-Δράμας, ωστόσο τα μορφοτεκτονικά στοιχεία αναγνώρισής του είναι λιγότερο εντυπωσιακά. Το γεγονός ότι στο τμήμα αυτό βρέθηκαν Τεταρτογενή ιζήματα να κόβονται από παράλληλες προς το ρήγμα ρηξιγενείς επιφάνειες, επί των οποίων αναγνωρίζονται γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης και μικροδομές που προσδιορίζουν κανονική κίνηση, δείχνει

ότι το τμήμα Πετριτσίου είναι ένα κανονικό ενεργό ρήγμα που αποτελεί την προς τα Ανατολικά επέκταση της ρηξιγενούς ζώνης Κερκίνης.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ρηξιγενής ζώνη Κερκίνης είναι ενεργή. Από τους μηχανισμούς γένεσης ολίγων σεισμών που υπάρχουν στην περιοχή και οι οποίοι δείχνονται στο σχήμα 66, διαφαίνεται σημαντική συμφωνία στη γεωμετρία των σεισμικών ρηγμάτων με τα ρήγματα της ζώνης Κερκίνης.



Σχήμα 65. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Κερκίνης στο τμήμα ρήγματος Καστανούσας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.



Σχήμα 66. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος Κερκίνης.

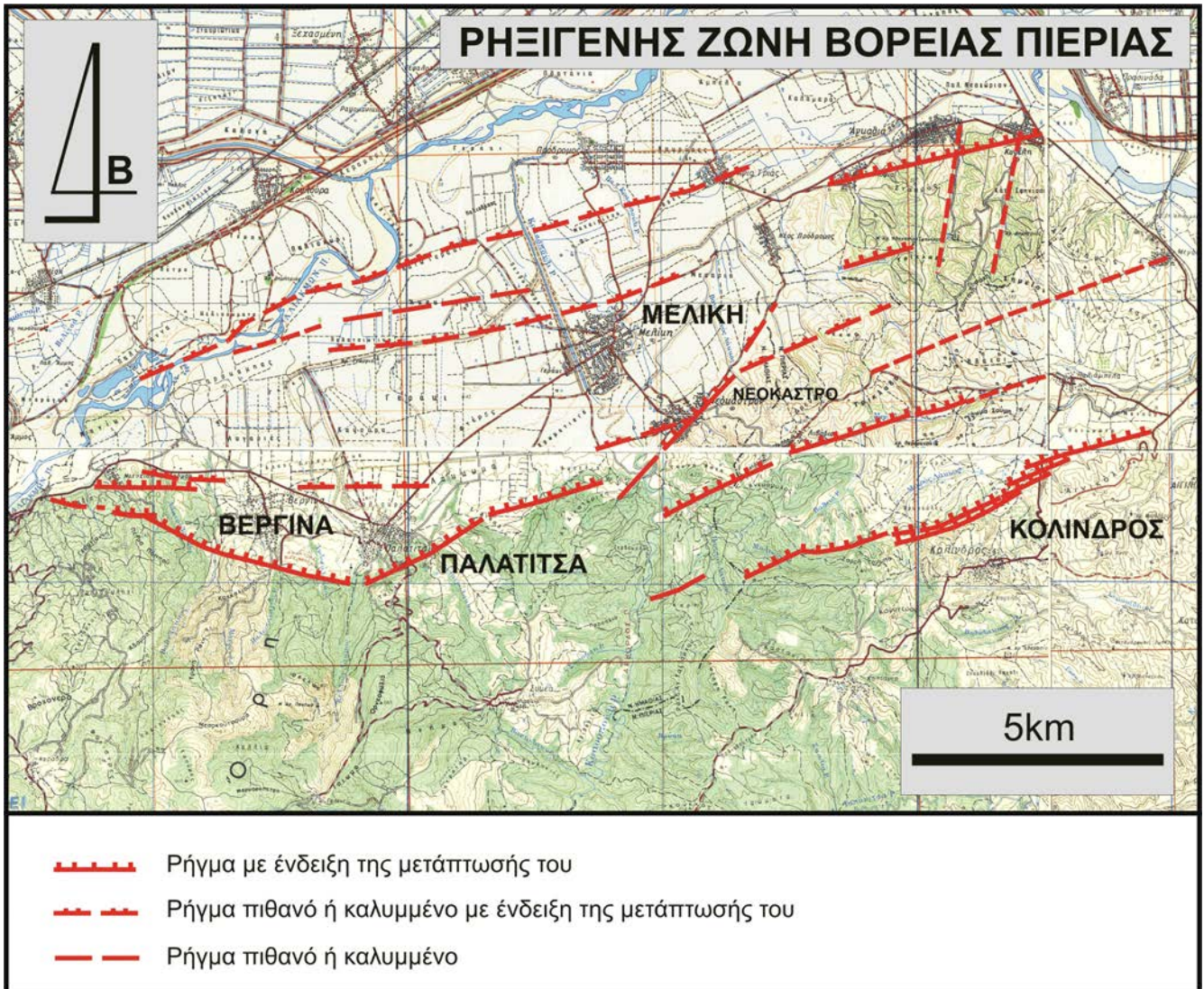
Ρήγματα Νότιας Λεκάνης Στρυμόνα

Στο νότιο τμήμα της λεκάνης Στρυμόνα και συγκεκριμένα στην περιοχή Νιγρίτας-Δάφνης-Αηδονοχωρίου δηλαδή στο ΝΑ άκρο της ρηξιγενούς ζώνης Στρυμόνα (η οποία θα περιγραφεί σε επόμενη παράγραφο στα ΒΔ-ΝΑ ρήγματα), παρατηρούνται μεγάλα ευθύγραμμα τμήματα σε ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση, τα οποία συμπίπτουν γεωμορφολογικά με μεγάλους ευθύγραμμους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου και τα οποία δείχνουν ότι υπάρχει μια στροφή του άκρου της ρηξιγενούς ζώνης Στρυμόνα σε διεύθυνση Α-Δ, η οποία είναι και περισσότερο συμβατή γεωμετρικά με το σύγχρονο εντατικό πεδίο (Μουντράκης κ.ά. 1994). Ιδιαίτερα, το τμήμα Αηδονοχωρίου, ΝΑ της Νιγρίτας, εμφανίζει ισχυρή τροποποίηση από τη δράση των νεότερων Α-Δ ρηγμάτων, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την επικράτηση των Α-Δ γραμμών υψής επί των αρχαιότερων ΒΔ-ΝΑ γραμμών υψής. Τα σημαντικότερα ρήγματα της ζώνης αυτής που χαρακτηρίζεται ως πιθανή ενεργή είναι το ρήγμα Ιβήρων, το ρήγμα Μαυροθάλασσας και το ρήγμα Καστρορέματος. Το τελευταίο μάλιστα φαίνεται να εκτείνεται ανατολικότερα στη περιοχή της Παλαιοκόμης, όπου και τείνει να παραλληλιστεί με τη ΒΑ-ΝΔ ρηξιγενή γραμμή Πρώτης-Ροδολίβους που διαμορφώνει τις δυτικές πλαγιές του Παγγαίου Ορους και να σχηματίσει έτσι μια μεγαλύτερου μήκους ρηξιγενή ζώνη γενικής διεύθυνσης Α-Δ, που διασχίζει όλο το Νότιο τμήμα της λεκάνης Στρυμόνα. Η έντονη σεισμική δράση που καταγράφεται τις τελευταίες δεκαετίες στη περιοχή δείχνει την ενεργότητα της περιοχής και συνηγορεί στο χαρακτηρισμό των ρηγμάτων αυτών ως πιθανά ενεργά.

Η ρηξιγενής ζώνη Βόρειας Πιερίας

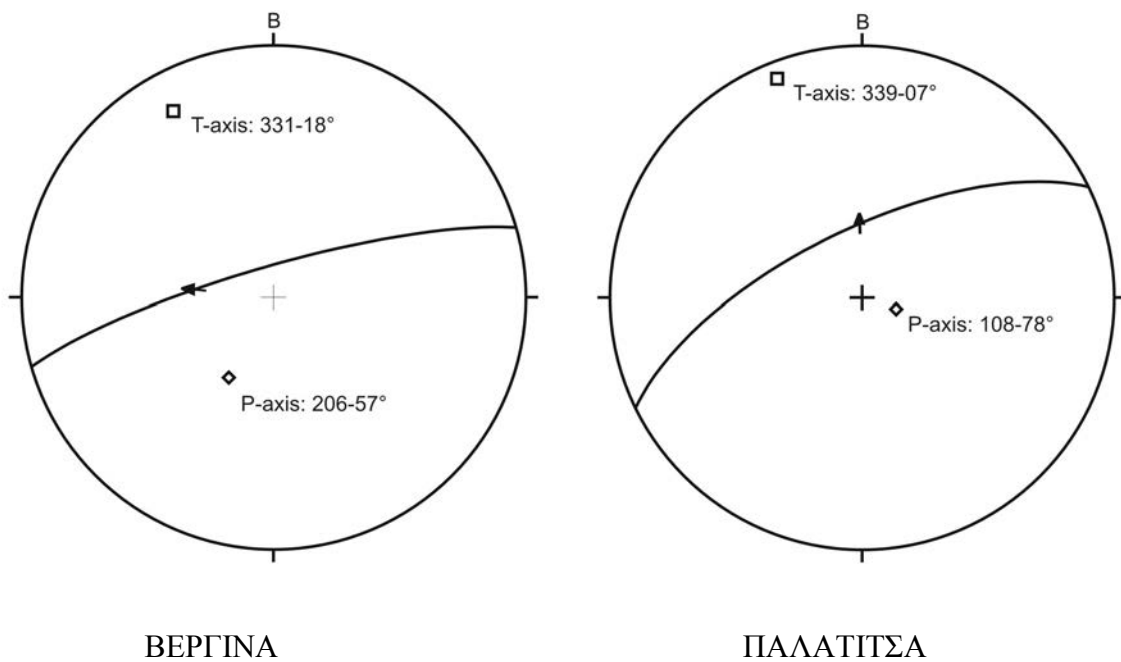
Η ρηξιγενής ζώνη Βόρειας Πιερίας έχει γενική διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ έως Α-Δ και οριοθετεί τη πεδιάδα του Αλιάκμονα από τη λοφώδη περιοχή της Βόρειας Πιερίας (Σχ. 67). Η ζώνη αυτή συγκεντρώνει το ενδιαφέρον γιατί βρίσκεται στη προς τα δυτικά πιθανή επέκταση του ρήματος Ανθεμούντα, μολονότι ανάμεσά τους παρεμβάλεται ο Θερμαϊκός Κόλπος.

Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα μήκους μερικών χιλιομέτρων σε διεύθυνση Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ, τα οποία χαρτογραφούνται από την πλημμυρική ζώνη του ποταμού Αλιάκμονα, προς το Θερμαϊκό κόλπο.



Σχήμα 67. Η ρηξιγενής ζώνη Βόρειας Πιερίας, όπως χαρτογραφήθηκε στο παρόν ερευνητικό έργο, αποτελεί μια σύνθετη ζώνη διάρρηξης με κλάδους-τμήματα ρηγμάτων, τα οποία είναι καλυμμένα από τα πρόσφατα αλλουβιακά ιζήματα.

Τα ρήγματα αυτά παρουσιάζουν πρόσφατη δράση, που αντανακλάται στα διαδοχικά τεκτονικά πρηνή που αναγνωρίζονται σε διάφορους κλάδους και τμήματα ρηγμάτων, αλλά και από το γεγονός ότι παράλληλα ρήγματα αναγνωρίζονται και μέσα στο πεδινό τμήμα βόρεια από τη Μελίκη. Η διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ των ρηγμάτων της Βόρειας Πιερίας διαφοροποιείται λίγο από τη ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση των ρηγμάτων που συνιστούν τη ρηξιγενή ζώνη Ανθεμούντα. Παρ'όλα αυτά η γεωμετρική συνέχεια των δύο ρηξιγενών ζωνών Ανθεμούντα και Βόρειας Πιερίας εκατέρωθεν του Θερμαϊκού κόλου δεν μπορεί να αποκλεισθεί.



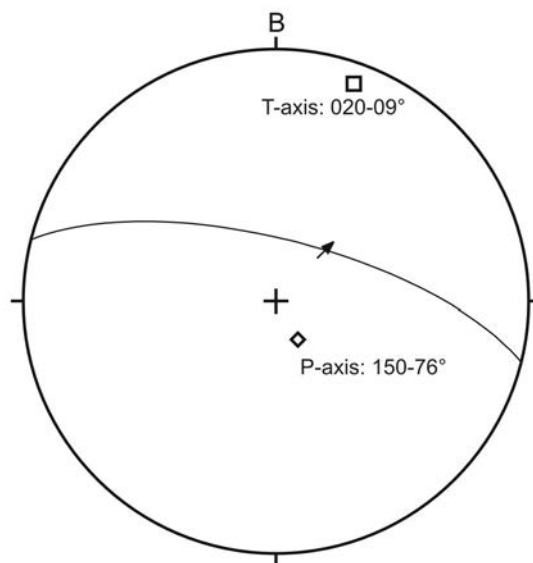
Σχήμα 68. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία της ρηξιγενούς ζώνης Βόρειας Περίας όπως προσδιορίζονται στη περιοχή της Βεργίνας και της Παλατίτσας. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Τα ρήγματα της ζώνης αυτής εμφανίζουν γενικά κανονικές έως πλαγιοκανονικές κινήσεις που κατά ρήγμα εμφανίζουν σημαντική διαφοροποίηση, όπως στο τμήμα ρήματος Βεργίνας και στο τμήμα ρήματος Παλατίτσας (Σχ. 68), οι οποίες προσδιορίζουν μέγιστη έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση.

Ρήγμα Βουρβουρούς

Το ρήγμα Βουρβουρούς αποτελεί μια σύνθετη ζώνη διάρρηξης ΔΒΔ-ΑΝΑ (N100°) διεύθυνσης με μετάπτωση προς τα ΒΒΑ, που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της χερσονήσου της Σιθωνίας (Τρανός 1998). Το ρήγμα διαμορφώνει τη μορφολογία σε μήκος 15km περίπου, ενώ είναι πολύ πιθανή η προς τα ανατολικά συνέχεια του μέσα στο θαλάσσιο χώρο. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα εντυπωσιακό ρήγμα, με ευθύγραμμη ανάπτυξη, το οποίο διακρίνεται μορφοτεκτονικά και χαρτογραφικά σε δύο διαφορετικά τμήματα: (α) το δυτικό, όπου σχηματίζει μια επιμήκη και στενή κοιλάδα και (β) το ανατολικό, όπου το ρήγμα παρουσιάζει τα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά ενός κρασπεδικού ρήματος διαμορφώνοντας τις ακτογραμμές και το σχήμα της χερσονήσου.

Το ρήγμα της Βουρβουρούς φαίνεται να καθορίζει άμεσα το μορφοανάγλυφο και να προκαλεί μια σημαντική μετάπτωση του ΒΒΑ τμήματος, στην πλευρά του οποίου αναπτύσσονται κατά μήκος του ρήγματος παράλληλα αλλουβιακά ριπίδια που δείχνουν έμμεσα την πρόσφατη δραστηριοποίηση του ρήγματος, γεγονός που το χαρακτηρίζει ως πιθανό ενεργό ρήγμα. Στο ανατολικό αυτό τμήμα βρέθηκαν ρηξιγενείς επιφάνειες κατά μήκος αυτού, οι οποίες προσδιορίζουν ότι η τελευταία δραστηριοποίηση του ρήγματος είναι η δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κανονική κίνηση (Σχ. 69).



Σχήμα 69. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Βουρβουρούς. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

4.2.2 Ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης

Τα ρήγματα αυτά φαίνονται να έχουν σχηματίσει και διαμορφώσει στο σύνολό τους τις μεγάλες Νεογενείς λεκάνες που αναγνωρίζονται στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως είναι η λεκάνη Στρυμόνα, η λεκάνη Λαγκαδά, κ.ά.

Ρηξιγενής ζώνη Στρυμόνα

Η ρηξιγενής ζώνη Στρυμόνα αποτελεί τη ΒΔ-ΝΑ ρηξιγενή γραμμή που προσδιορίζεται στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης Στρυμόνα. Έχει συνολικό μήκος 90km περίπου και διαχωρίζεται σε τρεις επιμέρους κλάδους-τμήματα: το τμήμα Θεοδωράκιου-Κερκίνης με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και μήκος 17km περίπου, το τμήμα Κερκίνης-Νιγρίτας με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και μήκος 40km περίπου και το τμήμα ρήγματος Αηδονοχωρίου με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση και μήκος 20km περίπου.

Η τμηματοποίηση αυτή προκλήθηκε από τη μετέπειτα δράση των ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία και τροποποιούν τη ρηξιγενή ζώνη Στρυμόνα. Επιπλέον και η ύπαρξη παλαιότερων ρηγμάτων ΒΒΑ-ΝΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, τα οποία στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας επαναδραστηριοποιούνται στο σύγχρονο εντατικό πεδίο ως ρήγματα μεταβίβασης των τάσεων αποκόπτουν τη μεγάλη ρηξιγενή γραμμή Στρυμόνα σε επιμέρους τμήματα. Τα τρία τμήματα ρηγμάτων που προαναφέρθηκαν εμφανίζουν διαφορετική διεύθυνση και διαφορετικά μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά. Κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης Στρυμόνα αναγνωρίζεται πρόσφατη σεισμική δράση, όπως προκύπτει από τις καταγραφές της τελευταίας 20ετίας, ωστόσο, αυτή φαίνεται να επικεντρώνεται κυρίως στο τμήμα Θεοδωράκιου-Κερκίνης και στο βόρειο άκρο του τμήματος Κερκίνης-Νιγρίτας, δηλαδή στο σημείο διαχωρισμού των δύο τμημάτων. Αντίθετα, στο τμήμα Νιγρίτας-Δάφνης-Αηδονοχωρίου η σεισμική δράση είναι διάχυτη και πιθανά συνδέεται με τη δραστηριοποίηση των Α-Δ κλάδων που τροποποιούν την ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Μουντράκης κ.ά. 1994).

Όσον αφορά την κινηματική της ρηξιγενούς αυτής ζώνης, η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από κανονικές έως πλαγιοκανονικές κινήσεις, οι οποίες στο σύνολό τους αποδίδονται στο προγενέστερο ΒΑ-ΝΔ εφελκυσμό που κυριάρχησε στον ευρύτερο χώρο στο Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο, μολονότι οι περισσότεροι αριστερόστροφες πλάγιες κινήσεις είναι συμβατές με το σύγχρονο εντατικό πεδίο.

Είναι βέβαια σαφές ότι στη συνολική νεοτεκτονική δράση της ρηξιγενούς ζώνης Στρυμόνα από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι σήμερα οφείλεται η οριοθέτηση της λεκάνης από τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής στα βουνά Βερτίσκοκ και Κρούσια.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στο χώρο της Νιγρίτας έχει προσδιοριστεί ένα σημαντικό γεωθερμικό πεδίο που επίσης αποδίδεται στη ρηξιγενή ζώνη Στρυμόνα. Στον επίσημο γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 αναφέρεται ως ενεργό ρήγμα η διακεκομμένη τεκτονική γραμμή που βρίσκεται στη μέση της λεκάνης με διεύθυνση παράλληλη στο κρασπεδικό ρήγμα. Ο εντοπισμός του ρήγματος οφείλεται στην επεξεργασία γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Από την άποψη της γεωλογικής μελέτης υπαίθρου και τα διαθέσιμα σεισμολογικά δεδομένα δεν προκύπτουν βασικά στοιχεία για να χαρακτηριστεί η ρηξιγενής ζώνη Στρυμόνα ως ενεργή, η δε παράλληλη τεκτονική γραμμή στη μέση της λεκάνης δεν είναι παρατηρήσιμη στο υπαίθρο.

Φαίνεται ότι η δραστηριοποίηση της ρηξιγενούς ζώνης Στρυμόνα στο σύγχρονο εντατικό πεδίο αφορά τη δραστηριοποίηση μικρότερων τμημάτων ρηγμάτων της ιδιαίτερα στα άκρα της ζώνης αυτής (περιοχή Κερκίνης και περιοχή Νιγρίτας-Αηδονοχωρίου), και κυρίως στις θέσεις τροποποίησης της ρηξιγενούς ζώνης από τα νεότερα ρήγματα, τα οποία προαναφέρθηκαν ως ρήγματα Νότιας Λεκάνης Στρυμόνα.

Σεισμική ρηξιγενής ζώνη Σχολαρίου-Ανάληψης-Ασσήρου

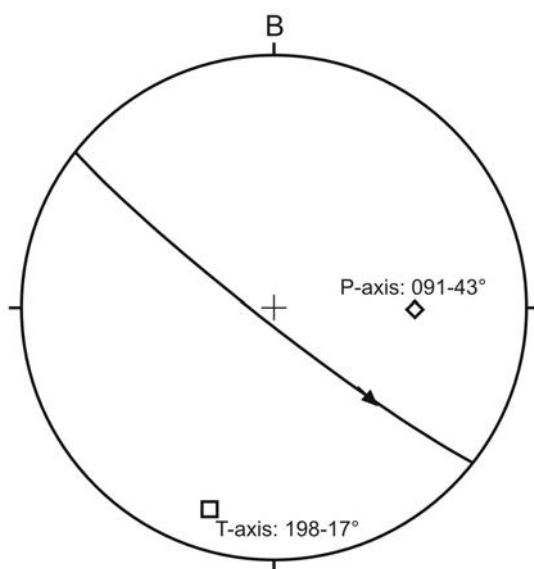
Πρόκειται ουσιαστικά για τη μεγάλη ρηξιγενή ζώνη συνολικού μήκους πάνω από 30km, η οποία οριοθετεί τη βορειοανατολική πλευρά του βυθίσματος Λαγκαδά από το χωριό Σχολάρι μέχρι την Άσσηρο. Τμήμα της ρηξιγενούς αυτής ζώνης που περιγράφεται ως το Σεισμικό ρήγμα Σχολαρίου (Papazachos et al. 1979; Mountrakis et al. 1983) ενεργοποιήθηκε στο σεισμό της Θεσσαλονίκης $M_s = 6.5$ το 1978 σαν ένας κλάδος του συστήματος ρηγμάτων με επιφανειακά ίχνη ανάμεσα στα χωριά Ευαγγελισμός - Σχολάρι - Στίβος.

Πρόκειται για ρήγμα γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (περίπου $N128^\circ$) με μετάπτωση προς τα ΝΔ και σημαντική αριστερόστροφη συνιστώσα, όπως διαπιστώθηκε από την επιφανειακή διάρρηξη του σεισμού του 1978, αλλά και από τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (Σχ. 70) που καταγράφηκαν κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης. Το συνολικό μήκος του σεισμικού ρήγματος, δηλαδή το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης στο σεισμό, υπολογίσθηκε στα 8 km, ενώ στις αεροφωτογραφίες και στο ύπαιθρο το ρήγμα φαίνεται ως μια ευθύγραμμη τεκτονική αναβαθμίδα κατά μήκος της λεκάνης Λαγκαδά παρά το χωριό Ευαγγελισμός.

Αντίθετα το τμήμα του ρήγματος που διασχίζει το βύθισμα της Μυγδονίας μεταξύ των δύο λιμνών και κατευθύνεται προς το χωριό Στίβος δεν είναι ορατό σήμερα εκτός από μια τεκτονική αναβαθμίδα στο χωριό Σχολάρι. Με το σεισμό του 1978 το ρήγμα παρουσίασε μέγιστο επιφανειακό άλμα 25 cm, άνοιγμα από 2 έως 16 cm και ορατή αριστερόστροφη μετατόπιση 2-3 cm σε πολλά σημεία, ιδιαίτερα όμως μέσα στο χωριό Σχολάρι. Πολλοί μικροσεισμοί που καταγράφονται ακόμη και σήμερα υποδηλώνουν ότι το ρήγμα εξακολουθεί να παραμένει σεισμικά ενεργό και δίνει πολλούς μικροσεισμούς.

Η συνέχεια του σεισμικού ρήγματος προς τα ΒΔ είναι ένα ευθύγραμμο ρήγμα που οριοθετεί το βύθισμα του Λαγκαδά στη βορειοανατολική του πλευρά και είναι το τμήμα ρήγματος Ανάληψης-Ασσήρου. Έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ($N130^\circ-150^\circ$) και

μήκος 20 km. Ωστόσο, για το τμήμα αυτό δεν έχουμε στοιχεία για συγκεκριμένη σεισμική δράση σε ιστορικούς χρόνους. Στο ύπαιθρο η ρηξιγενής του επιφάνεια είναι παρατηρήσιμη σε αρκετές θέσεις όπως π.χ στο τμήμα Ανάληψης-Ευαγγελισμού. Ανατολικά της Ασσήρου ανιχνεύεται μέσα στα Τεταρτογενή ιζήματα. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται ως ενεργό τμήμα ρήγματος γιατί επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα και αποτελεί τη συνέχεια του σεισμικού ρήγματος Σχολαρίου. Επίσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος βρίσκεται μια σειρά επικέντρων μικροσεισμών με μικρό βαθμό συσχέτισης με το ρήγμα και το επίκεντρο του μεγάλου σεισμού της Ασσήρου στις 5 Ιουλίου 1902, 14:56:30, 40.8°N-23.1°E, Ms = 6.6 (ένταση IX MM), το οποίο όμως δεν είναι με ακρίβεια προσδιορισμένο εκείνη την εποχή ούτε υπάρχουν περιγραφές ή άλλα στοιχεία για εμφάνιση διαρρήξεων κατά τη σεισμική δράση του 1902. Για τους λόγους αυτούς δεν τεκμηριώνεται άμεσα η σύνδεση του ρήγματος αυτού με το μεγάλο σεισμό της Ασσήρου.



Σχήμα 70. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ασσήρου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρήγμα Λητής-Λαγυνών-Αγίου Βασιλείου-Βασιλουδίου

Πρόκειται για το τμήμα ρήγματος που είναι η συνέχεια προς τα Δυτικά-Βορειοδυτικά του σεισμικού ρήγματος Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα (Μουντράκης κ.ά., 1996α, 1997α). Εμφανίζει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και τοποθετείται στο νότιο τμήμα της λίμνης Κορώνειας (Αγ. Βασιλείου) αποκτώντας μήκος που ξεπερνά τα 20 km, ενώ φαίνεται ότι αρχικά συνέχιζε προς τα ΝΑ στο χώρο

των Σανών-Ζαγκλιβερίου διαμορφώνοντας τις ΒΑ παρυφές του ορεινού όγκου Χορτιάτη. Είναι ευδιάκριτο στις δορυφορικές εικόνες σαν μια ζώνη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης που αποτελείται από δύο με παρόμοια διεύθυνση κλάδους ρηγμάτων με μετάπτωση προς τα ΒΑ, και οι οποίοι αναγνωρίζονται στο ύπαιθρο από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους και τις καλά διαμορφωμένες τεκτονικές αναβαθμίδες και τις τριγωνικές επιφάνειες ρήγματος (triangular facets), αλλά και γιατί οριοθετούν τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα σε σχέση με το αλπικό-προαλπικό υπόβαθρο. Ο κύριος και μεγαλύτερος κλάδος Λητής-Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου έχει μήκος 15km περίπου και ο μικρότερος κλάδος Βασιλουδίου περίπου 6km. Ο τελευταίος έχει θεωρηθεί συνέχεια του σεισμικού ρήγματος Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα.

Παράλληλα και νοτιοδυτικότερα προς το κλάδο Λητής-Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου αναγνωρίζεται ένας παράλληλος κλάδος, ο οποίος εντοπίζεται αποκλειστικά μέσα στα πετρώματα του υποβάθρου και οι τριγωνικές επιφάνειες είναι σημαντικά πιο διαβρωμένες από αυτές του κύριου, προς τη λεκάνη, κλάδου.

Παρ' όλο ότι το ρήγμα Λητής-Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου-Βασιλουδίου είναι αναμφισβήτητα ενεργό αφού εντάσσεται στο πλέγμα των ενεργών ρηγμάτων της Μυγδονίας λεκάνης εντούτοις δεν έχουμε στοιχεία για συγκεκριμένη σεισμική δράση σε ιστορικούς χρόνους κατά μήκος αυτού. Το ρήγμα Λητής-Λαγυνών-Αγ. Βασιλείου εμφανίζεται, όπως και το ρήγμα Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα, σαν το γεωλογικό όριο μεταξύ σχηματισμών του υποβάθρου και των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζημάτων που πληρώνουν το βύθισμα της Μυγδονίας.

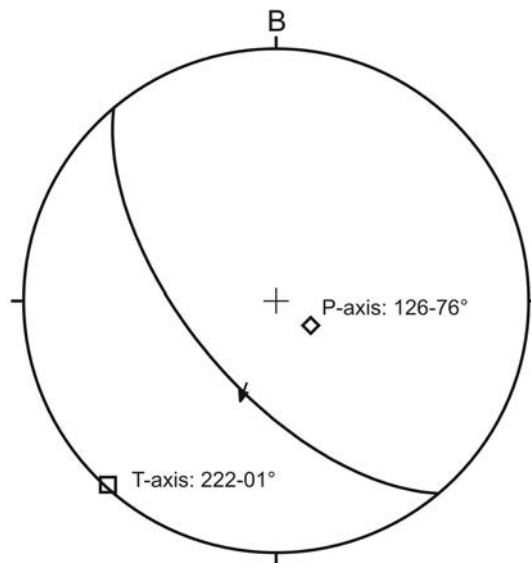
Συμπερασματικά, το ρήγμα χαρακτηρίζεται σεισμικό-ενεργό γιατί (Μουντράκης κ.ά. 1997α): (α) οριοθετεί το γνωστό ενεργό βύθισμα της Μυγδονίας στο τμήμα της λίμνης Λαγκαδά, (β) αποτελεί συνέχεια του γνωστού σεισμικού ρήγματος Γερακαρούς-Νικομηδινού-Στίβου-Περιστερώνα, (γ) διαμορφώνει άμεσα το σύγχρονο μορφοανάγλυφο, (δ) επηρεάζει τα Μέσο-Ανω Πλειστοκαινικά ιζήματα (δημιουργία αναβαθμίδων) και (ε) συνδέεται άμεσα με πλήθος μικροσεισμών, όπως έχει καταγραφεί από το πυκνό δίκτυο σειсмоγράφων του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

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

Ρήγμα Μεγάλης Παναγιάς-Γοματίου

Το ρήγμα Μεγάλης Παναγιάς-Γοματίου με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και μήκος 24km περίπου διαμορφώνει μια σφηνοειδούς σχήματος κοιλάδα που ανοίγει προς το Σιγγιτικό κόλπο. Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης (130°) και μετάπτωσης προς τα ΝΔ. Η παραπάνω κοιλάδα είναι μια νεοτεκτονική ημιτάφρος πληρωμένη με Νεογενή και κυρίως Τεταρτογενή ιζήματα και διαμορφώνεται κατά μήκος των χωριών Μεγάλη Παναγιά και Γομάτι με επιμήκη ανάπτυξη και σχηματισμό πλευρικών και κολλουβιακών αποθέσεων κατά μήκος. Η μορφολογική ταπείνωση των εκατέρωθεν τεμαχών που γίνεται εύκολα αντιληπτή στο τμήμα ανάμεσα στη Μεγάλη Παναγιά και το Γομάτι όπου είναι μεγαλύτερη από 200m (Μουντράκης κ.ά. 1995).

Το ρήγμα συνεχίζεται νοτιοανατολικότερα μέχρι το χωριό Ξηροπόταμος, όπου επηρεάζει τα Νεογενή ιζήματα και διαμορφώνει τις νότιες πλευρές του μυχού της Ιερισσού.



Σχήμα 71. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Μεγάλης Παναγιάς-Γοματίου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Η πιο πρόσφατη κίνηση του ρήγματος, όπως προκύπτει από τις γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης είναι δεξιόστροφου πλαγιοκανονικού έως πλάγιου ρήγματος με μέγιστη έκταση σε ΒΑ-ΝΔ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση (Σχ. 71).

4.2.3 Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης

Στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας, τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης σε αντίθεση με το χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης δεν αναγνωρίζονται εύκολα. Μάλιστα, ενώ ο σχηματισμός στενών μικρών ή μεγαλύτερων λεκανών, κοιλάδων και γενικών μορφολογικών υφέσεων πληρωμένων με Νεογενή ή Τεταρτογενή ιζήματα σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση δείχνουν ότι ο ρηξιγενής ιστός περιλαμβάνει ρήγματα ή ρηξιγενείς ζώνες ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης και μεγέθους πολλών χιλιομέτρων, η κάλυψη του προαλπικού και αλπικού υποβάθρου από τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα δεν επιτρέπει την ανίχνευση των ιχνών τους παρά μόνο σε μικρά τμήματα.

Τα ρήγματα που μπορούν να συμπεριληφθούν στη διεύθυνση αυτή εμφανίζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις όσον αφορά την επικινδυνότητά τους στο σύγχρονο εντατικό πεδίο. Η ρηξιγενής ζώνη π.χ. της Βόρεια Αλμωπίας έχει συσχετιστεί με πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα, αντίθετα τα ρήγματα Νικόπολης-Ευλόπολης δεν χαρακτηρίζονται ως ενεργά ρήγματα.

Ρηξιγενής ζώνη Βόρειας Αλμωπίας

Η ρηξιγενής ζώνη Βόρειας Αλμωπίας οριοθετεί την οροσειρά του Βόρα (Καϊμακτσαλάν), που εκτείνεται προς Βορρά κατά μήκος των Ελληνογιουγκοσλαβικών συνόρων, από τη λεκάνη της Αλμωπίας (πεδιάδα της Αριδαίας) στο Νότο (Pavlides et al., 1990).

Έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (περίπου 60°) και κλίση προς ΝΑ και προφανώς με τη νεοτεκτονική του δράση έχει προκαλέσει το βύθισμα της λεκάνης Αλμωπίας με μετάπτωση προς ΝΑ.

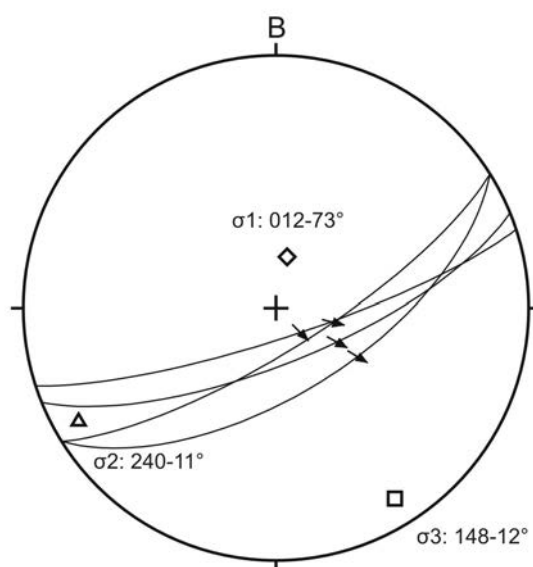
Το συνολικό του μήκος υπολογίζεται σε 30 km και διέρχεται από τα χωριά Κάτω Λουτράκι, Λυκόστομο, Πρόμαχοι, Νότια.

Το ρήγμα στους πρόποδες της οροσειράς του Βόρα επηρεάζει όλα τα αλπικά και προαλπικά πετρώματα της ζώνης Αλμωπίας, δηλαδή τα μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθους, γνεύσιους, μάρμαρα), τους οφειόλιθους και τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους δημιουργώντας συνεχείς κατοπτρικές επιφάνειες πάνω στις οποίες μετρήθηκαν δυο κινήσεις. Μια παλιότερη πλαγιοκανονική με έντονη συνιστώσα δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης και μια νεότερη κανονική-

πλαγιοκανονική με ασθενική δεξιόστροφη οριζόντια μετατόπιση που ανάγεται στο πρόσφατο-ενεργό πεδίο των εφελκυστικών τάσεων.

Το ρήγμα χαρακτηρίζεται ως ενεργό διότι παρατηρήθηκε σε πολλές θέσεις κατά μήκος του ορίου του υποβάθρου του Βόρα και των Τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης να επηρεάζει αφ' ενός μεν ηφαιστειακούς τόφφους ηλικίας Πλειοπλειστοκαίνου και λιμναίους ασβεστόλιθους Πλειστοκαίνου, αφ' ετέρου δε τραβερτινικούς σχηματισμούς Άνω (;) Πλειστοκαίνου.

Επίσης η διεύθυνση και η κινηματική του ρήγματος (Σχ. 72) υπακούει στο ενεργό πεδίο των τάσεων, που όπως περιγράφηκε και προηγουμένως δραστηριοποιεί ρήγματα στη διεύθυνση αυτή των 50-60-70° στο χώρο της Κεντρο-Δυτικής Μακεδονίας και χαρακτηρίζεται από σχεδόν οριζόντιο ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση.



Σχήμα 72. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Βόρειας Αλμωπίας, όπως προκύπτει από μικρότερες παρόμοιου προσανατολισμού ρηξιγενείς επιφάνειες κατά μήκος του ρήγματος. Οι κύριοι άξονες τάσης (σ_1 , σ_2 , σ_3), όπως προσδιορίζονται από τα ρήγματα αντιστοιχούν σε ένα εκτατικό εντατικό πεδίο σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση.

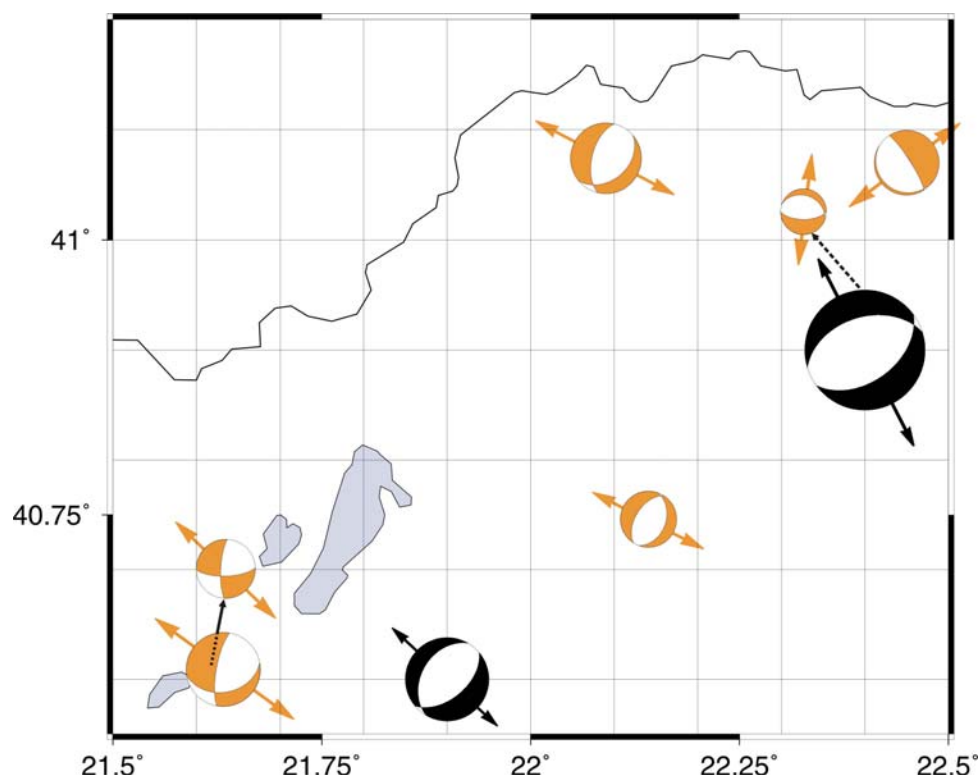
Σεισμικό ρήγμα Γρίβας-Γουμένισσας

Το ρήγμα αυτό εντοπίζεται στους πρόποδες του βουνού Πάικου. Έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (40-50°) και κλίνει με μεγάλη γωνία κλίσης (~80°) προς τα ΝΑ. Πρόκειται για ρήγμα κανονικό με μετάπτωση προς τα ΝΑ, που κόβει τα πετρώματα των ζωνών Πάικου και Παιονίας δηλαδή τους Μεσοζωϊκούς κρυσταλλικούς

ασβεστόλιθους και τις αντίστοιχες γνωστές ηφαιστειοϊζηματογενείς σειρές των δύο ζωνών.

Προφανώς με τη νεοτεκτονική του δράση έχει προκαλέσει τη βύθιση των παραπάνω αλπικών πετρωμάτων των ζωνών Πάικου-Παιονίας προς τα ΝΑ και έχει συμβάλει στη διαμόρφωση του βορείου ορίου της λεκάνης Αξιού-Θεσσαλονίκης στην οποία αποτέθηκαν τα νεογενή ιζήματα που καταλαμβάνουν την έκταση ΝΑ του ρήγματος.

Το συνολικό ορατό μήκος του ρήγματος υπολογίζεται στα 12 km, αλλά λόγω της μορφολογίας της ανάπτυξης του παραπάνω ορίου της λεκάνης πιθανολογείται η προέκτασή του τόσο προς τα ΝΔ αλλά κυρίως προς τα ΒΑ και έτσι το συνολικό του μήκος είναι πιθανόν να είναι αρκετά μεγαλύτερο. Το ρήγμα χαρακτηρίζεται ως σεισμικό αποκλειστικά με σεισμολογικά κριτήρια, μολονότι τα γεωλογικά στοιχεία δεν είναι σημαντικά για να χαρακτηρίσουν το ρήγμα ως ενεργό. Συγκεκριμένα στο ρήγμα αυτό αποδίδεται η σεισμική ακολουθία του μεγάλου σεισμού μεγέθους $M=5.9$ της 21/12/1990, όπου τα επίκεντρα της συγκεκριμένης σεισμικής ακολουθίας (προσεισμών και μετασεισμών) κατανέμονται στη ρηξιγενή αυτή γραμμή.



Σχήμα 73. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες Τ (εφελκυσμού) των σεισμών τμήματος της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (περιοχή Πάικου-Βόρα-Αλμωπίας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας). Ο σημαντικότερος είναι ο σεισμός της Γρίβας ($M=5.9$, 21/12/1990).

Ρήγμα Παλαιοχωρίου-Νεοχωρίου

Το ρήγμα αυτό με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και μετάπτωση προς τα ΒΔ εμφανίζει συνεχές ευθύγραμμο ίχνος μήκους 9km περίπου και διαμορφώνει τη στενή κοιλάδα Παλαιοχωρίου-Νεοχωρίου, η οποία πληρούται με Τεταρτογενή χερσοποτάμια ιζήματα.

Το ρήγμα, στο μεγαλύτερό του τμήμα, διακόπτει τα γνευσιακά πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας και έχει συνδεθεί με τον πρόσφατο σεισμό της Αρναίας που συνέβει στις 3 Μαΐου 1995 με μέγεθος $M=5.3$.

Υποθαλάσσιο σεισμικό ρήγμα Νότια των Χερσονήσων Άθω και Σιθωνίας (Βορείου Αιγαίου)

Το ρήγμα αυτό με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ εντοπίζεται στο θαλάσσιο χώρο από τις ισοβαθείς που παρουσιάζουν σημαντικά ευθύγραμμη ανάπτυξη νότια από τις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Άθω. Το ρήγμα ουσιαστικά υλοποιεί το βόρειο περιθωριακό ρήγμα της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου και λόγω αυτού του ρήγματος φαίνεται να τερματίζει η Χαλκιδική χερσόνησος προς Νότο.

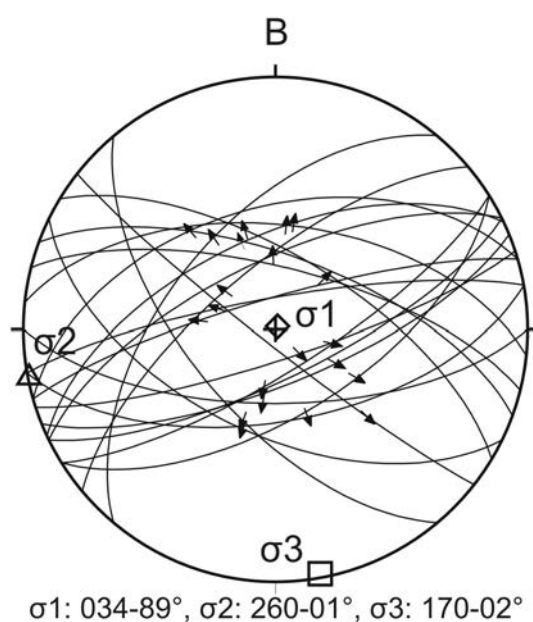
Μορφολογικά χαρακτηρίζεται ως ρήγμα με μεγάλη γωνία κλίσης προς Νότο, γεγονός που γίνεται αντιληπτό στη χερσόνησο του Άθω με το γεωλογικό παράλληλο ρήγμα που σημειώνεται στον χάρτη στην άκρη της χερσονήσου.

Κινηματικά το ρήγμα αυτό έχει χαρακτηριστεί έμμεσα ως σεισμικά ενεργό ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, αφού εντάσσεται στο σύστημα ρηγμάτων της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου, που είναι γνωστή για την έντονη σεισμικότητά της και συνδέεται με μηχανισμούς γένεσης σεισμών που αντιστοιχούν σε ρήγματα δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης στην ίδια ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση, στην οποία τοποθετείται και πλήθος επικέντρων. Παρόλα αυτά μπορεί κάλλιστα να παρουσιάσει συμπεριφορά κανονικού ρήγματος βάση του προσανατολισμού του, όπως έχει παρατηρηθεί σε πολλά παρόμοιας διεύθυνσης ρήγματα στο χώρο της Χαλκιδικής, που παρουσιάζουν κανονική ως πλαγιοκανονική κίνηση.

4.2.4 Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας

Ο χώρος της Κεντρικής Μακεδονίας παρέχει τα περισσότερα στοιχεία τόσο σεισμολογικά όσο και γεωλογικά από τα οποία μπορεί να προσδιοριστεί το σύγχρονο

πεδίο τάσεων. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι ο μέγιστος εκτατικός άξονας προσδιορίζεται σε διεύθυνση B-N, ωστόσο, διαπιστώνεται ότι αυτός κυμαίνεται σε διεύθυνση από BBD-NNA μέχρι BBA-NNΔ. Η διακύμανση αυτή στο προσανατολισμό προκύπτει ανεξάρτητα τόσο από τα σεισμολογικά στοιχεία (μηχανισμοί γένεσης) όσο και τις ρηξιγενείς γεωλογικές δομές (ρήγματα, νεοτεκτονικές διακλάσεις). Η αιώρηση αυτή γύρω από τη διεύθυνση B-N φαίνεται ότι είναι αποτέλεσμα του προϋπάρχοντος ρηξιγενούς ιστού και της ύπαρξης τμημάτων ρηγμάτων με διεύθυνση ΔBΔ-ANA, ABA-ΔNΔ και A-Δ, πάνω στα οποία προκαλείται κύρια η σύγχρονη διάρρηξη. Από τη δυναμική ανάλυση των μεγάλων ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων που προσδιορίστηκαν στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας προκύπτει ότι το εντατικό πεδίο είναι εκτατικό με ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) σχεδόν οριζόντιο σε BBD-NNA διεύθυνση και μέγιστο κύριο άξονα τάσης (σ_1) κατακόρυφο (Σχ. 74).



Σχήμα 74. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως προσδιορίζεται από τα μεγάλα ενεργά ρήγματα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη.

4.3 Περιοχή Δυτικής Μακεδονίας

Η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας (Σχ. 34) προσδιορίζεται γεωγραφικά δυτικά του ορεινού άξονα Βόρα, Βερμίου, Πιερίων και Ολύμπου, ενώ προς τα νότια ως φυσικό γεωγραφικό όριο αποτελεί ο ρους του ποταμού Αλιάκμονα και ο ορεινός όγκος της Βουνάσας. Αποτελείται από ορεινό και λοφώδες ανάγλυφο, το οποίο διακόπτεται από τις μεγάλες πεδινές-λοφώδεις εκτάσεις των λεκανών Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, Κοζάνης, Σερβίων και της Φλώρινας και τη λεκάνη των Γρεβενών. Δυτικά τα σύνορα με την Αλβανία και ο ορεινός όγκος της Πίνδου προσδιορίζουν το χώρο της Δυτικής Μακεδονίας προς τα δυτικά.

Η λεκάνη των Γρεβενών που νοτιότερα συνεχίζεται στο χώρο της Καλαμπάκας είναι πληρωμένη με μολασσικά μεταλλικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας που έχει γενικά ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Το σύστημα των λεκανών Φλώρινας-Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης-Σερβίων έχει επίσης ΒΔ-ΝΑ τεκτονική ανάπτυξη, αποτελώντας το κύριο σύστημα λεκανών στη μέση της Δυτικής Μακεδονίας και πληρώνονται από Νεογενή και Τεταρτογενή λιμναία και χερσοποτάμια ιζήματα.

Ο ρηξιγενής ιστός στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας περιλαμβάνει ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης τα οποία προσανατολίζονται σε: (1) ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση, (2) Α-Δ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση, (3) ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση.

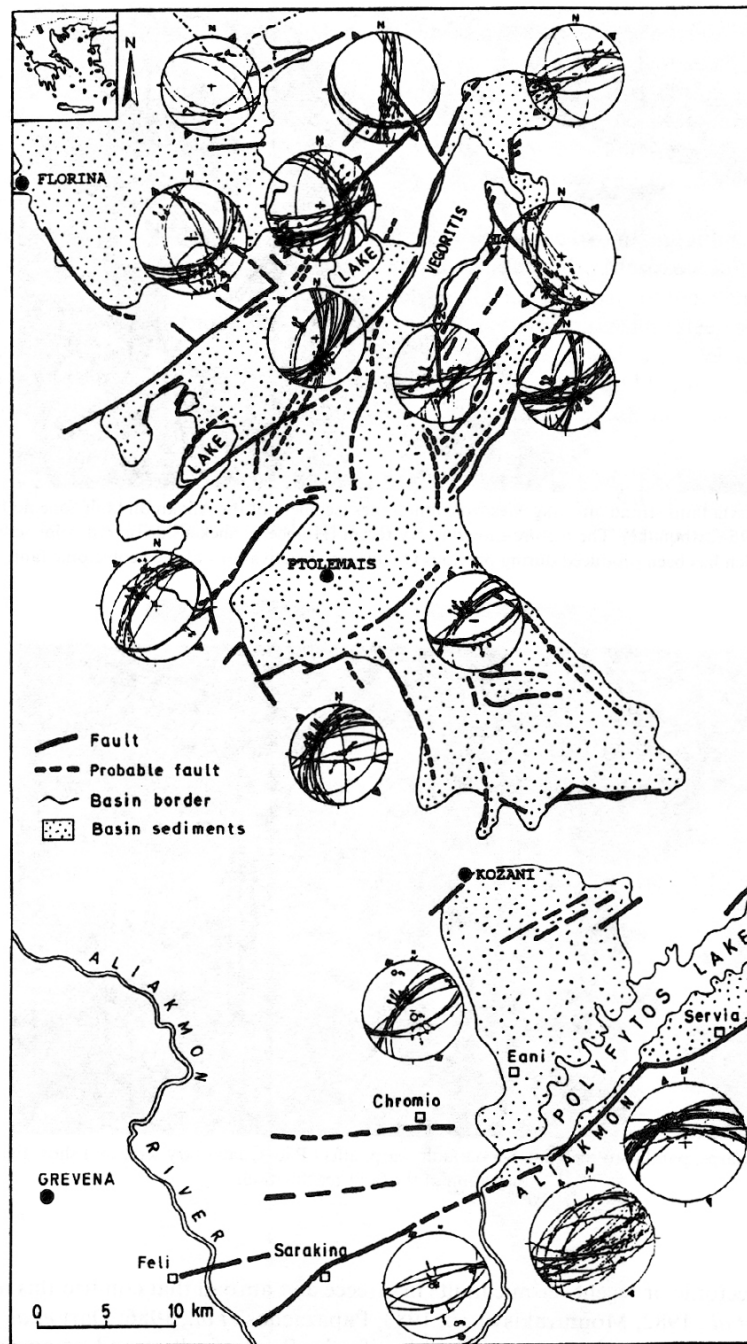
4.3.1 Τα ρήγματα σε ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση

Τα ρήγματα αυτά αποτελούν τις πιο εμφανείς ρηξιγενείς γραμμές στη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, οι οποίες χαρτογραφούνται κυρίως στα πετρώματα του υποβάθρου, να διακόπτουν τους ορεινούς όγκους. Τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα αποτελούν παλιά προϋπάρχοντα ρήγματα που κινηματικά αναγνωρίζεται να έχουν λειτουργήσει τουλάχιστον ως ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης και τα οποία έχουν επαναδραστηριοποιηθεί ως κανονικά πλαγιοκανονικά ρήγματα υπό το σύγχρονο ενεργό εντατικό πεδίο γενικής διεύθυνσης Β-Ν (Μουντράκης 1983; Τρανός & Μουντράκης 1998). Χαρακτηρίζονται από συνθετικές και αντιθετικές συζυγείς ρηξιγενείς επιφάνειες με πολύ μεγάλες γωνίες κλίσης ως και κατακόρυφες. Φαίνεται

να σχηματίζουν κατά περιοχές συστήματα ρηγμάτων, όπως αυτό στο χώρο της Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας που αποτελείται από ρήγματα ή μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες που έχουν εντοπισθεί με γεωλογικές έρευνες (Κούκουζας κ.ά. 1981, 1983; Μουντράκης 1983, Παυλίδης 1985, Pavlides & Mountrakis 1987; Μουντράκης κ.ά. 1999).

Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης τα διαφοροποιούμε από τα ΑΒΑ-ΔΝΔ ως Α-Δ διεύθυνσης ρήγματα όχι γιατί στατιστικά είναι εφικτός ένας τέτοιος διαχωρισμός, αλλά γιατί: (α) όπως παρατηρήσαμε μέσα στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα τα ρήγματα που αναγνωρίζονται να έχουν σχηματιστεί κατά το σύγχρονο εντατικό πεδίο έχουν κατά κανόνα ΑΒΑ-ΔΝΔ ως Α-Δ διεύθυνση, (β) η ίδια ΑΒΑ-ΔΝΔ ως Α-Δ διεύθυνση προσδιορίζεται από το σύνολο των σεισμικών ρωγμών που καταγράφηκαν με τον καταστροφικό σεισμό Κοζάνης-Γρεβενών της 13ης Μαΐου 1995 (Pavlides et al. 1995; Mountrakis et al., 1996, 1998).

Ειδικότερα στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας ρηξιγενείς ζώνες σε ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση είναι η ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα και το σύστημα ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Σχ. 75) (Mountrakis et al. 1998). Όλα αυτά τα ρήγματα χαρακτηρίζονται ως ενεργά, τόσο με γεωλογικά κριτήρια που θα παρατεθούν στη συνέχεια αναλυτικά για κάθε ρήγμα, όσο και με τη συμβατότητά τους με τα ρήγματα και το εντατικό πεδίο που δείχνουν οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών στην περιοχή αυτή όπως φαίνεται στα σχήματα 73 και 87.



Σχήμα 75. Χάρτης της Νεογενούς-Τεταρτογενούς λεκάνης Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Φλώρινας στο οποίο απεικονίζονται η ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα και το σύστημα ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. Επίσης δείχνονται σε στερεογραφική προβολή η γεωμετρία και κινηματική των ρηγμάτων μεσοκλίμακας και το εντατικό πεδίο που προσδιορίζουν (από Mountrakis et al., 1998).

Ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα ή το Σύστημα Ρηγμάτων Αλιάκμονα

Η ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα ή το Σύστημα Ρηγμάτων Αλιάκμονα αποτελεί τη σημαντικότερη ρηξιγενή ζώνη στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας (Σχ. 75). Η ζώνη προεκτείνεται μέχρι και το χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας κόβοντας εγκάρσια τους ορεινούς όγκους του Βούρινου και του Βερμίου, αποκτώντας συνολικό μήκος περίπου 70km και στο μεγαλύτερο τμήμα της παρακολουθείται από τη σύγχρονη ροή του ποταμού Αλιάκμονα. Τα ρήγματα ή τμήματα ρηγμάτων που τη συνιστούν είναι από τα σημαντικότερα στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, όχι μόνο για το μεγάλο μήκος που παρουσιάζουν, αλλά κυρίως γιατί συνδέονται με την πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα που έπληξε την περιοχή Κοζάνης-Γρεβενών με κύριο σεισμό το σεισμό της Κοζάνης-Γρεβενών της 13^{ης} Μαΐου 1995, μεγέθους $M=6.6$.

Η ρηξιγενής ζώνη Αλιάκμονα μπορεί να διακριθεί στα ακόλουθα επιμέρους τμήματα ρηγμάτων:

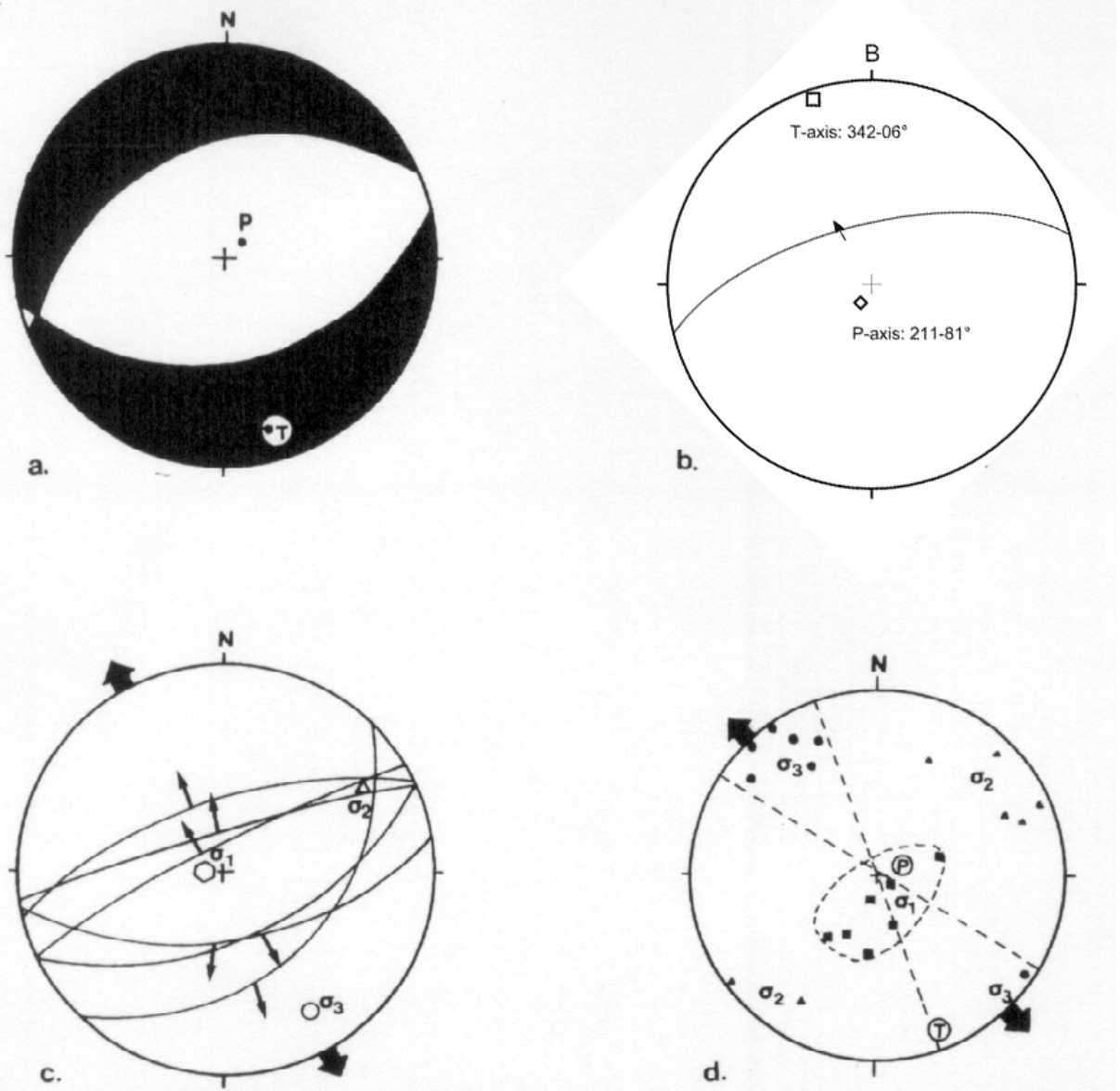
1. Ρήγμα Ρυμνίου-Παλαιοχωρίου-Σαρακήνας-Κέντρου.
2. Ενεργό ρήγμα Σερβίων-Βελβεντού.
3. Ενεργό ρήγμα Πολυφύτου-Πολυδενδρίου.

Ρήγμα Ρυμνίου-Παλαιοχωρίου-Σαρακήνας-Κέντρου

Το συνολικό μήκος του σεισμικού ρήγματος είναι 30 km και διέρχεται από τα χωριά Ρύμνιο, Παλαιοχώρι, Σαρακήνα, Κέντρο, Νησί, επηρεάζοντας τα οφειολιθικά πετρώματα, τα μολαστικά ιζήματα, τις Ανω Πλειοκαινικές-Πλειστοκαινικές αποθέσεις, αλλά ακόμη και τις πρόσφατες αποθέσεις που έχουν σχηματιστεί κατά την διεύθυνση του. Οι σεισμικές διαρρήξεις του πρόσφατου σεισμού παρακολουθούν στενά την διεύθυνση του ρήγματος, το οποίο σχηματίζει ιδιαίτερα εντυπωσιακά τεκτονικά πρηνή μέσα στα μολαστικά ιζήματα και τις Πλειο-Πλειστοκαινικές αποθέσεις (Μουντράκης κ.ά. 1999). Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα το οποίο προσδιορίζει μέγιστη έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση, όπως επιβεβαιώθηκε και από την πρόσφατη επανενεργοποίηση του κατά το σεισμό της 13/5/95 (Σχ. 76α). Η κινηματική αυτή παρατηρείται και γεωλογικά (Σχ. 76β), αλλά και στα άλλα σεισμικά ρήγματα της σειсмоγόνου περιοχής (Σχ. 76γ), τα οποία προσδιορίζουν Τ-κινηματικούς άξονες σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 76β, δ).

Στο τμήμα Ρυμνίου-Παλαιοχωρίου το ρήγμα διασχίζει τα οφειολιθικά πετρώματα της μάζας του Βούρινου (Υποπελαγονικής ζώνης), όπου όμως δεν

συγκροτεί μία συγκεκριμένη μεγάλη τεκτονική γραμμή, αλλά μια ομάδα μικρότερων παράλληλων διαρρήξεων και από το Παλαιοχώρι προς τα ΝΔ μέχρι το χωριό Νησί και Κέντρο διασχίζει τα μολασσικά ιζήματα (Σχηματισμός Τσοτυλίου) της Μεσοελληνικής αύλακας και τις Ανω Πλειοκαινικές-Πλειστοκαινικές ποταμοχειμάρρειες αποθέσεις της λεκάνης Γρεβενών διαμορφώνοντας τεκτονικό πρανές ή αναβαθμίδα (Mountrakis et al. 1996, 1998).



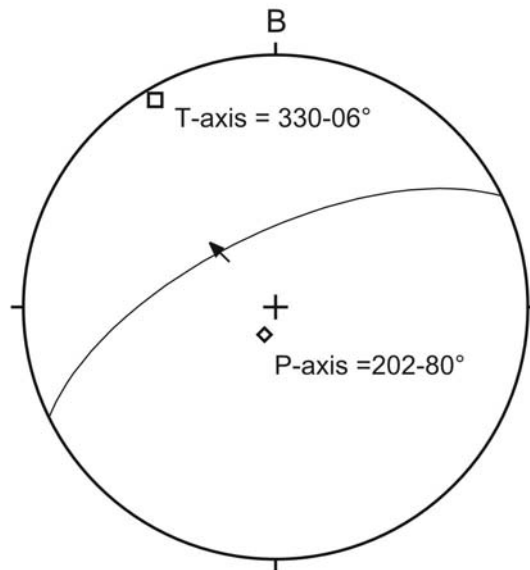
Σχήμα 76. (α) Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού Κοζάνης-Γρεβενών όπως υπολογίστηκε από τη Γεωλογική Υπηρεσία της Ιαπωνίας (P-axis: 060-82°, T-axis: 157-01°), (β) Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ρυμνίου-Παλαιοχωρίου-Σαρακήνας-Κέντρο, (γ) το εντατικό πεδίο των τάσεων από τα σεισμικά ρήγματα της σειсмоγόνου περιοχής, (δ) P- και T- κινηματικοί άξονες των ρηγμάτων που φαίνονται στο (γ). (Το σχήμα προέρχεται από τους Mountrakis et al. (1998) με μερική τροποποίηση και την προσθήκη του (β).

Με την ενεργοποίηση του ρήγματος σε συνολικό μήκος 30 km κατά το σεισμό της 13/5/95 προκλήθηκε μετάπτωση του βόρειου τεμάχους, που επιφανειακά μετρήθηκε με την απογύμνωση των πετρωμάτων σε μια ζώνη 10-20cm, παράλληλης προς το ίχνος του ρήγματος (χωριό Σαρακήνα), και με μια μικρή δεξιόστροφη οριζόντια κίνηση 1-2cm. Κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος παρατηρήθηκαν διαδοχικές εφελκυστικές επιφανειακές διαρρήξεις στα μολασσικά ιζήματα και τις Ανω Πλειοκαινικές-Πλειστοκαινικές αποθέσεις. Επίσης στον ευρύτερο χώρο Ρυμνίου-Πολυφύτου προκλήθηκαν κατά μήκος του ρήγματος έντονα φαινόμενα κατολισθήσεων και φαινόμενα ρευστοποίησης του εδάφους (liquefaction).

Ενεργό ρήγμα Σερβίων-Βελβενδού

Το ενεργό ρήγμα Σερβίων-Βελβενδού, τμήμα επίσης της μεγάλης τεκτονικής γραμμής Αλιάκμονα, αποτελεί την προς τα ανατολικά συνέχεια του σεισμικού ρήγματος Ρυμνίου-Παλαιοχωρίου-Σαρακήνας-Κέντρου (Μουντράκης κ.ά. 1999). Αρχίζει νότια από το χωριό Ρύμνιο και εκτείνεται τουλάχιστον ως τα Σέρβια, ενώ πιθανά συνεχίζεται προς τα ΒΑ προς τα χωριά Πλατανόρεμα και Βελβεντός. Το τμήμα ρήγματος αυτό με παρόμοια ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση ($B60^\circ$), γωνία κλίσης στην επιφάνεια $60^\circ - 80^\circ / B\beta\Delta$ και συνολικό μήκος περίπου 24 km, εντοπίζεται στη νότια πλευρά της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου διαμορφώνοντας ένα ευθύγραμμο απόκρημνο τεκτονικό πρανές υψομετρικής διαφοράς της τάξης περίπου των 200m στα Τριαδικο-Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης ανατολικά του Ρύμνιου. Στη συνέχεια το ρήγμα φαίνεται να οπισθοχωρεί ως προς τη λεκάνη στο ύψος των Σερβίων όπου και σχηματίζει ανάλογο ευθύγραμμο τεκτονικό πρανές. Στο τεκτονικό πρανές αποκαλύπτεται η κατοπτρική του επιφάνεια η οποία δομείται από ένα τσιμεντοποιημένο τεκτονικό λατυποπαγές με αυλακώσεις και γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης, οι οποίες δείχνουν κανονική δραστηριοποίηση (Σχ. 77) και φυσικά πολλαπλή δραστηριοποίηση.

Το ρήγμα Σερβίων-Βελβενδού (γνωστό και ως ρήγμα Σερβίων), ωστόσο δεν δραστηριοποιήθηκε με τον πρόσφατο σεισμό Κοζάνης-Γρεβενών, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται ως ενεργό ρήγμα και όχι σεισμικό (Mountrakis et al., 1996, Μουντράκης κ.ά. 1999).



Σχήμα 77. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Σερβίων-Βελβεντού. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ενεργό ρήγμα Πολυφύτου-Πολυδενδρίου

Αποτελεί τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Αλιάκμονα, στη συνέχεια του ρήγματος Σερβίων-Βελβεντού προς τα ΒΑ, όπου και διαχωρίζει τα όρη Βέρμιο και Πιέρια δίνοντας διέξοδο στη ροή του ποταμού Αλιάκμονα προς την Κεντρική Μακεδονία.

Το ρήγμα αυτό με συνολικό μήκος 20km κόβει τα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης, δηλαδή τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα και τους Μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους, ενώ είναι πιθανόν να αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα με ελαφρώς διαφορετική διεύθυνση που συνενώνονται στο χώρο δυτικά του χωριού Πολυδένδρι.

Σύστημα ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας

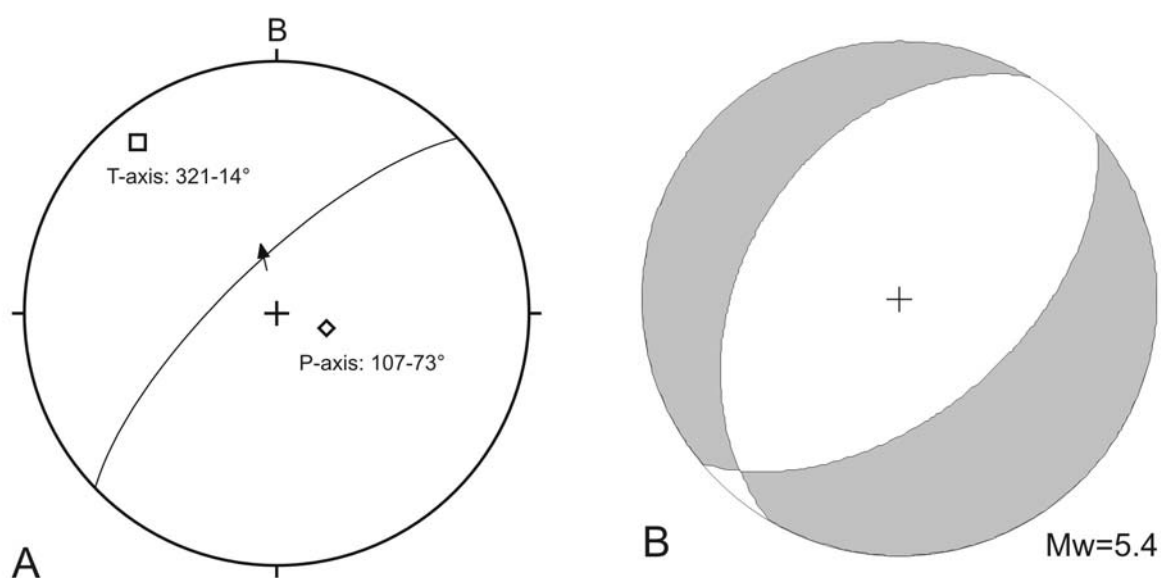
Τα ρήγματα που αναγνωρίζονται στο σύστημα ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (από 40 έως 60°) και τεμαχίζουν τα αλπικά και προαλπικά πετρώματα σχηματίζοντας διάφορες λεκάνες (βυθίσματα) που διαχωρίζονται από εξάρματα στην ίδια ΒΑ-ΝΑ διεύθυνση των ρηγμάτων (Παυλίδης 1985; Pavlides & Mountrakis 1987). Τα ενεργά αυτά ρήγματα είναι τα παρακάτω από

Νότο προς Βορρά: η ρηξιγενής ζώνη Προαστίου-Κομνηνών-Μεσόβουνου, το ρήγμα Εμπορίου-Περδίκια (Μπορντό), το ρήγμα Χειμαδίτιδας-Αναργύρων, το ρήγμα Περαίας-Μανιάκι, το ρήγμα Αγ. Σπυρίδωνα-Αγ. Παντελεήμονα-Βεγόρας, το ρήγμα Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Λίμνης Πετρών και το ρήγμα Κέλλης.

Ρηξιγενής ζώνη Προαστίου-Κομνηνών-Μεσόβουνου

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη αποτελείται από δύο διαδοχικά υποπαράλληλα τμήματα ρηγμάτων, τα οποία την προσδιορίζουν από το χωριό Ασβεστόπετρα στα ΝΔ μέχρι και βόρεια του Μεσόβουνου στα ΒΑ προσδίδοντας στη ρηξιγενή αυτή ζώνη συνολικό μήκος 30km περίπου. Η ζώνη αυτή καθορίζει στα νότια το ΝΑ περιθώριο της μεγάλης Νεογενούς λεκάνης Πτολεμαΐδας και διακρίνεται στο ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης κανονικό ρήγμα Προαστίου με μήκος 10km, το οποίο κλίνει με μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα ΒΔ και το παρόμοιας διεύθυνσης κανονικό ρήγμα Κομνηνών-Μεσόβουνου με μήκος 20km περίπου, το οποίο και αυτό κλίνει προς τα ΒΔ με μεγάλες γωνίες κλίσης. Το ρήγμα Προαστίου χαρτογραφείται κυρίως να κόβει Ανω Βιλαφράγκια (Κάτω Πλειστοκαινικά) ιζήματα (Σχηματισμός Κροκαλοπαγών Προαστίου). Πλησίον αυτού και παράλληλα προς το ρήγμα αναγνωρίζονται συνθετικοί κλάδοι ρηγμάτων που συνολικά υποβιβάζουν το χώρο της Πτολεμαΐδας στα ΒΔ κατά 400m περίπου (Παυλίδης 1985) και διαχωρίζουν τη λεκάνη της Πτολεμαΐδας από τη λεκάνη Αγ. Δημητρίου-Κοζάνης. Το τμήμα ρήγματος Κομνηνών διαμορφώνει τη στενή κοιλάδα Κομνηνών και προσδιορίζεται στο όριο του αλπικού υποβάθρου με τα Τεταρτογενή ιζήματα. Το ρήγμα αυτό στην έξοδο της λεκάνης των Κομνηνών Ανατολικά του χωριού Ανατολικό, επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη επηρεάζει Πλειστοκαινικά ιζήματα, έχει παρόμοια διεύθυνση ανάπτυξης με τα άλλα μεγάλα ρήγματα που έχουν διαπιστωθεί ότι είναι συμβατά μέσα στο ενεργό πεδίο των τάσεων και έχουν συνδεθεί με σεισμική δράση, εμφανίζει το ίδιο γεωμετρία και κινηματική (Σχ. 78α) συμβατή με το σύγχρονο εντατικό πεδίο μ' αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται ως ενεργή ζώνη. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο χώρος εμφανίζει σύγχρονη σεισμική δραστηριότητα π.χ. ο σεισμός της 9 Ιουλίου 1984 που συνέβει πλησίον της ζώνης και εμφανίζει παρόμοια γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά προσδιορίζοντας μέγιστη έκταση ($T=132-7^\circ$) σε παρόμοια ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Σχ. 78β) δείχνει ότι η ρηξιγενής αυτή ζώνη, όπως και γενικότερα το σύστημα Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας αποτελεί ένα σύστημα ενεργών και

πιθανά ενεργών ρηγμάτων. Παρόλο που η συσχέτιση του σεισμού του 1984 με την ενεργή ζώνη Προαστίου-Κομνηνών-Μεσόβουνου δεν είναι απόλυτη λόγω του ότι η ακρίβεια της θέσης του σεισμού δεν είναι τόσο μεγάλη, εντούτοις εάν θεωρήσουμε ότι αποτελεί διάρρηξη συνδεδεμένη με τη ζώνη αυτή, τότε το σεισμικό ρήγμα που έδωσε το σεισμό αυτό κλίνει προς τα ΒΔ. Η ρηξιγενής αυτή γραμμή είναι η πλησιέστερη στη πόλη της Πτολεμαΐδας και για το λόγο αυτό θα πρέπει να προσεχτεί σε κάθε μελλοντική πολεοδομική σχεδίαση ή κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων.

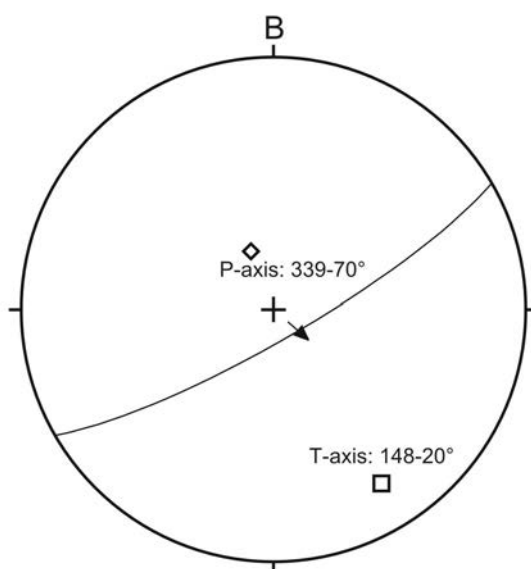


Σχήμα 78. (α) Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Προαστίου-Κομνηνών-Μεσόβουνου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα, (β) μηχανισμός γένεσης σεισμού μεγεθους $M_w=5.4$ που συνέβει πλησίον της ρηξιγενούς ζώνης στις 9 Ιουλίου 1984 και ο οποίος εμφανίζει παρόμοια γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά και έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση με αυτή.

Ενεργό ρήγμα Περαίας-Μανιάκι

Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα στα ανατολικά της λίμνης Βεγορίτιδος, όπου με ΒΑ-ΝΔ (40°) διεύθυνση και κλίση $75-85^\circ$ προς τα ΝΑ και συνολικό μήκος 12km τοποθετείται παράλληλα στον επιμήκη άξονα της λίμνης Βεγορίτιδος. Εμφανίζεται ως συνθετικό ως προς τη ρηξιγενή γραμμή Αγ. Σπυρίδωνα-Αγ. Παντελεήμονα-Φιλώτα και αντιθετικό ως προς τη ρηξιγενή ζώνη Κομνηνών. Παρατηρείται στο ύπαιθρο κατά μήκος του εθνικού δρόμου Θεσσαλονίκης-Πτολεμαΐδας στο τμήμα μεταξύ των χωριών Περαία και Μανιάκι, να κόβει τους

Μεσοζωϊκούς ασβεστόλιθους της Πελαγονικής ζώνης. Μολονότι, δε διαπιστώθηκε να συνεχίζεται μέσα στα νέα ιζήματα της λεκάνης Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας, οι ρηξιγενείς κατοπτρικές επιφάνειες του καλύπτονται από σύγχρονα πλευρικά κορήματα Βούρμιας ηλικίας ή ακόμη νεότερα (Παυλίδης 1985). Η αφαίρεση των κορημάτων αυτών με τεχνητό τρόπο από ορισμένες θέσεις της κατοπτρικής επιφάνειας οδήγησε στη λεπτομερή μικροτεκτονική μελέτη του ρήγματος (Παυλίδης 1985) που οδήγησε στον χαρακτηρισμό του ως γεωλογικά ενεργού. Η νεότερη από τις κινήσεις που διακρίθηκαν πάνω στην κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος είναι κίνηση κανονικού ρήγματος που συμφωνεί με το σύγχρονο πεδίο των τάσεων στη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (Σχ. 79). Το άλμα του ρήγματος μέσα στα ασβεστολιθικά πετρώματα εκτιμήθηκε από 2 m μέχρι 15 m.

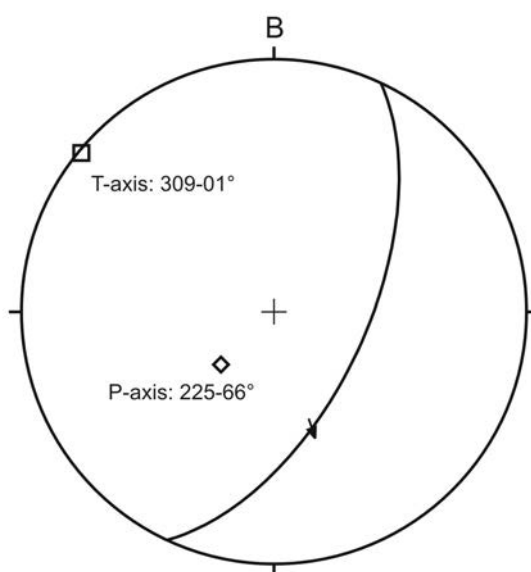


Σχήμα 79. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Περαιάς-Μανιάκι. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρήγμα Αγ. Σπυρίδωνα-Αγ. Παντελεήμονα-Βεγόρας

Πρόκειται για το ρήγμα που με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ οριοθετεί τη Δυτική ανάπτυξη της λίμνης Βεγορίτιδας, όπου έχει και τα περισσότερο σαφή μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά κρασπεδικού ρήγματος. Το μήκος του ρήγματος φτάνει τα 18km περίπου και προσδιορίζεται σε ένα χώρο με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως προκύπτει από τις πρόσφατες σεισμικές καταγραφές. Το ρήγμα

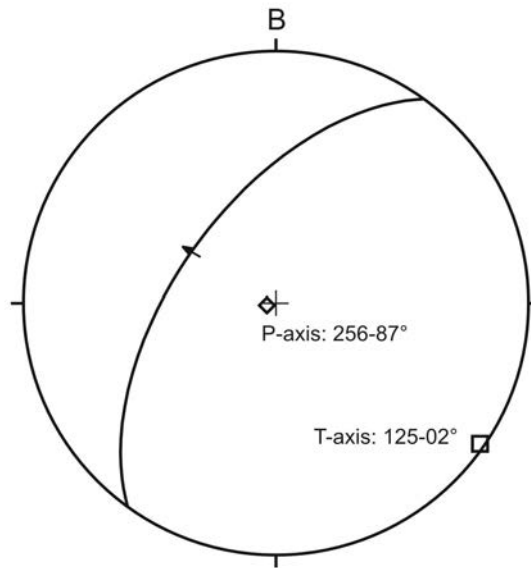
αυτό αποτελεί ένα μεγάλο κανονικό ρήγμα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ (30 έως 40°) με κλίση 60° ΝΑ και μετάπτωση προς τα ΝΑ με μήκος περίπου 20km, το οποίο κόβει τους Τριαδικο-Ιουρασικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης. Το άλμα του ρήγματος εκτιμάται στα 200-500m (Παυλίδης 1985), ενώ νοτιότερα μέσω του Β-Ν ρήγματος Φιλώτα ενδεχόμενα να συνδέεται με το πιθανό ρήγμα που οριοθετεί προς τα ΒΔ τη λεκάνη της Πτολεμαΐδας. Το ρήγμα χαρακτηρίζεται από δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση (Σχ. 80), η οποία προσδιορίζει ΒΔ-ΝΑ μέγιστη έκταση.



Σχήμα 80. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Αγ. Σπυρίδωνα-Αγ. Παντελεήμονα-Βεγόρας. Με Ρ και Τ συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρήγμα Εμπορίου-Περδίκια (Μπορντό)

Το ρήγμα Εμπορίου-Περδίκια είναι ένα κανονικό ρήγμα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης με διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΔ (Σχ. 81), το οποίο με τη δράση του φαίνεται να διαμορφώνει το ύψωμα Μπορντό, το οποίο διαχωρίζει τις Ολοκαινικές αποθέσεις στο ΒΔ τμήμα από τα αβέβαιης (πιθανά Πλειοκαινικής) ηλικίας ιζήματα στο ΝΑ τμήμα (Παυλίδης 1985). Το ρήγμα αυτό μαζί με το ρήγμα Χειμαδίτιδας-Αναργύρων τοποθετούνται ως αντιθετικά του μεγάλου ρήγματος Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Πετρών.



Σχήμα 81. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Εμπορίου-Περδίκια (Μπορντό). Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

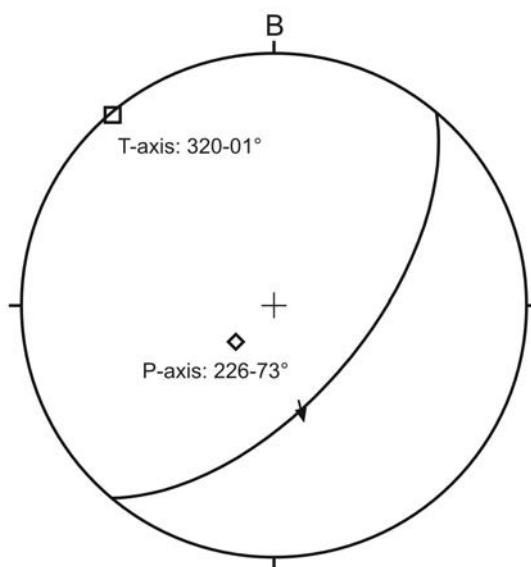
Ρήγμα Χειμαδίτιδας-Αναργύρων

Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με ΒΑ-ΝΔ παράταξη και μεγάλη γωνία κλίσης προς τα ΒΔ, το οποίο διαμορφώνει το χώρο της λίμνης Χειμαδίτιδας οριοθετώντας τις ΝΑ όχθες αυτής (Παυλίδης 1985). Το μήκος του ρήγματος αυτού, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευθύγραμμο και διέρχεται μέσα από το χωριό Ανάργυροι είναι 6km περίπου και αναγνωρίζεται να κόβει τόσο το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής ζώνης, όσο και τα Πλειοκαινικά ιζήματα (Σχηματισμός Πτολεμαΐδας) διαμορφώνοντας προς τα ΒΑ μια μικρή μορφολογική αναβαθμίδα.

Ρήγμα Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Πετρών

Αποτελεί μια μεγάλη ρηξιγενή γραμμή μήκους 30km περίπου σε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση που με μεγάλες γωνίες κλίσης (~60°) προς τα ΝΑ αποτελεί το βορειοδυτικότερο κρασπεδικό ρήγμα του συστήματος ρηγμάτων Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Μουντράκης 1983). Το μήκος του εκτιμάται στα 26km και γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στο τμήμα Νυμφαίου-Αετού, όπου η μορφολογική διαφορά εκατέρωθεν του ρήγματος είναι μεγαλύτερη από 400m, ενώ βορειότερα στη λίμνη Πετρών είναι 250m περίπου. Το ρήγμα προς τα ΒΑ πιθανά και στο βάθος μπορεί να συνενώνεται με το ρήγμα Κέλλης, το οποίο ωστόσο, προσδιορίζεται μέσα στα

ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. Το ρήγμα εμφανίζει ως πιο πρόσφατη δράση μια δεξιόστροφη πλαγιοκανονική έως κανονική κίνηση (Σχ. 82) που είναι συμβατή με το σύγχρονο εντατικό πεδίο και η οποία αναγνωρίζεται και σε μικρότερα παράλληλα ρήγματα μέσα στις Κάτω Πλειστοκαινικές αποθέσεις (αμμωρυχίο Πετρών).



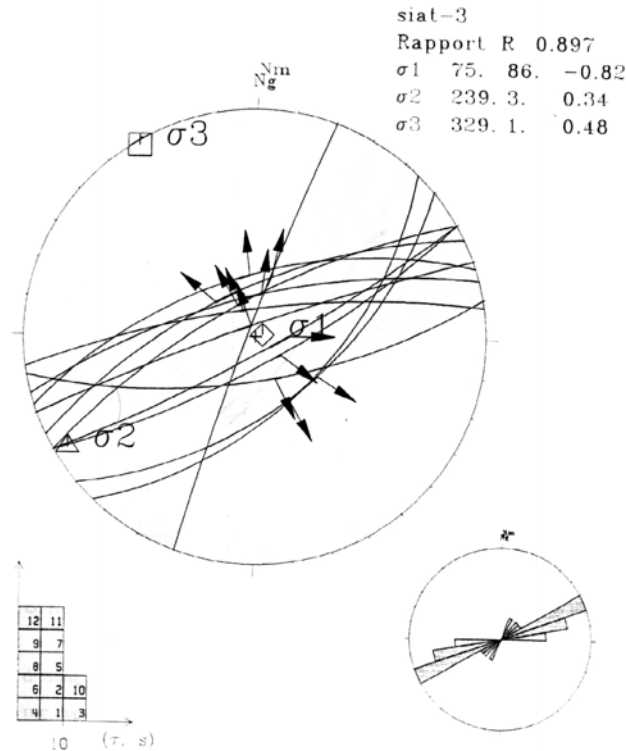
Σχήμα 82. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Πετρών. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρήγμα Κέλλης

Το ρήγμα Κέλλης αποτελεί τη συνέχεια του ρηξιγενούς ζώνης Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Πετρών, το οποίο με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΑ διέρχεται ΝΑ του χωριού Κέλλη και σε απόσταση 1-1.5km από αυτό. Το ρήγμα με ορατό μήκος περίπου 9km επηρεάζει τα Τριαδικο-Ιουρασικά ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης και ταπεινώνει τις ΝΔ παρυφές του Βόρα προς τα ΝΑ. Το ρήγμα αυτό αποτελώντας τη συνέχεια του ρήγματος Νυμφαίου-Ξυνού Νερού-Πετρών και εμφανίζοντας παρόμοια κινηματική (δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση) μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιθανό ενεργό ρήγμα, όπως προκύπτει από την κατανομή της πρόσφατης σεισμικής δράσης του ευρύτερου χώρου.

Ρηξιγενής ζώνη δίαυλου Σιάτιστας-Κοζάνης

Πρόκειται για μια μεγάλου μήκους ρηξιγενή ζώνη ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, η οποία φαίνεται να διαχωρίζει τον ορεινό όγκο του Βούρινου στα Βόρεια από τον ορεινό όγκο του Άσκιου, στα Νότια. Διαμορφώνει κατά μήκος της τη στενόμακρη, πληρωμένη με Τεταρτογενή ιζήματα, κοιλάδα-δίαυλο Σιάτιστας-Κοζάνης (Μουντράκης κ.ά 1999).



Σχήμα 83. Δυναμική ανάλυση ρηξιγενών επιφανειών που βρέθηκαν κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης δίαυλου Σιάτιστας-Κοζάνης.

Η ζώνη αυτή αν και ορίζεται ως μια ενιαία ρηξιγενής ζώνη, εντούτοις τεκμηριώνεται από την όχι μιας ενιαίας ρηξιγενής επιφάνειας, αλλά από την ύπαρξη πολλών μικρών ρηξιγενών επιφανειών κατά μήκος της κοιλάδας-δίαυλου. Το γεγονός ότι η ρηξιγενής αυτή ζώνη: (α) παρουσιάζει παρόμοιο προσανατολισμό με αυτό των ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, (β) στοιχειοθετείται από ρήγματα που παρουσιάζουν κινηματική και δυναμική συμβατότητα με το ενεργό πεδίο των τάσεων προσδιορίζοντας ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης κύριο εφελκυστικό άξονα (σ_3) (Σχ. 83) και τέλος (γ) είναι πληρωμένη με Τεταρτογενή ιζήματα οδηγεί στο χαρακτηρισμό της ζώνης αυτής ως πιθανή ενεργή.

4.3.2. Ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης

Τα Α-Δ διεύθυνσης ρήγματα φαίνεται να αποτελούν περισσότερο πρόσφατες ρηξιγενείς δομές, αφού ρήγματα αυτής της διεύθυνσης αναγνωρίζονται κυρίως μέσα στα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, σε αντίθεση με τις ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηξιγενείς γραμμές οι οποίες αναγνωρίζονται να δεσπόζουν στο προ-Νεογενές υπόβαθρο. Τα ρήγματα Α-Δ διεύθυνσης συμπληρώνουν το ρηξιγενή ιστό της Δυτικής Μακεδονίας και φαίνονται να περιορίζονται μέσα στα ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης ρήγματα. Στα Α-Δ ρήγματα συμπεριλαμβάνονται οι ρηξιγενείς γραμμές Ποντινής-Πυλωροί, Χρωμίου-Βάρης και Κοιλιάδας-Κρεμαστής-Καπνοχωρίου (νότιου περιθωρίου λεκάνης Αγ. Δημητρίου-Κοζάνης).

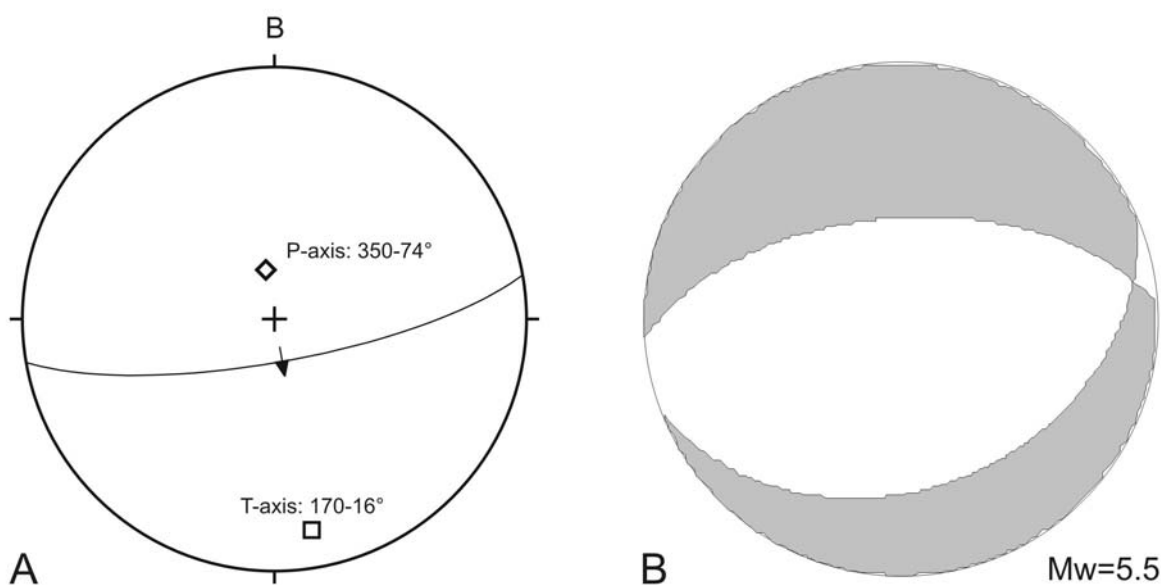
Ρήγμα Ποντινής-Πυλωροί

Πρόκειται για τη ρηξιγενή γραμμή που διέρχεται ανάμεσα από τα χωριά Ποντινή και Πυλωροί και υλοποιείται από το ρέμα “Παλιοπύλωρο Ρέμα”, ενώ ανατολικότερα διακόπτει τη συνέχεια του Βούρινου όρους (Μουντράκης κ.ά 1999). Μάλιστα η γραμμή αυτή φαίνεται να είναι υπεύθυνη για την πλήρωση του δίαυλου αυτού με τα μολασσικά ιζήματα δείχνοντας έμμεσα ότι στα πετρώματα του υποβάθρου προϋπήρχαν και τα ρήγματα με Α-Δ διεύθυνση. Το ρήγμα αυτό χαρακτηρίζεται ως ενεργό γιατί στο δυτικό του τμήμα παρατηρήθηκαν σεισμικές διαρρήξεις (περιοχή Πυλωροί), οι οποίες πιστοποιούν την τουλάχιστον δευτερογενή δραστηριοποίησή του.

Ρηξιγενής ζώνη Χρωμίου-Βάρης

Πρόκειται για μια μεγάλης γωνίας κλίσης προς τα Νότια ρηξιγενή ζώνη, η οποία διακόπτει την ΒΒΔ-ΝΝΑ συνέχεια του ορεινού όγκου Βούρινου διαμορφώνοντας μια στενή κοιλάδα-δίαυλο σε διεύθυνση Α-Δ, η οποία έχει πληρωθεί με Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα (Mountrakis et al., 1996, 1998). Η ρηξιγενής αυτή ζώνη έχει μήκος 16km περίπου και στο ανατολικό της άκρο διαμορφώνει μαζί με ένα ακόμη παράλληλο και συνθετικό ρήγμα μήκους 11km περίπου, το οποίο βρίσκεται νοτιότερα περίπου 1km μια σύνθετη ζώνη Α-Δ διεύθυνσης και συνολικού μήκους 20km 142 περίπου όπου τα ρήγματα διατάσσονται δεξιόθετα και με μερική επικάλυψη. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη αρχικά εντοπίστηκε με αερομαγνητικές διασκοπήσεις (ΙΓΜΕ) ως ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, λόγω του τρόπου

επηρεασμού του αλπικού υποβάθρου, ωστόσο. Η ρηξιγενής αυτή ζώνη είναι συμβατή με το σύγχρονο εντατικό πεδίο και φαίνεται να δραστηριοποιείται με κανονική-πλαγκτοκανονική κίνηση, όπως προκύπτει τόσο από γεωλογικά στοιχεία (Σχ. 84α), όσο και το μηχανισμό γένεσης του σεισμού μεγέθους $M_w=5.5$ που συνέβει στις 17 Ιουλίου 1995 (Σχ. 84β). Από την αντιπαράθεση των γεωλογικών και σεισμολογικών στοιχείων φαίνεται ότι το σεισμικό επίπεδο στο μηχανισμό αυτό είναι αυτό που κλίνει προς Νότο.

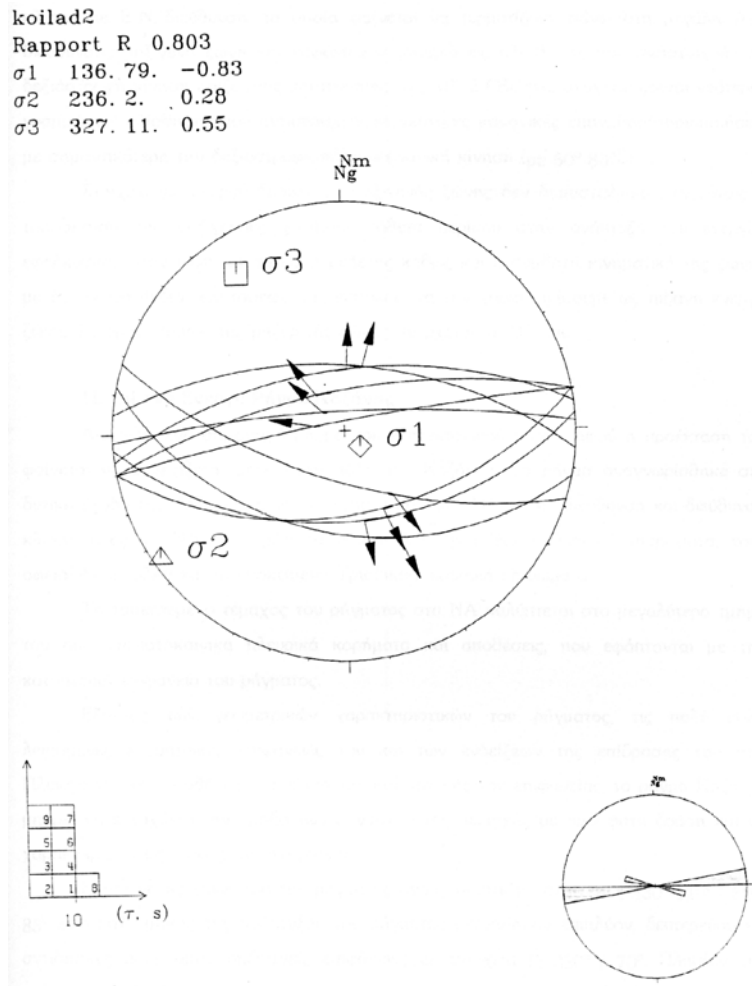


Σχήμα 84. (α) Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία της ρηξιγενούς ζώνης Χρωμίου-Βάρης, όπως προσδιορίζονται από μικρότερα ρήγματα στη περιοχή Ιλαρίωνα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα, (β) μηχανισμός γένεσης σεισμού μεγεθους $M_w=5.5$ που συνέβει πλησίον της ρηξιγενούς ζώνης στις 17 Ιουλίου 1995 και ο οποίος εμφανίζει παρόμοια γεωμετρικά και κινηματικά χαρακτηριστικά και έκταση σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση με αυτή.

Ρηξιγενής ζώνη Κοιλαδας-Κρεμαστής-Καπνοχωρίου (νοτίου περιθωρίου λεκάνης Αγ. Δημητρίου-Κοζάνης)

Η ρηξιγενής αυτή γραμμή στοιχειοθετείται από την παρουσία πολλών επί μέρους τμημάτων-ρηγμάτων με διεύθυνση που ποικίλλει από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα Βόρεια. Τα ρήγματα αυτά προσανατολίζονται κατά μήκος μιας γραμμής γενικής διεύθυνσης Α-Δ, η οποία οριοθετεί τη λιγνιτοφόρο λεκάνη Αγ. Δημητρίου στη Νότια πλευρά της ως το νότιο

περιθωριακό (κρασπεδικό) ρήγμα της λεκάνης Κοζάνης-Αγ. Δημητρίου (Μουντράκης κ.ά. 1999). Οι ρηξιγενείς επιφάνειες κατά μήκος της ρηξιγενούς αυτής γραμμής προσδιορίζουν κανονικές κινήσεις, οι οποίες προσδιορίζουν ένα εφελκυστικό πεδίο σε ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση (Σχ. 85).



Σχήμα 85. Δυναμική ανάλυση ρηξιγενών επιφανειών κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης Κοιλιάδας-Κρεμαστής-Καπνόφυτου.

4.3.3. Ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης

Στα ρήγματα με αυτή τη γενική ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση εντάσσουμε ρήγματα με ευρύ φάσμα προσανατολισμού από ΒΔ-ΝΑ ως Β-Ν διεύθυνσης. Σε μερικές περιπτώσεις αποτελούν επαναδραστηριοποιημένες τεκτονικές επαφές όπως π.χ το ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα που υλοποιεί την τεκτονική επαφή ανάμεσα στους αρχικά

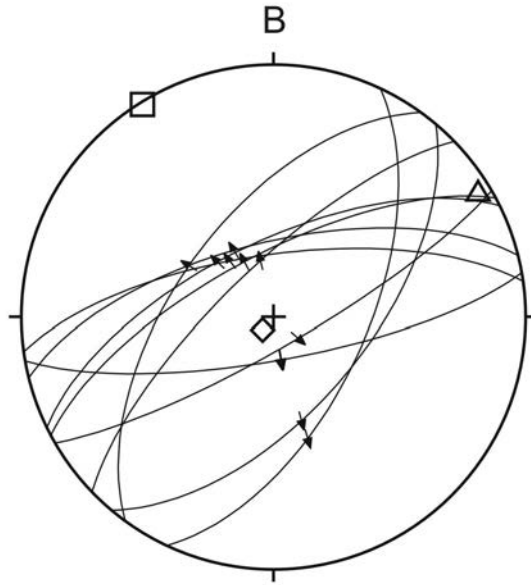
επωθημένους οφειόλιθους της Υποπελαγονικής ζώνης πάνω στους Τριαδικο-Ιουρασικούς ασβεστολίθους του Πελαγονικού περιθωρίου.

Η ροή του ποταμού Αλιάκμονα κατά τη γενική αυτή διεύθυνση BBD-NNA είναι πιθανό να οφείλεται σε ρήγματα αυτής της διεύθυνσης, τα οποία χαρακτηρίζονται από μια διασπορά σε παράταξη και σε γωνία κλίσης των ρηξιγενών τους επιφανειών. Τα ρήγματα BBD-NNA διεύθυνσης σε σχέση με τα BA-NΔ διεύθυνσης ρήγματα είναι νεότερα διότι κόβουν τα τελευταία, ενώ αντίθετα κόβονται από τα A-Δ ως ABA-ΔNΔ διεύθυνσης ρήγματα. Στα ρήγματα αυτής της διεύθυνσης εντάσσεται το ρήγμα Παλιουριάς, το ρήγμα της Φλώρινας, το ρήγμα Ποντοκόμης-Μαυροδενδρίου, και η ρηξιγενής γραμμή Καστοριάς. Ο προσανατολισμός των ρηγμάτων αυτών δεν είναι ιδιαίτερα ευνοϊκός στο σύγχρονο εντατικό πεδίο.

4.3.4. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας

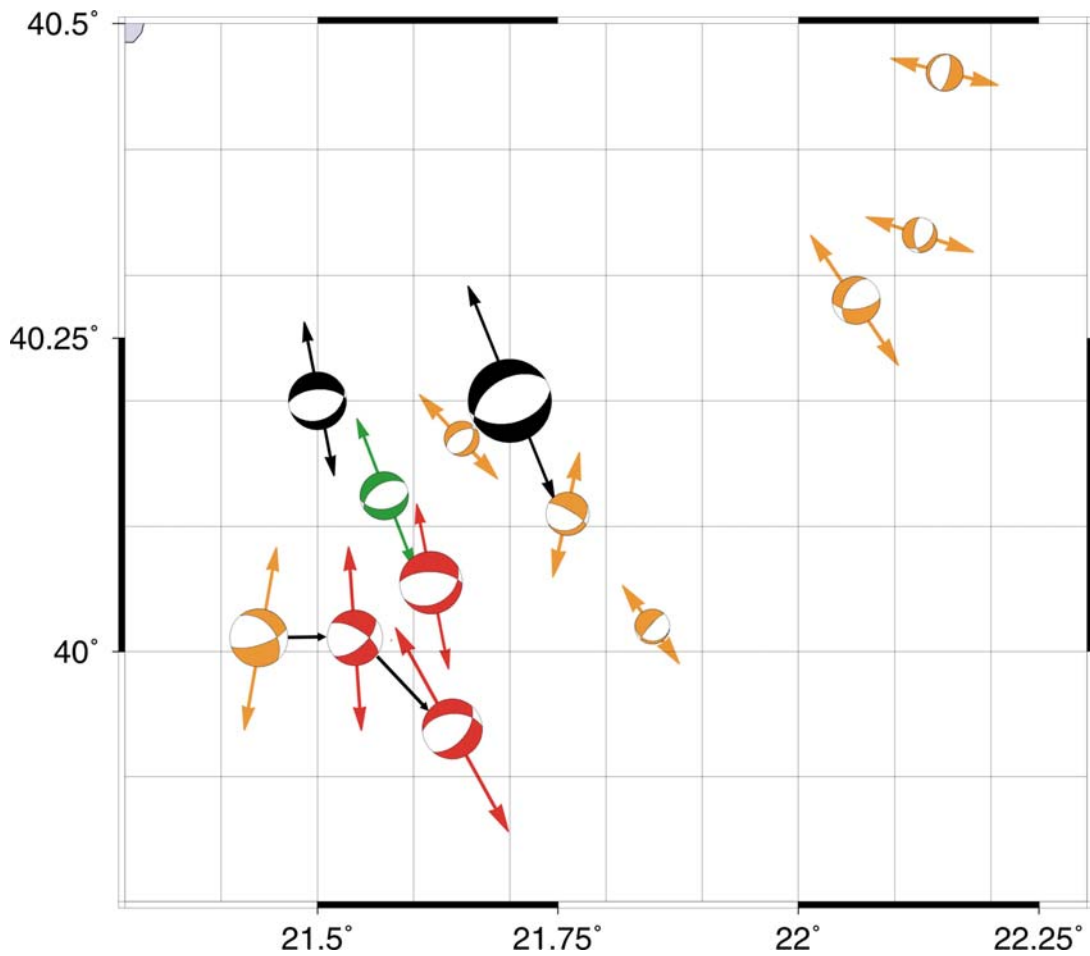
Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας προσδιορίζεται πολύ καλά τόσο από τα σεισμολογικά στοιχεία (μηχανισμοί γένεσης) όσο και από τα γεωλογικά στοιχεία, βρέθηκε να εμφανίζει ένα σταθερό προσανατολισμό σε BBD-NNA διεύθυνση όσο αφορά τον ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) (Σχ. 86). Ο σταθερός αυτός προσανατολισμός που είναι κάθετος στα κύρια ρήγματα του ρηξιγενούς ιστού που διέπει το χώρο της Δυτικής Μακεδονίας και τα οποία διευθύνονται σε ABA-ΔNΔ διεύθυνση, δείχνει ότι και στο χώρο αυτό η επιλεκτική δραστηριοποίηση προϋπαρχόντων ρηξιγενών ζωνών είναι καθοριστικός παράγων στον προσανατολισμό του εντατικού πεδίου.

Ο καθοριστικός ρόλος του προϋπαρχόντος ρηξιγενούς ιστού στην τελική διαμόρφωση της ακριβούς διεύθυνσης του μετρούμενου εντατικού πεδίου φαίνεται και στο σχήμα 87, όπου δίνονται οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών στην περιοχή Κοζάνης-Βέροιας κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης του Αλιάκμονα. Η ακριβής διεύθυνση του εντατικού πεδίου διαφοροποιείται λίγο κατά θέση ανάλογα με την διεύθυνση της προϋπαρχουσας ρηξιγενούς επιφάνειας.



$\sigma_1: 220-84^\circ, \sigma_2: 056-05^\circ, \sigma_3: 328-01^\circ$

Σχήμα 86. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας, όπως προσδιορίζεται από τα μεγάλα ενεργά ρήγματα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη.



Σχήμα 87. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) των σεισμών στη Δυτική Μακεδονία κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης του Αλιάκμονα.

4.4. Περιοχή Θεσσαλίας

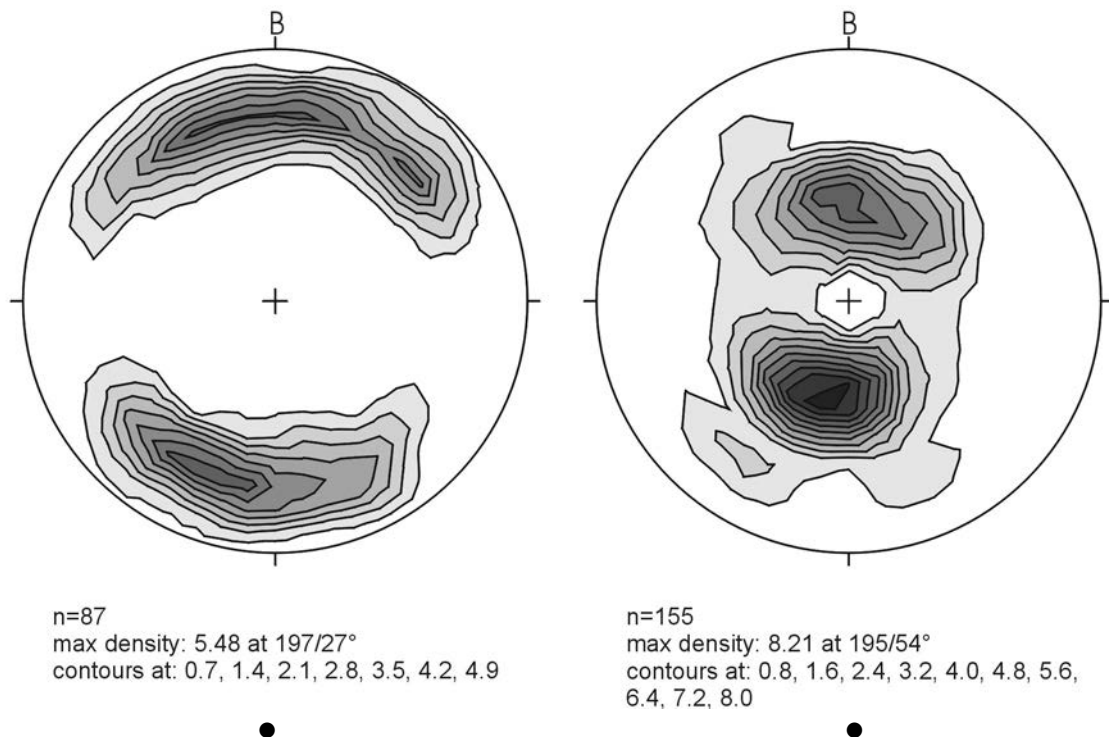
Ο χώρος της Θεσσαλίας προσδιορίζεται γεωγραφικά από την ανάπτυξη του πεδινού τμήματος που δεσπόζει μεταξύ της οροσειράς της Πίνδου (Κόζιακας) και της οροσειράς Όσσας-Πηλίου, με τη διαμόρφωση δύο επιμήκων πεδινών τμημάτων σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, τα οποία διακρίνονται από ένα στενό έξαρμα επίσης ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Πρόκειται για την πεδιάδα Τρικάλων-Καρδίτσας στα δυτικά και της πεδιάδας Λάρισας-Βελεστίνου στα ανατολικά. Ενώ τα όρη Καμβούνια και Όθρυς αποτελούν τα φυσικογεωγραφικά όρια προς τα βόρεια και νότια αντίστοιχα.

Στα κύρια φυσικογεωγραφικά στοιχεία της περιοχής περιλαμβάνεται ο Πηνειός ποταμός, ο οποίος οριοθετεί στα βόρεια της λεκάνης Τρικάλων και Λάρισας, ο οποίος με συνολικό μήκος και κατεύθυνση προς τα ΒΑ χύνεται τελικά στο Βόρειο Αιγαίο.

Οι ορεινοί όγκοι δομούνται από πετρώματα της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης, ενώ αναγνωρίζονται στο χώρο του Ολύμπου, Όσσας και Πηλίου αμεταμόρφωτα ανθρακικά και φλυσχικά πετρώματα που καλύπτουν το διάστημα Τριαδικού-Ηωκαίνου και εντάσσονται στην Ενότητα Ολύμπου, αλλά και μεταμορφωμένα υψηλής πίεσης πετρώματα που εντάσσονται στην Ενότητα Αμπελάκια.

Ο ρηξιγενής ιστός στη Θεσσαλία περιλαμβάνει μεγάλα ρήγματα σε ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ διεύθυνση, πολλά από τα οποία αναγνωρίζεται να έχουν λειτουργήσει ως περιθωριακά ρήγματα στις προαναφερόμενες λεκάνες. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ρηξιγενής ζώνη της Νότιας Θεσσαλίας, η οποία συσχετίζεται άμεσα με τον πρόσφατο ισχυρό σεισμό της Αγχιάλου 1981, και τα ρήγματα Τυρνάβου και Ροδιάς.

Γενικά από την ανάλυση των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής, όπως αυτά έχουν δημοσιευτεί (Caruto 1990) προκύπτει ότι τα ρήγματα που δραστηριοποιούνται στο σύγχρονο εντατικό πεδίο είναι ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση που κλίνουν κυρίως προς τα ΒΒΑ και ρήγματα ΑΒΑ-ΔΝΔ που κλίνουν κυρίως προς τα ΝΝΑ (Σχ. 88α).



Σχήμα 88. Στερεογραφική προβολή: (α) ρηγμάτων που δραστηριοποιούνται στο σύγχρονο εντατικό πεδίο στο χώρο της Θεσσαλίας και (β) των γραμμώσεων τεκτονικής ολίσθησης αυτών.

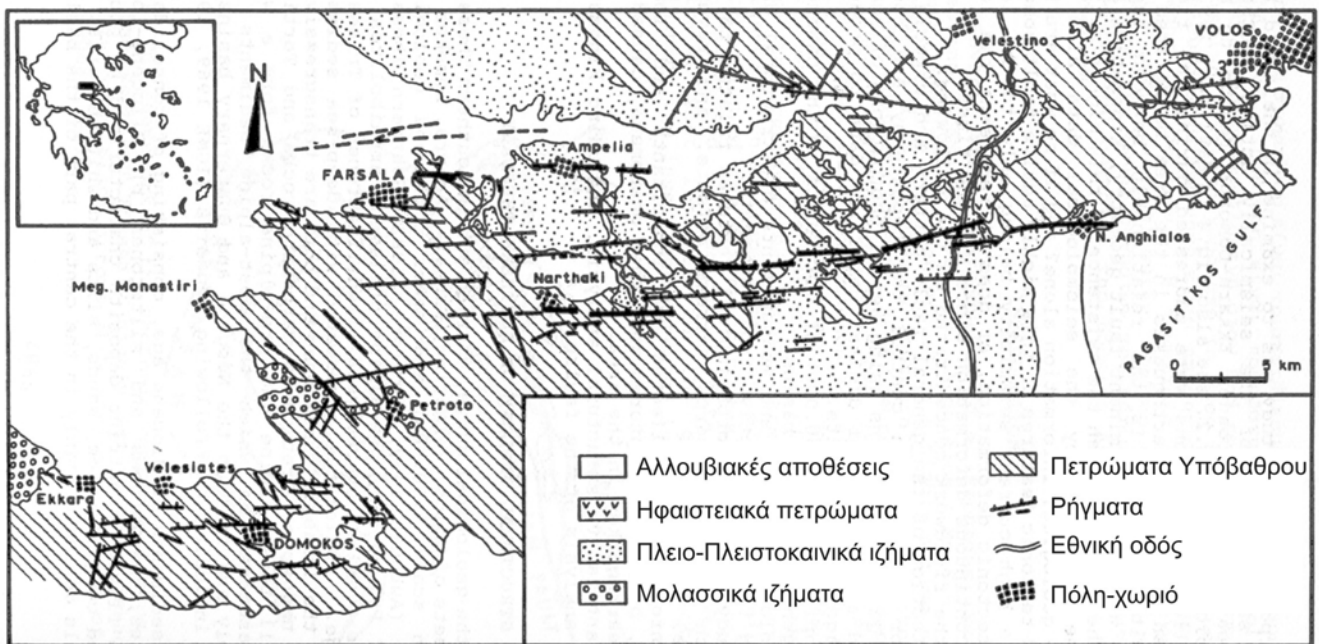
Τα ρήγματα αυτά εμφανίζουν μια κανονική έως πλαγιοκανονική δραστηριοποίηση με γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που διευθύνονται σε ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση (Σχ. 88β)

4.4.1. Ρήγματα σε Α-Δ διεύθυνση

Στα ρήγματα αυτά περιλαμβάνονται ρήγματα με διεύθυνση που κυμαίνεται από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ. Τα ρήγματα που αναγνωρίζονται στη διεύθυνση αυτή προσδιορίζονται κυρίως στο βόρειο και νότιο άκρο των πεδιάδων της Λάρισας και της Καρδίτσας, διαμορφώνοντας σε σημαντικό βαθμό τα περιθώρια τους. Ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα προσδιορίζεται μια σύνθετη και μεγάλου μήκους ρηξιγενή ζώνη, η ρηξιγενής ζώνη Νότιας Θεσσαλίας, η οποία είναι συνδεδεμένη με ιστορικούς και σύγχρονους σεισμούς, όπως ο σεισμός του Βόλου (ή Αγχιάλου) που συνέβει το 1980.

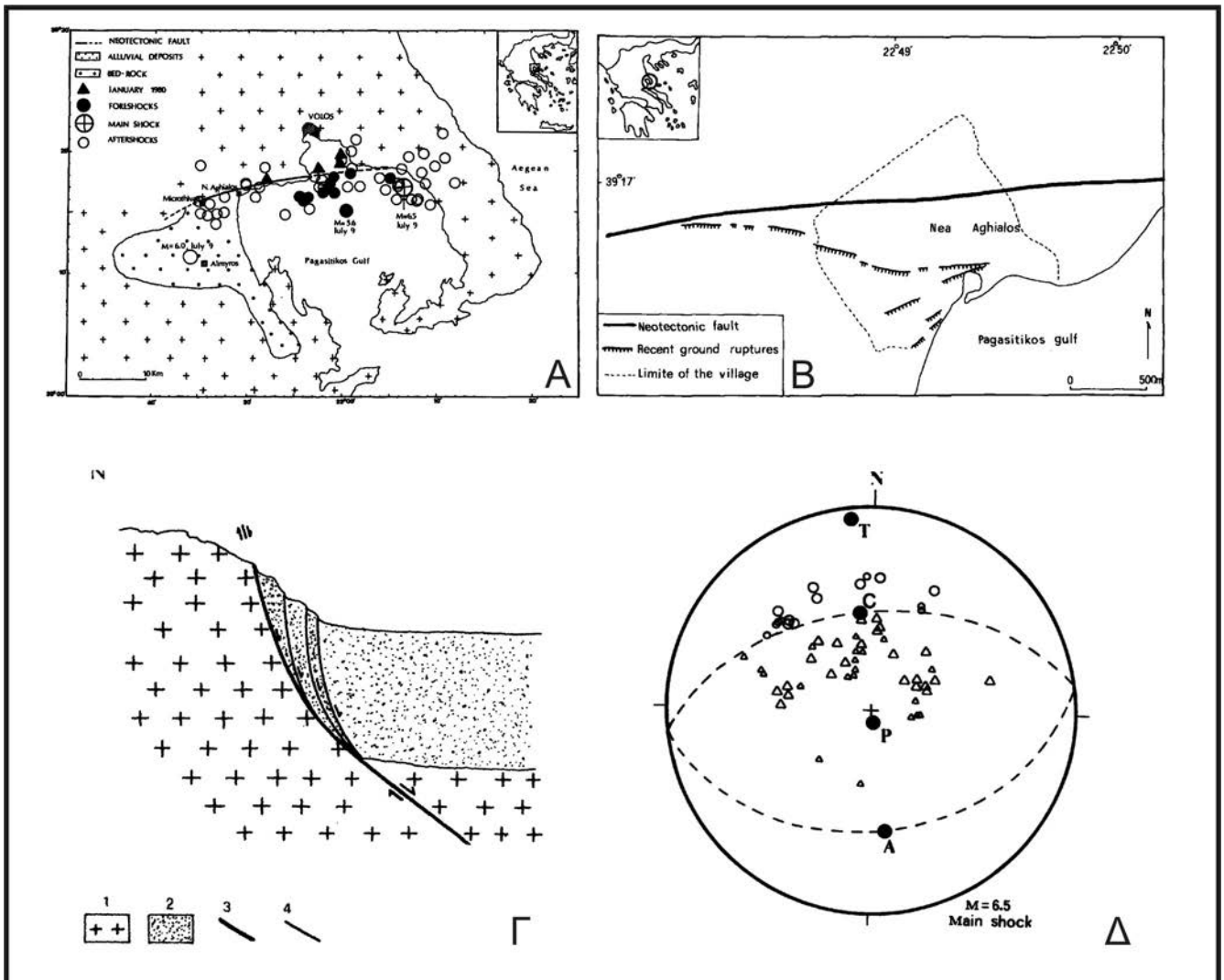
Η ρηξιγενής ζώνη Νότιας Θεσσαλίας

Η ρηξιγενής ζώνη Νότιας Θεσσαλίας προσδιορίζεται στο νότιο τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας με γενική διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ να συνίσταται από ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ (Mountrakis et al. 1993). Ειδικότερα, μπορεί να διακριθεί σε δύο επιμέρους τμήματα: (α) το τμήμα Βόλου-Αγχιάλου-Φαρσάλων με σημαντικά ρήγματα το σεισμικό ρήγμα Αγχιάλου, το πιθανό ενεργό ρήγμα Ναρθάκι, το ρήγμα Ενιπέα, και (β) το τμήμα Εκκάρας-Δομοκού με σημαντική τη ρηξιγενή ζώνη Δομοκού (Σχ. 89).

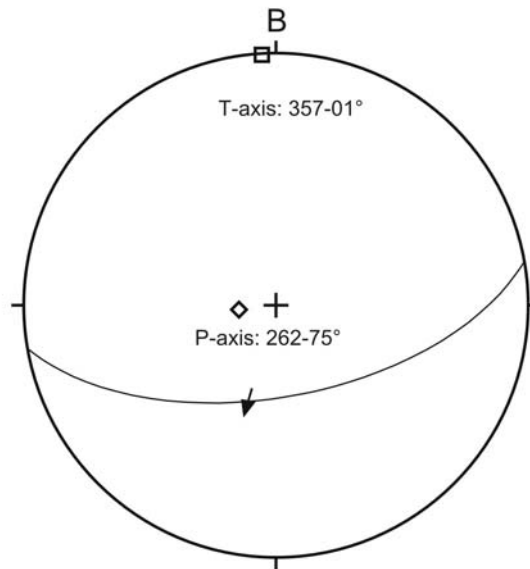


Σχήμα 89. Η σύνθετη ρηξιγενής ζώνη της Νότιας Θεσσαλίας, όπως χαρτογραφήθηκε από τους Mountrakis et al. (1993) και περιλαμβάνει διαδοχικά συνθετικά και αντιθετικά κανονικά ρήγματα, τα οποία διαμορφώνουν το νότιο περιθώριο της λεκάνης Τρικάλων-Καρδίτσας, τη κοιλάδα του Ενιπέα και το τμήμα του Παγασητικού κόλπου.

Σεισμικό ρήγμα Αγχιάλου



Σχήμα 90. (α) Η κατανομή των επικέντρων με μέγεθος $M \geq 4.2$ της ακολουθίας 1980 και η διεύθυνση του νεοτεκτονικού ρήγματος Αγχιάλου, (β) οι σεισμικές διαρρήξεις και το ρήγμα Αγχιάλου στην περιοχή της Νέα Αγχιάλου, (γ) σκαριφηματική τομή στην οποία φαίνεται η σύνδεση των σεισμικών διαρρήξεων με το σεισμικό ρήγμα Αγχιάλου, (1: υπόβαθρο, 2: αλλούβιο, 3. κανονικό ρήγμα, 4. εδαφικές διαρρήξεις), (δ) ο μηχανισμός γένεσης του κυρίως σεισμού της ακολουθίας του 1980 (από Papazachos et al., 1983) .



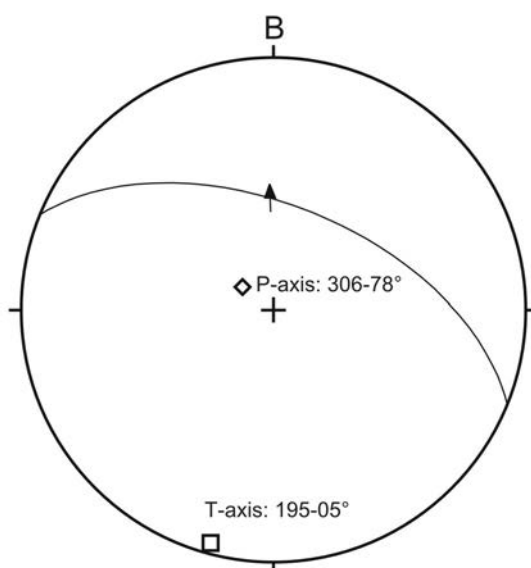
Σχήμα 91. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Αγκιάλου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Το ρήγμα Αγκιάλου αποτελεί ένα μεγάλο κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ, το οποίο κλίνει με μεγάλη γωνία κλίσης προς τα Νότια (Σχ. 90α, γ). Το ρήγμα που έχει ορατό μήκος περίπου αυτό έχει συνδεθεί με το πρόσφατο μεγάλο σεισμό του Βόλου ή Αγκιάλου με μέγεθος $M=6.2$ που συνέβει στις του 1981 (Σχ. 90α). Το σεισμικό ρήγμα γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στο χώρο του χωριού Νέα Αγκιάλος, όπου διαμορφώνει ένα απότομο τεκτονικό πρανές (Σχ. 90γ). Ωστόσο, παράλληλοι κλάδοι αυτού διέρχονται και μέσα από το χωριό, γεγονός που έχει επιβεβαιωθεί από τις σεισμικές διαρρήξεις που προκλήθηκαν μέσα στο χωριό κατά το σεισμό του 1981 (Parazachos et al. 1983) (Σχ. 90β). Το ρήγμα εμφανίζει μια δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση που ανιχνεύεται μέσα στις Τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις και στο καθρέπτη του ρήγματος (Σχ. 91), αλλά ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού του Βόλου προσδιόρισε μια καθαρά κανονική δραστηριοποίηση (Σχ. 90δ), γεγονός που δείχνει ότι η μέγιστη έκταση εμφανίζει μικρές αιωρήσεις.

Ρήγμα Ναρθάκι

Το ρήγμα Ναρθάκι με ορατό μήκος 8,5km περίπου, εμφανίζει ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση και κλίνει προς τα ΒΒΑ με μεγάλη γωνία κλίσης διαμορφώνοντας τις βόρειες πλαγιές του όρους Ναρθάκι και το βύθισμα που βρίσκεται το χωριό Ναρθάκι (Mountrakis et al. 1993). Το ρήγμα είναι αντιθετικό ως προς το ρήγμα Αγκιάλου και

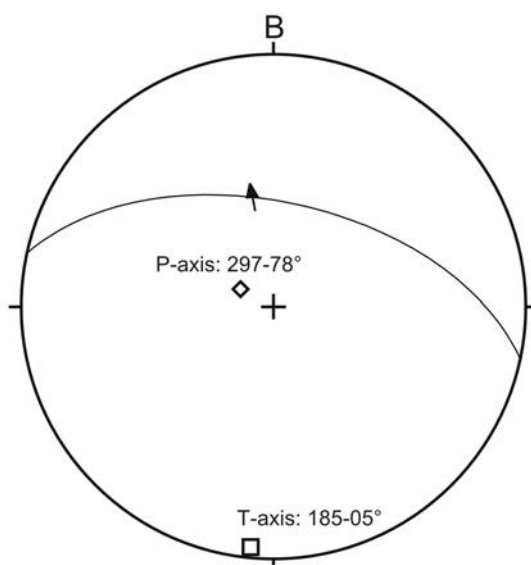
χαρακτηρίζεται από αριστερόστροφη πλαγκοκανονική κίνηση που προσδιορίζει έκταση σε BBA-NNΔ διεύθυνση (Σχ. 92).



Σχήμα 92. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ναρθάκι. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρήγμα Ενιπέα

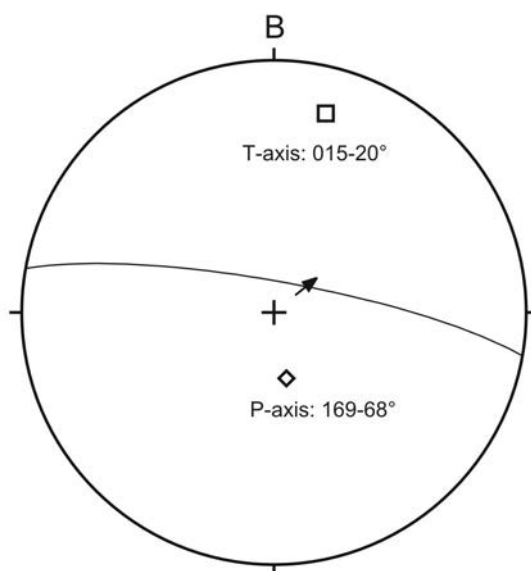
Το ρήγμα Ενιπέα προσδιορίζεται στις νότιες πλευρές της κοιλάδας του ποταμού από ασυνεχή ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία κλίνουν με μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα Βόρεια. Το συνολικό μήκος του υπολογίζεται σε 13-15km και χαρακτηρίζεται από αριστερόστροφη πλαγκοκανονική κίνηση η οποία προσδιορίζει μέγιστη έκταση σε B-N διεύθυνση (Σχ. 93).



Σχήμα 93. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Ενιπέα. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ρηξιγενής ζώνη Δομοκού

Η ρηξιγενής ζώνη Δομοκού αποτελεί μια σημαντική τεκτονική γραμμή στο δυτικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης Νότιας Θεσσαλίας (Mountrakis et al., 1993) Η ζώνη αυτή με διεύθυνση Α-Δ προσδιορίζεται από δύο κλάδους-ρήγματα, τα οποία με παρόμοια διεύθυνση και μεγάλες κλίσεις προς τα Βόρεια διαμορφώνουν τις παρυφές βόρεια του χωριού Δομοκός και τη μικρή Α-Δ διεύθυνσης κοιλάδα Δομοκού αντίστοιχα, προσδίδοντας στη ρηξιγενή ζώνη Δομοκού συνολικό μήκος περίπου 7km. Χαρακτηρίζεται από δεξιόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση, η οποία προσδιορίζει μέγιστη έκταση σε ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση (Σχ. 94).

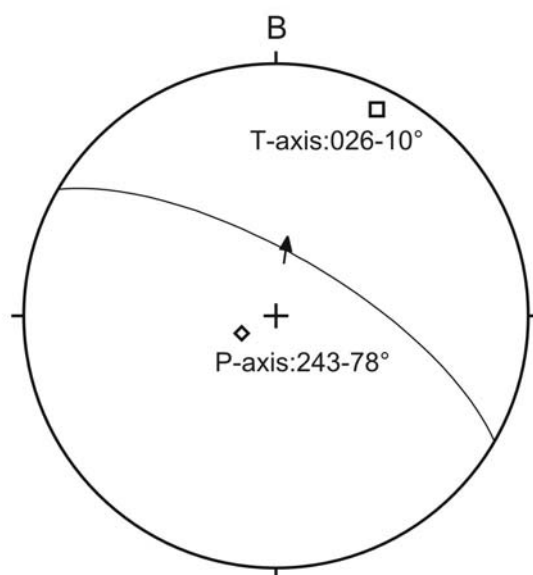


Σχήμα 94. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Δομοκού. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

Ενεργό Ρήγμα Τυρνάβου

Το ρήγμα αυτό αποτελεί ένα κανονικό ρήγμα μήκους 12km περίπου, το οποίο κλίνει με μεγάλη γωνία κλίσης προς τα Β και επηρεάζει τόσο τα ανθρακικά πετρώματα του υποβάθρου, όσο και τα Πλειοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα (Caruto 1993). Με βάση τη διεύθυνση ανάπτυξής του μπορεί να διακριθεί σε τρία τμήματα, τα οποία από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι το Α-Δ διεύθυνσης τμήμα

που κόβει τη μικρή ενδοορεινή λεκάνη Βόρεια του χωριού Δαμάσι, το ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης τμήμα που κόβει τα ανθρακικά πετρώματα και κόβει τη ροή του Τιταρίσιου ποταμού και τέλος ανατολικότερα, το με διεύθυνση Α-Δ που φαίνεται να καλύπτεται από τις πλημμυρικές αποθέσεις της λεκάνης της Λάρισας. Έτσι, το ρήγμα Τυρνάβου φαίνεται ότι αποτελεί τη συνένωση τεκτονικών γραμμών με διαφορετικό προσανατολισμό, αλλά και διαφορετικά μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά. Το ρήγμα εμφανίζει γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης που προσδιορίζουν ότι η πιο πρόσφατη δραστηριοποίηση του ρήγματος πραγματοποιήθηκε με αριστερόστροφη πλαγιοκανονική κίνηση (Σχ. 95). Ο ρυθμός ολίσθησης του ρήγματος αυτού εκτιμάται σε 0.14 έως 0.4mm^{-1} (Caputo 1994), ενώ το χαρακτηριστικό μέγεθος σεισμού εκτιμάται σε 5.8-6.1 (Caputo 1993).



Σχήμα 95. Γεωμετρικά και κινηματικά στοιχεία του ρήγματος Τυρνάβου. Με P και T συμβολίζονται οι κινηματικοί άξονες σμίκρυνσης και έκτασης, αντίστοιχα.

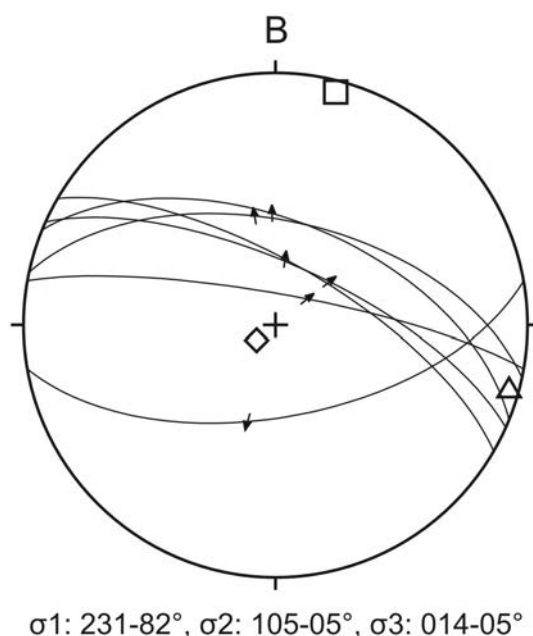
Ενεργή ρηξιγενής ζώνη Ροδιάς

Το ρήγμα Ροδιάς αποτελεί μια πολύπλοκη ρηξιγενή ζώνη μήκους 12-15km, η οποία χαρακτηρίζεται από περισσότερους από ένα κλάδους, η διεύθυνση των οποίων κυμαίνεται από ΒΔ-ΝΑ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και οι οποίοι συνιστούν συνολικά μια ρηξιγενή γραμμή που οριοθετεί προς τα Βόρεια τόσο την Πλειοκαινική λεκάνη της Λάρισας, όσο και την Τερτατογενή λεκάνη Τυρνάβου (Caputo, 1995). Οι κλάδοι αυτοί που κλίνουν προς τα Νότια εμφανίζουν μια προοδευτική μετανάστευση προς το κέντρο της λεκάνης, ενώ στο κεντρικό τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης αναγνωρίζονται

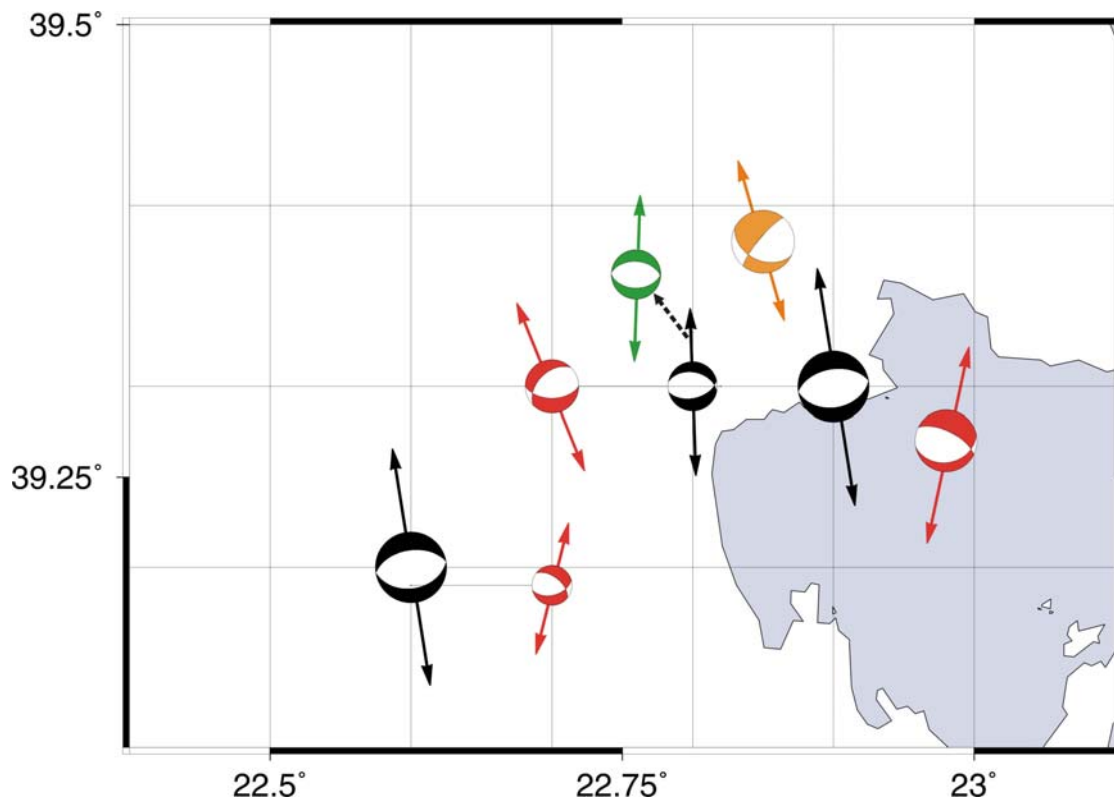
διαδοχικές γενεές τριγωνικών επιφανειών (triangular facets). Το ρήγμα είναι κανονικό εμφανίζοντας έτσι μια κινηματική συμβατότητα με το σύγχρονο εντατικό πεδίο που χαρακτηρίζει την ευρύτερη περιοχή, ωστόσο, δεν έχει συνδεθεί μέχρι σήμερα με κανένα ιστορικό ή ενόργανα κατεγγραμμένο σεισμό.

4.4.2. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Θεσσαλίας

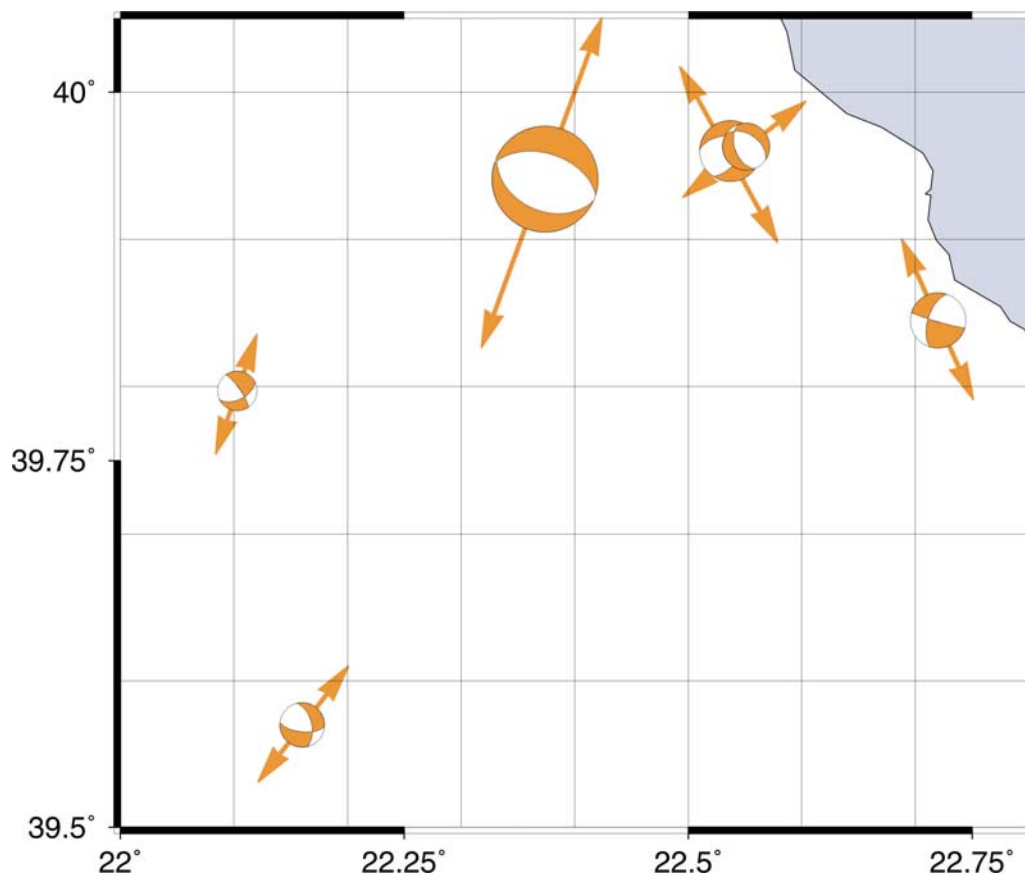
Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Θεσσαλίας προσδιορίζεται αρκετά καλά από τα σεισμολογικά δεδομένα, αλλά και από τη δυναμική ανάλυση των μεγάλων ρηγμάτων. Από τα γεωλογικά στοιχεία βρέθηκε ότι το σύγχρονο πεδίο των τάσεων είναι εκτατικό με ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) σχεδόν οριζόντιο σε BBA-NNΔ διεύθυνση και τον μέγιστο κύριο άξονα τάσης (σ_1) σχεδόν κατακόρυφο (Σχ. 96). Ο προσανατολισμός αυτός φαίνεται να είναι παρόμοιος του χώρου της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης. Ο εκτατικός άξονας (T) που προσδιορίζεται μεμονωμένα από ένα μόνο ρήγμα εμφανίζει συνολικά σημαντικές αιωρήσεις γύρω από τη διεύθυνση B-N δείχνοντας έτσι το σημαντικό ρόλο του προσανατολισμού του ρήγματος που δραστηριοποιείται. Ανάλογη εικόνα δείχνου και οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών που παρουσιάζονται στα σχήματα 97 και 98.



Σχήμα 96. Το εντατικό πεδίο στο χώρο της Θεσσαλίας, όπως προσδιορίζεται από τα μεγάλα ενεργά ρήγματα που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη.



Σχήμα 97. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) που έχουν καθοριστεί στα πλαίσια του παρόντος έργου στη ευρύτερη περιοχή της Νοτίου Θεσσαλίας



Σχήμα 98. Μηχανισμοί γένεσης και άξονες T (εφελκυσμού) που έχουν καθοριστεί στα πλαίσια του παρόντος έργου στη ευρύτερη περιοχή της Βορείου Θεσσαλίας.

5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα από τη μελέτη των νεοτεκτονικών και σεισμολογικών στοιχείων παρουσιάζονται συνολικά στον επισυναπτόμενο χάρτη των κύριων σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων του Βόρειου Ελληνικού χώρου. Όπως περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 1.2 – Μέρος Β, στον χάρτη αυτό παρουσιάζονται τα κύρια ρήγματα, τα οποία έχουν διακριθεί σε σεισμικά, τα οποία συνδέονται άμεσα με πρόσφατους σεισμούς για τους οποίους υπάρχουν ενόργανες καταγραφές, ενεργά και πιθανά ενεργά με γεωλογικά κυρίως κριτήρια. Στον χάρτη επίσης παρουσιάζονται οι άξονες T (εφελκυσμού) όπως αυτοί καθορίζονται από μετρήσεις υπαίθρου (μαύρα βέλη), καθώς και οι αντίστοιχοι άξονες από μηχανισμούς γένεσης που είναι διαθέσιμοι στην γειτονία αυτών των ενεργών ρηγμάτων, είτε από σεισμούς που έχουν γραφεί από εθνικά και διεθνή δίκτυα (πράσινα βέλη) είτε από την επεξεργασία δεδομένων μικροσεισμικών δικτύων (μπλε βέλη). Η εξέταση του σχήματος αυτού, σε συνδυασμό και με τα υπόλοιπα σεισμολογικά στοιχεία (κυρίως τους μηχανισμούς γένεσης και του άξονες T) της ευρύτερης περιοχής (σχήμα 21) οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα και συσχετίσεις, τα οποία έχουν αναπτυχθεί αναλυτικά προηγουμένως. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, προκύπτει ότι οι επιμέρους περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου εμφανίζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά όσον αφορά τα κύρια ενεργά-σεισμικά ρήγματα και το πεδίο των τάσεων:

Η περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης

Στη περιοχή αυτή η σεισμικότητα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μικρή, αφού περιλαμβάνει ελάχιστους ιστορικούς σεισμούς (σχήμα 1) ενώ και η σεισμικότητα κατά τον 20 αιώνα είναι ιδιαίτερα μικρή σχετικά με τις υπόλοιπες περιοχές του Βορειοελλαδικού χώρου, με σποραδικούς σεισμούς μικρού μεγέθους, σε αντίθεση και με την γειτονική Τάφρο του Βορείου Αιγαίου όπου η σεισμικότητα είναι από τις υψηλότερες του Εσωτερικού Ελληνικού χώρου (σχήματα 2, 3, 4).

Γεωλογικά βρέθηκε ότι στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης οι μεγάλες ενεργές και πιθανές ενεργές ζώνες διάρρηξης προσανατολίζονται σε Α-Δ διεύθυνση, ενώ και οι ΒΑ-ΝΔ ρηξιγενείς ζώνες είναι πιθανά ενεργές. Οι σημαντικότερες ρηξιγενείς ζώνες που βρίσκονται και πλησίον μεγάλων πόλεων είναι

οι ακόλουθες: (α) ρηξιγενής ζώνη Μαρώνειας-Αλεξανδρούπολης, (β) η ρηξιγενής ζώνη Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής, (γ) η ρηξιγενής ζώνη Δράμας και (δ) η ρηξιγενής ζώνη Σερρών.

Από τη μελέτη των ρηξιγενών ζωνών προκύπτει επίσης μια διαφοροποίηση στο προσανατολισμό της μέγιστης έκτασης από BBA-NNΔ στο χώρο της Θράκης, σε B-N έως BBA-NNΔ διεύθυνση στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και ιδιαίτερα στο δυτικό του τμήμα. Η αλλαγή αυτή φαίνεται τόσο από τα γεωλογικά όσο και από τα σεισμολογικά δεδομένα ότι λαβαίνει χώρα περίπου στον 24^ο μεσημβρινό (π.χ. σχήμα 21). Παρ' όλα αυτά, το εντατικό πεδίο προσδιορίζεται συνολικά από το σύνολο των μετρήσεων υπαίθρου σε γενική διεύθυνση B-N έως BBA-NNΔ.

Η παραπάνω διαφοροποίηση στον κινηματικό άξονα έκτασης (T) φαίνεται να είναι αποτέλεσμα του προϋπάρχοντος ιστού αφού στο χώρο της Θράκης τα ρήγματα που δραστηριοποιούνται στο σύγχρονο εντατικό πεδίο είναι στο σύνολό τους A-Δ διεύθυνσης, ενώ στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας εκτός από τα A-Δ δραστηριοποιούνται και ABA-ΔΝΔ έως BA-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα, τα οποία μέσα στο υφιστάμενο BBA-NNΔ πεδίου έχουν συχνά σημαντική πλαγιοκανονική (δεξιόστροφη) συμπεριφορά. Ανάλογο συμπέρασμα βγαίνει και από τα σεισμολογικά στοιχεία και ειδικότερα τους υπάρχοντες μηχανισμούς γένεσης. Βάσει των στοιχείων αυτών προκύπτει ότι η μέγιστη έκταση είναι σε BBA-NNΔ διεύθυνση στο χώρο της Θράκης, ενώ στο χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας παρατηρείται ότι η μέγιστη έκταση εμφανίζει απόκλιση προς τη BBA-NNΔ διεύθυνση.

Η περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας

Η κεντρική Μακεδονία εμφανίζει υψηλή σεισμική δραστηριότητα όπως προκύπτει τόσο από ιστορικούς σεισμούς και πρόσφατους μεγάλους σεισμούς (σχήμα 1), όσο και από την ενόργανη καταγραφή πολύ μεγάλου αριθμού μικρότερων σεισμών τις τελευταίες δεκαετίες (σχήματα 2, 3, 4).

Από τα σεισμολογικά στοιχεία και την ανάλυσή τους προκύπτει ότι η μέγιστη έκταση εμφανίζει σημαντική αιώρηση σε διεύθυνση στο χώρο αυτό από BBA-NNΔ μέχρι και BBA-NNΔ. Η αιώρηση αυτή στον κινηματικό άξονα (T) προκύπτει και από τα γεωλογικά στοιχεία δηλαδή την ανάλυση των σεισμικών, ενεργών και πιθανών ενεργών ρηγμάτων, η γεωμετρία και η κινηματική των οποίων μελετήθηκε στο ύπαιθρο κατά το παρόν ερευνητικό έργο. Η αιώρηση αυτή αποδίδεται στον

προϋπάρχοντα ιστό και συγκεκριμένα στον προσανατολισμό των προϋπαρχόντων ρηγμάτων που επαναδραστηριοποιούνται με το ενεργό πεδίο των τάσεων, το οποίο έχει ελάχιστο κύριο άξονα σε γενική Β-N/ΒΒΔ-NNA (~170°) διεύθυνση, όπως προκύπτει από τις μετρήσεις στο σύνολο των ενεργών και σεισμικών ρηγμάτων (σχήμα 49) και την αντιστροφή του πεδίου τάσεων των μηχανισμών γένεσης (ζώνη 12 και 13 στο σχήμα 25).

Η ισχυρή επαναδραστηριοποίηση του προϋπάρχοντος ιστού στην Κεντρική Μακεδονία εκδηλώνεται με τη δραστηριοποίηση κυρίως Α-Δ διεύθυνσης ρηγμάτων, αλλά επίσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρηγμάτων. Η διαφοροποίηση στον προσανατολισμό του ελάχιστου κύριου άξονα (σ_3) ανάμεσα στο εντατικό πεδίο της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης και αυτού της Κεντρικής Μακεδονίας είναι περίπου 17° τόσο από τα γεωλογικά στοιχεία όσο και τα σεισμολογικά στοιχεία, διαφορά σίγουρα όχι ιδιαίτερα μεγάλη που να αποδοθεί σε αίτια όπως αλλαγή των λιθοσφαιρικών τάσεων.

Η περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας

Στην περιοχή αυτή η σεισμικότητα, μέχρι και το σεισμό της Κοζάνης-Γρεβενών στις 13 Μαΐου 1995, χαρακτηριζόταν ως από μικρή-μέτρια. Ο συγκεκριμένος όμως σεισμός και οι σχετικές μελέτες έδωσαν την ευκαιρία για σημαντικό αριθμό νέων παρατηρήσεων, με αξιόλογη σεισμική δράση με πλήθος μικρών σεισμών τόσο στο χώρο της ρηξιγενούς ζώνης Αλιάκμονα, όσο και στο σύστημα ρηγμάτων της Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. Οι δύο αυτές ρηξιγενείς ζώνες αποτελούν και τις σημαντικότερες στη Δυτική Μακεδονία και προσδιορίζουν μέγιστη έκταση σε ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΔ-NNA διεύθυνση, η οποία σε αντίθεση με τη Κεντρική Μακεδονία, Ανατολική Μακεδονία και Θράκη εμφανίζεται ιδιαίτερα σταθερή σε προσανατολισμό. Στη Δυτική Μακεδονία συνολικά και το εντατικό πεδίο εμφανίζει παρόμοια ΒΒΔ-NNA έως ΒΔ-ΝΑ γενική διεύθυνση στο προσανατολισμό του ελάχιστου κύριου άξονα τάσης (σ_3). Η σταθερότητα αυτή στον προσανατολισμό του κινηματικού άξονα έκτασης (T) και του κύριου άξονα τάσης (σ_3) στο χώρο της Δυτικής Μακεδονίας φαίνεται ότι είναι και εδώ αποτέλεσμα του προϋπάρχοντος ιστού, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μεγάλου μήκους (υπό)παράλληλα προϋπάρχοντα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης, τα οποία επαναδραστηριοποιούνται στο σύγχρονο εντατικό πεδίο. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι όπου

τα ρήγματα που δραστηριοποιούνται είναι διεύθυνσης Α-Δ, ο κινηματικός άξονας Τ προσανατολίζεται σε περισσότερο ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση και όχι ΒΔ-ΝΑ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η αλλαγή από το περίπου Β-Ν/ΒΒΔ-ΝΝΑ (~170°) πεδίο τάσεων της Κεντρικής Μακεδονίας στο ΒΔ-ΝΑ/ΒΒΔ-ΝΝΑ (~150°) της Δυτικής Μακεδονίας δεν είναι σταδιακή αλλά μάλλον απότομη. Χαρακτηριστική είναι η μετάβαση από τα ρήγματα της περιοχής Βεροίας με διεύθυνση περίπου Α-Δ και εφέλκυσμό περίπου Β-Ν στα ΒΑ-ΝΔ ρήγματα του Αλιάκμονα με αντίστοιχο εφέλκυσμό ΒΔ-ΝΔ. Η σημαντική αυτή αλλαγή γεωμετρίας (βλέπε και τον συνολικό χάρτη σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων) αντανακλάται και στην ιστορική (σχήμα 1) αλλά κυρίως την ενόργανη σεισμικότητα (σχήματα 3 και 4), γεγονός που δείχνει ότι πρόκειται για σημαντική αλλαγή της ενεργού τεκτονικής, πιθανότατα λόγω δομής του υφιστάμενου ιστού στη Δ. Μακεδονία και «ανθεκτικότητάς» στο εφέλκυστικό πεδίο (~170°) το οποίο λειτουργεί στη Κ. Μακεδονία.

Η περιοχή της Θεσσαλίας

Η Θεσσαλία χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμική δραστηριότητα με αρκετούς μεγάλους και σε πολλές περιπτώσεις καταστροφικούς ιστορικούς και σύγχρονους σεισμούς (βλέπε και σχήμα 1), ενώ γενικά η σύγχρονη σεισμική δραστηριότητα όπως προκύπτει από τις ενόργανες καταγραφές των τελευταίων δεκαετιών είναι σημαντική.

Η παραπάνω σεισμικότητα προσδιορίζεται κυρίως στη ρηξιγενή ζώνη της Νότιας Θεσσαλίας με το γνωστό σεισμικό ρήγμα της Αγκιάλου, αλλά και πολλών άλλων συνεχόμενων ή ασυνεχών ενεργών ρηγμάτων σε γενική διεύθυνση Α-Δ που ανήκουν στην ίδια ρηξιγενή ζώνη της Νότιας Θεσσαλίας. Αλλά και η Βόρεια Θεσσαλία με ρήγματα, όπως το ρήγμα Τυρνάβου και Ροδιάς με ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνση που χαρακτηρίστηκαν με γεωλογικά κριτήρια ενεργά έχουν πιθανόν συμμετοχή στην ιστορική σεισμικότητα της περιοχής. Και στο χώρο αυτό παρατηρείται τόσο από τα σεισμολογικά όσο και τα γεωλογικά δεδομένα μια αιώρηση στη διεύθυνση του κινηματικού άξονα έκτασης (Τ) από ΒΒΔ-ΝΝΑ μέχρι ΒΒΑ-ΝΝΔ, που αποδίδεται στον προϋπάρχοντα ιστό και συγκεκριμένα στον προσανατολισμό των ρηγμάτων που δραστηριοποιούνται σε σχέση με το γενικότερο ενεργό πεδίο των τάσεων.

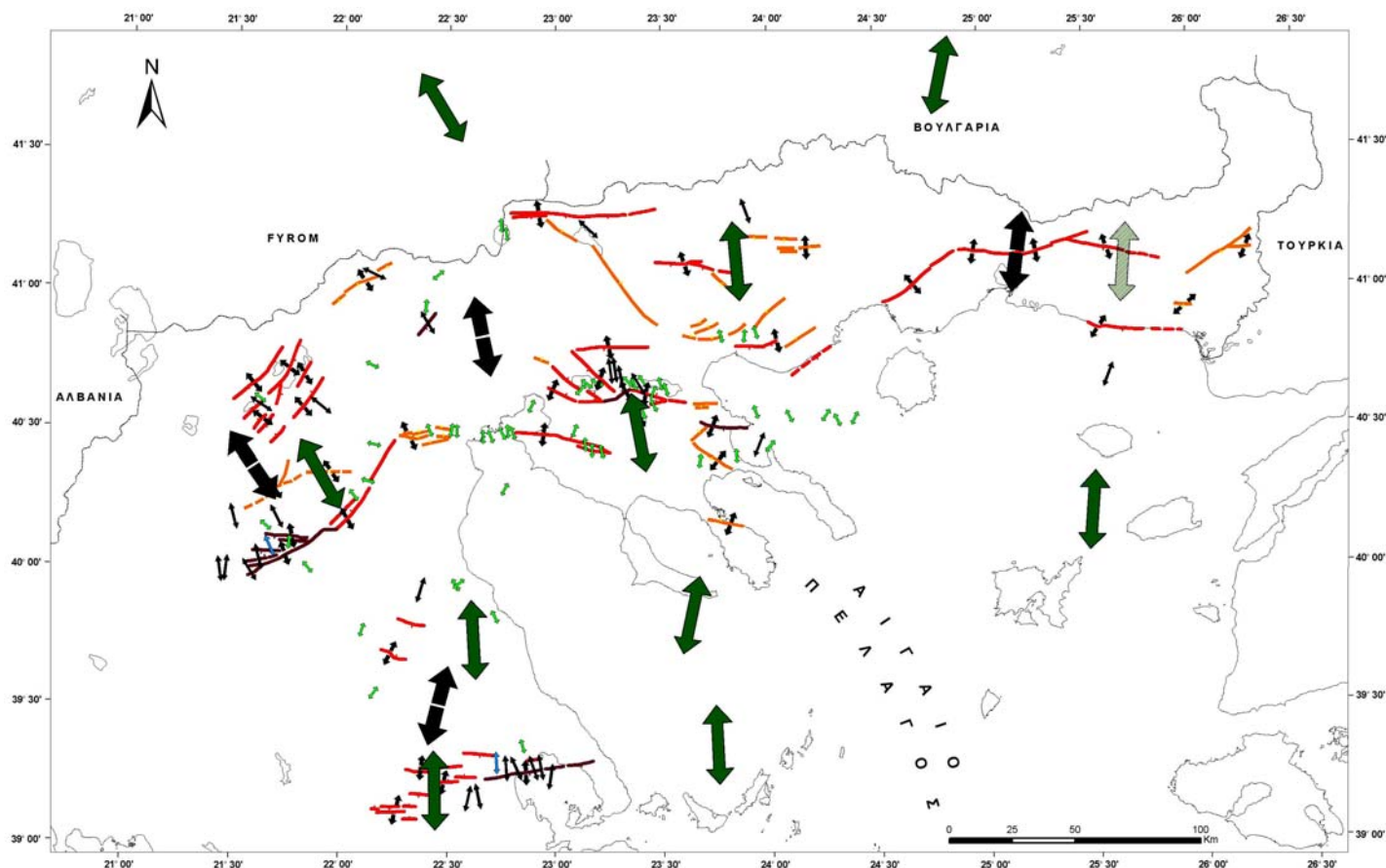
Τα σεισμολογικά στοιχεία δείχνουν μία σημαντική διαφοροποίηση στη σεισμικότητα των δύο αυτών υποπεριοχών, με τη Νότια Θεσσαλία να παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερη σεισμικότητα, η οποία έχει επιτρέψει και τη σαφή

αναγνώριση των ενεργών δομών, καθώς και του πεδίου των τάσεων με μέση διεύθυνση B-N. Αντίθετα η Βόρεια Θεσσαλία παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφοροποίηση στους άξονες T που προσδιορίζονται με σεισμολογικά (σχήμα 21) αλλά και γεωλογικά στοιχεία. Το σύνολο των μετρήσεων υπαίθρου έχει ελάχιστο κύριο άξονα τάσης (σ_3) σε BBA-NNΔ διεύθυνση, η οποία είναι παρόμοια διεύθυνση με το χώρο της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Συμπερασματικά, το μέσο πεδίο τάσεων και των δύο περιοχών (Βόρεια και Νότια Θεσσαλία) είναι ουσιαστικά το ίδιο (βλέπε και σχήμα 25), με μία μέση διεύθυνση BBA-NNΔ/B-N, η οποία είναι περισσότερο B-N στο ανατολικό τμήμα (π.χ. ζώνη Αγκιάλου) η οποία και διαφοροποιείται ελαφρά σε BBA-NNΔ στο δυτικό τμήμα της Νοτίου Θεσσαλίας.

ΣΥΝΟΨΗ

Όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους, από τη συσχέτιση των γεωλογικών και σεισμολογικών στοιχείων που παρήχθησαν και συγκεντρώθηκαν στο παρόν ερευνητικό έργο προκύπτει ότι ο Βορειοελλαδικός χώρος μπορεί συνοπτικά να χωριστεί σε τέσσερις βασικές περιοχές για τις οποίες υπάρχουν κοινά σεισμολογικά-γεωλογικά στοιχεία. Οι περιοχές αυτές εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς το πεδίο τάσεων και τη διεύθυνση των σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων όπως παρουσιάζονται συνοπτικά στο σχήμα 99. Στο σχήμα αυτό με μαύρα βέλη παρουσιάζεται το μέσο πεδίο τάσεων για κάθε περιοχή, όπως προκύπτει από γεωλογικά στοιχεία ενώ με πράσινα βέλη το αντίστοιχο πεδίο όπως υπολογίστηκε από τα σεισμολογικά στοιχεία (βλέπε σχήμα 25).

Γενικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την υπόθεση του ότι ο ενεργός εφελκυσμός του Βορειοελλαδικού χώρου παρουσιάζει μια περίπου ακτινωτή ανάπτυξη (ή ανάπτυξη Βεντάλιας) με τη διεύθυνση του μέγιστου άξονα εφελκυσμού να στρέφεται από ΒΒΑ-διεύθυνση στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη σε Β-Ν στην Κεντρική Μακεδονία και ΒΒΔ-ΝΝΑ/ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση στη Δυτική Μακεδονία, τόσο από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών (Parazachos et al., 1992, Parazachos and Kiratzi, 1996) που έχουν καταγραφεί κατά τον παρόντα αιώνα, όσο και τις μετρήσεις της τάσης και τις τεκτονικές μετρήσεις υπαίθρου των κινήσεων στα νεοτεκτονικά ρήγματα (Mercier et al., 1987, 1989). Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι αυτή η διαφοροποίηση δέν φαίνεται να είναι σταδιακή αλλά μάλλον απότομη, περίπου στο 24^ο μεσημβρινό για την μετάβαση από την Αν.Μακεδονία-Θράκη στην Κ. Μακεδονία και στο όριο της Κ.Μακεδονίας με την Δ. Μακεδονία. Όμως, η πραγματική μεταβολή του πεδίου τάσεων, όπως αυτό προέκυψε από την αντιστροφή των αξόνων T των μηχανισμών γένεσης και των υπαίθριων παρατηρήσεων είναι μικρότερη από αυτή που δείχνουν τα πρωτογενή στοιχεία, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημαντική επίδραση του υφιστάμενου ιστού στον τρόπο που εκδηλώνεται και παρουσιάζεται με σεισμούς η ενεργός παραμόρφωση στα υφιστάμενα ρήγματα.



Σχήμα 99. Σεισμικά (βυσσινί), ενεργά (κόκκινα) και πιθανώς ενεργά (πορτοκαλί) ρήγματα και τοπικοί άξονες T (εφελκυσμού) από γεωλογικά (μαύρα βέλη) και σεισμολογικά (πράσινα βέλη) στοιχεία στην ευρύτερη περιοχή των ρηγμάτων, όπως αυτά προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη. Με μεγάλα μαύρα και πράσινα βέλη παρουσιάζεται το μέσο μέδιο τάσης το οποίο προέκυψε από την επεξεργασία των γεωλογικών και σεισμολογικών δεδομένων, αντίστοιχα.

6. ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΡΧΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ

Τα αποτελέσματα του παρόντος ερευνητικού έργου έχουν υλοποιηθεί σχεδόν πλήρως τους αρχικούς στόχους του έργου, σε σχέση και με τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Αναλυτικότερα:

- **Παρουσιάστηκε η χωρική κατανομή των κύριων ζωνών διάρρηξης και των σεισμικών/ενεργών ρηγμάτων του βόρειου Ελληνικού χώρου**, όπως είχε περιγραφεί στα αναμενόμενα αποτελέσματα του έργου. Εκτός των σεισμικών ρηγμάτων που ήταν γνωστά από προηγούμενες έρευνες του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, προσδιορίστηκαν ορισμένες πρόσθετες ρηξιγενείς ζώνες που μελετήθηκαν για πρώτη φορά στο παρόν έργο. Η χωρική κατανομή των ζωνών διάρρηξης παρουσιάστηκε με τη μορφή χαρτών και πινάκων για την πιο εύκολη αξιοποίησή τους, όπως είχε περιγραφεί.
- **Παρουσιάστηκε ένας πλήρης και ομογενής κατάλογος των μηχανισμών γένεσης των ρηγμάτων** που προσδιορίστηκαν από νέα στοιχεία (κυματομορφές του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ.) και του αντίστοιχου πεδίου τάσεων του βόρειου Ελληνικού χώρου σε μορφή GIS, όπως είχε περιγραφεί στην πρόταση του έργου.
- **Τα παραπάνω στοιχεία επέτρεψαν τη δημιουργία ενός συνολικού μοντέλου του πεδίου τάσεων και παραμόρφωσης για το χώρο μελέτης** του βόρειου Ελληνικού χώρου, όπως είχε περιγραφεί στην πρόταση του έργου.
- Εκτιμήθηκε επίδραση της χωρικής κατανομής της τάσης στην περιοχή των κυριότερων ενεργών ρηγμάτων και του πώς αυτή επιδρά και σχετίζεται με **τη συμπεριφορά της εκκλόμενης σεισμικότητας**, όπως είχε περιγραφεί στην πρόταση του έργου.
- **Τα αποτελέσματα της θεωρητικής έρευνας** για την ανάπτυξη, τον έλεγχο της αξιοπιστίας και την εφαρμογή των μεθόδων ανάλυσης παρουσιάζονται σε **δημοσιεύσιμη ή δημοσιευμένη μορφή**, όπως είχε περιγραφεί στην πρόταση του έργου.

Η μόνη απόκλιση από τα τελικά αποτελέσματα αφορά στον υπολογισμό των ρυθμών ολίσθησης των ενεργών ρηγμάτων, αφού τέτοια στοιχεία δεν στάθηκε δυνατό να συλλεχθούν συστηματικά από την υπαίθρια έρευνα, ενώ αντίστοιχοι υπολογισμοί μόνο από σεισμολογικά στοιχεία έχουν ήδη δημοσιευθεί (π.χ. Papazachos and Kiratzi, 1996) και επανάληψή τους δεν θα συνεισέφερε στην ερευνητική πρωτοτυπία του έργου.

Σημειώνεται ότι τα παραπάνω αποτελέσματα υλοποιήθηκαν ακολουθώντας την πορεία και μεθοδολογία που περιγράφηκε στην πρόταση του έργου, δηλαδή:

α) Συλλογή υπάρχοντος και νέου σεισμολογικού και τεκτονικού-νεοτεκτονικού υλικού.

β) Δημιουργία ενιαίας βάσης δεδομένων σε επίπεδο Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS)

γ) Επεξεργασία, συναξιολόγηση και συνδυαστική ερμηνεία δεδομένων-Προσδιορισμός πεδίου τάσεων και παραμόρφωσης.

δ) Μελέτη της μεταβολής του πεδίου τάσεων.

Ειδικότερα σε σχέση με το (δ) στάδιο η μελέτη περιορίστηκε μόνο στις χωρικές και όχι στις χρονικές μεταβολές, αφού τέτοια στοιχεία που αφορούσαν τους ρυθμούς ολίσθησης και την πιθανή μεταβολή τους μέχρι σήμερα (σε σύγκριση πάντα με τα σεισμολογικά δεδομένα) δέν ήταν διαθέσιμα, όπως προαναφέρθηκε. Σε κάθε περίπτωση, το αντικείμενο του έργου (όπως αυτό περιγράφηκε στην παράγραφο 1.1 της πρότασης) υλοποιήθηκε στο σύνολό του.

7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΣΘΗΚΑΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ

Δεν αντιμετωπίστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα κατά διάρκεια υλοποίησης του Έργου. Μοναδικό πρόβλημα αποτέλεσε η χρονική επέκταση του έργου, η οποία ζητήθηκε και εγκρίθηκε από τον ΟΑΣΠ, κυρίως λόγω του πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων τα οποία έπρεπε να συγκεντρωθούν, κατηγοριοποιηθούν και να αναλυθούν (πάνω από 470000 σεισμικές καταγραφές, σημαντικός όγκος παρατηρήσεων υπαίθρου, κλπ.).

8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση τα αποτελέσματα του Έργου για την καλύτερη αξιοποίηση τους προτείνονται τα παρακάτω:

- Διαφήμιση και διάδοση της ψηφιακής βάσης των κύριων ενεργών ρηγμάτων για το Βόρειο Ελληνικό χώρο και του σχετικού πεδίου τάσεων. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι πρακτικώς αξιοποιήσιμα τόσο σε θέματα τεχνικής σεισμολογίας (π.χ. αξιοποίηση των αρχικών αποτελεσμάτων του σχήματος 5 έχει ήδη γίνει στον Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2003), όσο και πολλά τεχνικά έργα π.χ. χωροθέτησης ΧΥΤΑ, τεχνικών έργων, κλπ., αφού επηρεάζουν τα σενάρια (π.χ. δυσμενέστερο σενάριο σεισμικής φόρτισης, γεινίαση με ενεργό ρήγμα) τα οποία πρέπει να ληφθούν υπ' όψη κατά τη σχεδιάσή τους.
- Διαμόρφωση του θεσμικού κατάλληλου πλαισίου έτσι ώστε ερευνητικά αποτελέσματα που αφορούν ενεργά ρήγματα όπως του παρόντος ερευνητικού έργου (αλλά και άλλα υφιστάμενα τα οποία έχουν χρηματοδοτηθεί κατά κύριο λόγο από τον ΟΑΣΠ) να είναι υποχρεωτική η χρήση και αξιοποίησή τους σε μελέτες γεωλογικής καταλληλότητας και σεισμικής επικινδυνότητας, τουλάχιστον για σημαντικά τεχνικά έργα.
- Για την πρακτική υλοποίηση του παραπάνω στόχου ο ΟΑΣΠ πρέπει να αναλάβει πρωτοβουλία για σύνταξη ενός Εθνικού χάρτη ενεργών ρηγμάτων με βάση τα νεοτεκτονικά και σεισμολογικά αλλά και άλλα γεωφυσικά στοιχεία, τα οποία θα είναι διαθέσιμα σε βάση GIS (όπως στο παρόν ερευνητικό έργο) και τα οποία θα αξιοποιούνται, όπως προτείνεται παραπάνω, για εφαρμοσμένους αλλά και θεωρητικούς σκοπούς.

9. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

«ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ/ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ»

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΟΑΣΠ (2000-2003)

ΦΟΡΕΙΣ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

1. Τομέας Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
2. Τομέας Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Σκοπός - Υλοποίηση

- Το προτεινόμενο έργο είχε ως **βασικό αντικείμενο τον προσδιορισμό των κύριων σεισμικών/ενεργών ρηγμάτων και ζωνών διάρρηξης του βόρειου Ελληνικού χώρου και των καθορισμό των βασικών χαρακτηριστικών τους** (γεωμετρία, μηχανισμός γένεσης, κλπ.). Ο προσδιορισμός αυτός βασίστηκε στη χρήση τόσο σεισμολογικών όσο και νεοτεκτονικών δεδομένων, όχι μόνο τη χρησιμοποίηση του υπάρχοντος υλικού αλλά κυρίως με την παραγωγή και συλλογή νέου σεισμολογικού και νεοτεκτονικού υλικού παρατήρησης. Η υλοποίηση του έργου έγινε με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Geographical Information System-GIS) ώστε τα αποτελέσματα του έργου να είναι πρακτικώς αξιοποιήσιμα και σε μελλοντικές εφαρμογές ή ανάλογα έργα. Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον αξιόπιστο προσδιορισμό του πεδίου τάσεων του χώρου με τη συνδυαστική χρήση και διερεύνηση του βαθμού συμφωνίας των σεισμολογικών-τεκτονικών στοιχείων. Τέλος, η χωρική μεταβολή του πεδίου τάσεων στη γειτονία των εξεταζόμενων ρηγμάτων και η σύγκριση με τη χωρική κατανομή της σεισμικότητας επέτρεψε την γενική κατηγοριοποίηση των ρηγμάτων σε σχέση με τη σημερινή ενεργότητά τους, η οποία και επηρεάζει την πιθανότητα γένεσης μελλοντικών σεισμών στα ρήγματα που προσδιορίστηκαν.

Μεθοδολογία

- Η μεθοδολογία βασίστηκε σε τέσσερα σημεία:

A) Συλλογή υπάρχοντος και νέου σεισμολογικού και τεκτονικού-νεοτεκτονικού υλικού. Πέρα από το υπάρχον υλικό, παρήχθηκε νέο υλικό παρατήρησης, είτε με τη συλλογή νέων πρωτογενών παρατηρήσεων υπαίθρου, είτε με τον υπολογισμό περίπου 200 νέων μηχανισμών γένεσης από μία νέα βάση περίπου 500.000 σεισμικών καταγραφών του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ. με τη χρήση τροποποιημένων αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του έργου.

B) Δημιουργία ενιαίας βάσης δεδομένων σε επίπεδο Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS). Η παρουσίαση των δεδομένων-αποτελεσμάτων και οι σχετικές συσχετίσεις έγινε με βάση ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) με τη χρήση του λογισμικού ARC/INFO.

Γ) Επεξεργασία, συναξιολόγηση και συνδυαστική ερμηνεία δεδομένων-Προσδιορισμός πεδίου τάσεων και παραμόρφωσης. Η επεξεργασία αυτή έγινε τόσο με απ' ευθείας σύγκριση των δεδομένων, όσο και με τη χρήση ειδικών εργαλείων (π.χ. κώδικας αντιστροφής του πεδίου τάσεων) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου και προσαρμόστηκαν ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την αυτόματη ερμηνεία-προσδιορισμό του πεδίου τάσεων είτε για τον καθορισμό μετά τον υποκειμενικό ορισμό ζωνών παρόμοιας σεισμοτεκτονικής συμπεριφοράς από των επιστήμονα.

Δ) Μελέτη της χωρικής μεταβολής του πεδίου τάσεων. Η μελέτη αυτή βασίστηκε στα αποτελέσματα του προηγούμενου σταδίου και βοήθησε στον καθορισμό της συμπεριφοράς των βασικών νεοτεκτονικών ρηγμάτων, σε σχέση με τη σεισμικότητα και τους μηχανισμούς γένεσης πρόσφατων σεισμών.

Βασικά Συμπεράσματα - Αποτελέσματα

- Παρουσιάστηκε η χωρική κατανομή των κύριων ζωνών διάρρηξης και των σεισμικών/ενεργών ρηγμάτων του βόρειου Ελληνικού χώρου, με τη μορφή χαρτών και πινάκων.
- Υπολογίστηκαν περίπου 180 νέοι μηχανισμοί γένεσης για σεισμούς του Βόρειου Ελληνικού χώρου και παρουσιάστηκε ένας νέος πιο πλήρης και ομογενής κατάλογος των μηχανισμών γένεσης των ρηγμάτων που προσδιορίστηκαν τόσο από τα υφιστάμενα όσο και από τα νέα στοιχεία (κυματομορφές του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ.). Παράλληλα,

προσδιορίστηκε και το αντίστοιχο πεδίο τάσεων του βόρειου Ελληνικού χώρου σε μορφή GIS, τόσο από τα σεισμολογικά, όσο και από τα νεοτεκτονικά στοιχεία.

- Η σύγκριση των παραπάνω ανεξάρτητων στοιχείων έδειξε ότι βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία, γεγονός που επιβεβαιώνει και εδραιώνει την αναγκαιότητα για κοινή σεισμολογική-νεοτεκτονική προσέγγιση του προβλήματος των ενεργών-σεισμικών ρηγμάτων στον Ελληνικό χώρο, αλλά και διεθνώς.
- Ο συνδυασμός των παραπάνω στοιχείων οδήγησε στη δημιουργία ενός συνολικού μοντέλου του πεδίου τάσεων και παραμόρφωσης για το βόρειο Ελληνικό χώρο, όπου διακρίθηκαν τρεις βασικές ενότητες, με διαφορετικά μέσα εφελκυστικά πεδία (Κ.Μακεδονία-Θεσσαλία, Α.Μακεδονία-Θράκη, Δ.Μακεδονία).
- Με βάση το συνδυασμό των παραπάνω δεδομένων εκτιμήθηκε επίδραση της χωρικής κατανομής της τάσης στην περιοχή των κυριότερων ενεργών ρηγμάτων και του πώς αυτή επιδρά και σχετίζεται με τη συμπεριφορά της εκλυόμενης σεισμικότητας, επιτρέποντας τον καθορισμό της ενεργότητας για κάθε νεοτεκτονικό ρήγμα το οποίο παρουσιάζεται στο τελικό σύστημα GIS.

Χρησιμότητα των Αποτελεσμάτων

- Τα αποτελέσματα έχουν σημαντικό θεωρητικό ενδιαφέρον, αφού πέρα από μία μεθοδολογία αντιμετώπισης του προβλήματος καθορισμού των σεισμικών-ενεργών ρηγμάτων προσφέρουν και τη δυνατότητα για κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και διάρρηξης των ενεργών ζωνών σε διάφορα τμήματα του Βόρειου Ελληνικού χώρου.
- Επίσης, τα αποτελέσματα έχουν και σημαντική πρακτική εφαρμογή σε θέματα τεχνικής σεισμολογίας και ειδικότερα πρόβλεψης της ισχυρής σεισμικής κίνησης στο κοντινό πεδίο, αφού μπορούν να εξεταστούν σενάρια σεισμικής φόρτισης για σημαντικά τεχνικά έργα, κλπ. Αξιοποίηση των αρχικών αποτελεσμάτων του έργου έχει ήδη γίνει στον Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2003.
- Τα αποτελέσματα αυτά είναι άμεσα αξιοποιήσιμα και σε μελέτες γεωλογικής καταλληλότητας (π.χ. για πολεοδομικές επεκτάσεις), όπου απαιτείται η εξέταση της γειννίας με ενεργά-σεισμικά ρήγματα και η λήψη κατάλληλων μέτρων από το μελετητή.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aki, K. & Richards, P. (1980). *Quantative Seismology: Theory and methods*, Freeman, San Fransisco, California, 557 pp.
- Angelier, J., Tarantola, A., Valette, B. & Manoussis, S. (1982). Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress.-I. Single phase fault populations: A new method of computing the stress tensor. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 69, 607-621.
- Bott, M. H. P. (1959). The mechanics of oblique slip faulting. *Geol. Mag.*, 96, 109-117.
- Caputo, R. (1990). Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary basins of Thessaly (Central Greece). Aristotle Univ. Thessaloniki, Faculty of Sciences, v. 12, 1-252.
- Caputo, R. (1993). Morphotectonics and kinematics along the Tyrnavos Fault, northern Larissa plain, mainland Greece. In: Stewart, I., Vita-Finzi, C. & Owen L. A. (eds), Neotectonics and Active Faulting, Zeitschrift fur Geomorphologie N. F., Suppl.-Bd., 94, 165-183, Stuttgart.
- Caputo, R. (1995). The Rodia Fault: an active complex shear zone (Larissa Basin, Central Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 1, 447-456.
- Caputo, R. (1994). A possible seismic gap in northern Thessaly, Greece as inferred from geological data. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 30, 5, 263-272.
- Caputo, R. & Pavlides S. (1993). Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece). *Tectonophysics*, 223, 339-362.
- Delibasis, N.D. (1968). Focal mechanism of earthquakes of intermediate focal depth in the arc of Greece and the distribution of their macroseismic intensities. *Ph. D. Thesis, Univ. Athens*, 1-105.
- 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.
- Georgalas, G. & Galanopoulos, A. (1953). Das grosse Erdbeben der Chalkidike vom 26 September 1932. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 1, 11-63.
- Gephart, J. W. (1990). Stress and the direction of slip on fault planes. *Tectonics*, 9(4), 845-858, 1990a.

- Gephart, J. W. (1990). FMSI: A FORTRAN program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor. *Computers & Geosciences*, 16(7), 953-989, 1990b.
- Gephart, J. W., & Forsyth, D. W. (1984). An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence: *Jour. Geophys. Res.*, 89(B11), 9305-9320.
- Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Scordilis, M., Drakopoulos, J., Makropoulos, K., Delibasis, N., Latoussakis, J., Baskoutas, J. & Frogneux, M. (1988). The Hellenic subduction beneath the Peloponnesse: first results of a microearthquake study. *Earth and Planetary Science Letters*, 93, 283-291.
- Hatzidimitriou, P.M., Scordilis, E.M., Papadimitriou, E.E., Hatzfeld, D. & Christodoulou, A.A. (1991). Microearthquake study of the Thessaloniki area (northern Greece). *Terra Nova*, 3, 648-654.
- Kiratzi, A.A. & Langston, Ch.A. (1989). Estimation of earthquake source parameters of the May 4, 1972 event of the Hellenic arc by the inversion of waveform data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 57, 225-232.
- Kiratzi, A.A. & Langston, Ch.A. (1991). Moment tensor inversion of the January 17, 1983 Kefallinia event, Ionian islands (Greece). *Geoph. J. Int.*, 105, 529-535.
- Κούκουζας, Κ., Κώτης, Θ., Πλουμίδης, Μ. & Μεταξάς, Α. (1981). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτοφόρου πεδίου «Αποφύσεως» περιοχής Αναργύρων-Αμυνταίου, Ι.Γ.Μ.Ε., Ερευν. Ενεργ. Πρ.Υλών, 1, 1-52.
- Κούκουζας, Κ., Κώτης, Θ., Πλουμίδης, Μ. & Μεταξάς, Α. & Δημητρίου, Δ. (1983). Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών Πτολεμαΐδας, Ι.Γ.Μ.Ε., Ερευν. Ενεργ. Πρ.Υλών, 2, 1-103.
- Lahr, J.C. (1993). HYPOELLIPSE: A computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude and first-motion pattern, Y2K Version, USGS Open-File Report 99-23, 1999. Papadimitriou, E.E. Focal mechanism along the convex side of the Hellenic arc and its tectonic significance. *Bull. Geof. Teor. Appl.*, 35, 401-426.
- Le Pichon, X., Lyberis, N. & Alvarez, F. (1984). Subsidence history of the North Aegean trough. In: Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F. (eds), Geological

- evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 727-741.
- Louvari, H.K., Kiratzi, A.A. & Papazachos, B.C. (1997). Further evidence for strike - slip faulting in the Ionian islands: The Lefkada fault. *IASPEI 29th General Assembly, Thessaloniki, 18-29 August 1997*.
- Lyberis, N. (1984). Tectonic evolution of the North Aegean trough. In: Dixon, J. E & Robertson, A. H. F. (eds), *Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, *Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.*, 17, 709-725.
- Μαραβελάκης, Μ. (1933). Επί των γεωλογικών και μακροσεισμικών χαρακτηριστικών των σεισμών της Χαλκιδικής (Σεπτέμβριος 1932). Διδακτ. Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 30, 109-185.
- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 55, 217-254.
- Mercier, J-L., Carey-Gailhardis, E., Mouyaris, K., Simeakis, K., Roundoyannis 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., Sorel, D. & Simeakis, K. (1987). Changes in the state of stress in the overriding plate of a subduction zone: the Aegean arc from the Pliocene to the Present. *Anls. Tectonicae*, 1, 1, 20-39.
- 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.
- Μουντράκης, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων, Πραγματεία για Υψηγεία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 289σελ.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. Univ. Stud. Press, Θεσσαλονίκη.
- Mountrakis, D., Psilovikos, A. & Papazachos, 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.
- Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliyas, A., Eleftheriadis, G. & Christofides, G. (1983). Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. *Can. J. Earth Sci.* 20, 1673-1681.
- Mountrakis, D., Kiliyas, A., Pavlides, S., Zouros, N., Spyropoulos, N., Tranos, M. & Soulakellis, N. (1993). Field study of the Southern Thessaly highly active fault zone. *Proc. 2nd Geophys. Hellenic Geoph. Union, Vol. 2*, 603-614.
- Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Ψιλοβίκος, Α., Βαβλιάκης, Ε., Συρίδης, Γ., Σκορδύλης, Ε., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Ζούρος, Ν., Φασουλάς, Χ. (1994). Κινηματική και Δυναμική της Νεοτεκτονικής Παραμόρφωσης στην περιοχή Βόλβης-Ανατολικής Χαλκιδικής. Σύνταξη του Νεοτεκτονικού Χάρτη, Φύλλο Ροδολίβος, Θεσσαλονίκη, 1-60.
- Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Κουφός, Γ., Σπυρόπουλος, Ν., Τρανός, Μ., Παπαζάχος, Κ., Ζούρος, Ν. & Φασουλάς, Χ. (1995). Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων του Ελληνικού Χώρου, Περιοχή Μακεδονίας, κλίμακα 1:300.000, Έκθεση ΟΑΣΠ, 1-106.
- Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Α., Ψιλοβίκος, Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Ε., Κουφός, Γ., Δημόπουλος, Γ., Σούλιος, Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν. & Λάγγαλης, 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).
- Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Α., Ψιλοβίκος, Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Ε., Κουφός, Γ., Δημόπουλος, Γ., Σούλιος, Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν. & Λάγγαλης, 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).
- Mountrakis, D., Pavlides, S., Zouros, N., Chatzipetros, A. & Kostopoulos, D., (1996).

The 13 May 1995 Western Macedonia (Greece) earthquake. Preliminary results on the seismic fault geometry and kinematics. Proc. of XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association, Special Publication of the Geological Society of Greece, No. 6, 112-121.

Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Λ., Ψιλοβίκος, Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Ε., Κουφός, Γ., Δημόπουλος, Γ., Σούλιος, Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν. & Λάγγαλης, 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.

Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Σωτηριάδης, Λ., Ψιλοβίκος, Α., Αστάρας, Θ., Βαβλιάκης, Ε., Κουφός, Γ., Δημόπουλος, Γ., Σούλιος, Γ., Χρηστάρας, Β., Σκορδύλης, Μ., Τρανός, Μ., Σπυρόπουλος, Ν., Πάτρας, Δ., Συρίδης, Γ., Λαμπρινός, Ν. & Λάγγαλης, 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).

Mountrakis, D., Pavlides, S., Zouros, N., Astaras, TH. & Chatzipetros, A. (1998). Seismic fault geometry and kinematics of the 13 May 1995 Western Macedonia (Greece) earthquake. *Journal of Geodynamics*, 26, 2-4, 175-196.

Μουντράκης, Δ., Κίλιας, Α., Παυλίδης, Σ., Βαβλιάκης, Ε., Τρανός, Μ., Ζούρος, Ν., Σπυρόπουλος, Ν., Χατζηπέτρος, Α., Καρακώστας, Β., Σκορδύλης, Μ., Κωστόπουλος, Δ., Γκουντρομίχου, Χ., Θωμαΐδου, Ε., (1999). Νεοτεκτονική χαρτογράφηση της Ελλάδας, κλίμακας 1:100.000, φύλλο Κοζάνη. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, 95σελ.

Papadimitriou, E.E. (1993). Focal mechanism along the convex side of the Hellenic arc and its tectonic significance. *Bull. Geof. Teor. Appl.*, 35, 401-426.

Papazachos, B.C. (1961). A contribution to the research on the focal mechanism of earthquakes in Greece. *Ph. D. Thesis, Univ. Athens*, 1-75.

- Papazachos, B. C. (1989). Measures of the earthquake size in the area of Greece. *1st Scientific Congress of the Hellenic Geophysical Union, Athens, April 1989*, 437-447.
- Papazachos, B.C. & Delibasis, N.D. (1969). Tectonic stress field and seismic faulting in the area of Greece. *Tectonophysics*, 7, 231-255.
- Papazachos, B., & Papazachou, C. (1997). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 304p.
- Papazachos, B.C. & Papazachou, C.C. (2002). The earthquakes of Greece (*3rd Edition-in Greek*), *Ziti Publications, Thessaloniki*, 315pp.
- Papazachos, B.C., Kiratzi, A.A., Hatzidimitriou, P.M. & Rocca, A. (1984). Seismic faults in the Aegean area, *Tectonophysics*, 106, 71-85.
- Papazachos, B.C., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B., & Savvaidis, A.A. (1997). Atlas of isoseismal maps for strong earthquakes in Greece and surrounding area. *Publ. Geoph. Lab. Univ. Thessaloniki*, 4, p.200.
- Papazachos, B. C., Karakostas, B. G., Kiratzi, A. A., Papadimitriou, E. E. & Papazachos, C. B. (1998). A model for the 1995 Kozani-Grevena seismic sequence. *J. Geodynamics*, 26, 2-4, 217-231.
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. & Louvari, E.K. (1998). Fault plane solutions in the Aegean sea and the surrounding area and their tectonic implication, *Boll. Geof. Teorica Applicata*, 39, 199-218.
- Papazachos, B.C., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. & Savvaidis, A.S. (1999). Rupture zones in the Aegean region, *Tectonophysics*, 308, 205-221.
- Papazachos, B., Mountrakis, D., Psilovikos, A. & LEVENTAKIS, G. (1979a). Surface fault traces and fault plane solutions of May-June 1978 major shokes in the Thessaloniki area, Greece. *Tectonophysics* 53, 171-183.
- Papazachos, B. C., Mountrakis, D., Psilovikos, A. & G. Leventakis. (1979b). Focal properties of the 1978 earthquakes in the Thessaloniki area. *Bulgarian Geophys. J.*, 6, 72-80.
- Papazachos, B.C., Panagiotopoulos, D.G., Tsapanos, T.M., Mountrakis, D.M. & Dimopoulos, G. (1983). A study of the 1980 summer seismic sequence in the Magnesia region of central Greece. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 75, 155-168.

- Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and Scordilis, E.M. (2000). A catalog of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999. *Publ. Geoph. Lab., Univ. Thessaloniki*, 1, 338pp.
- Παπαζάχος, Β. Κ., Μουντράκης, Δ. Μ., Παπαζάχος, Κ. Β., Τρανός, Μ. Δ., Καρακαϊσης, Γ. Φ., Σαββαΐδης, Α. Σ. (2001). Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5^ο αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Εκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Α, 17-26.
- Papazachos, C. B. (1998). Crustal P and S velocity structure of the Serbomacedonian massif (Northern Greece) obtained by non-linear inversion of travel times, *Geophys. J. Int.*, 134, 25-39.
- Papazachos, C.B. and Kiratzi, A.A. (1992). Formulation for reliable estimation of active crustal deformation and an application to central Greece, *Geophys. J. Int.*, 111, 424-432.
- Papazachos, C.B. and Kiratzi, A.A. (1996). A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, 253, 129-153.
- Papazachos, C.B. and Nolet, G. (1997). P and S deep velocity structure of the Hellenic area obtained by robust nonlinear inversion of travel times. *J. Geophys. Res.*, 102, 8349-8367.
- Papazachos C. B. and Scordilis, E. M. (1998). Crustal structure of the Rhodope and surrounding area obtained by non-linear inversion of P and S travel times and its tectonic implication, *Acta Vulcanologica*, 10, 339-345.
- Pavlides, S. B. & Kiliass, 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., Kiliass, 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.
- Pavlidis, 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.
- Pavlidis, S., Zouros, N., Chatzipetros, A., Kostopoulos, D. & Mountrakis, D. (1995). The 13 May 1995 western Macedonia, Greece (Kozani Grevena) earthquake; preliminary results. *Terra Nova*, 7, 5, 544-549.
- Ritsema, A.R. (1974). The earthquake mechanism of the Balkan region. *R. Netherl. Meteorol. Inst. Sci. Rep.*, 74, 1-36.
- Scordilis, E.M., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Panagiotopoulos, D.G., Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C. (1985). Evidence for transform faulting in the Ionia sea: The Cephalonia island earthquake sequence of 1983, *Pure Appl. Geophys.*, 123, 388-397.
- Soufleris, C., Stewart, G. S. (1981). A source study of the Thessaloniki (Northern Greece) 1978 earthquake sequence. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 67, 343-358.
- Taymaz, T., Jackson, J. and Westaway, R. (1990). Earthquake mechanisms in the Hellenic trench near Crete. *Geophys.J.Int.*, 102, 695-731.
- Taymaz, T., Jackson, J. and McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Int.*, 106, 433-490.
- Tranos, M. D., Pavlidis, 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: Rossmannith, H.P.), Balkema, Rotterdam, 273-278.
- Τρανός, 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., Papadimitriou E. E. & Kiliass, A. A. (2003). Thessaloniki-Gerakarou

Fault Zone (TGFZ): The western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *J. Struct. Geol.* (in press).

Vamvakaris, D.A., Papazachos, C.B., Savvaidis, P.D., Tziavos, I.N., Karagianni, E.E., Scordilis, E.M. and Hatzidimitriou, P.M. Stress-field and time-variation of active crustal deformation in the Mygdonia basin based on the joined interpretation of seismological, neotectonic and geodetic data, *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice, France, April 2003.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Επιστημονικές Εργασίες