ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΑΡΑΔΕΙΣΟΠΟΥΛΟΥ ΠΑΡΘΕΝΑ

ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ : ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1º – ΕΙΣΑΓΩΓΗ
1.1 Γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της
περιοχής της Θεσσαλονίκης 4
1.2 Νεοτεκτονικά στοιχεία6
1.2.1 Περιγραφή των ρηγμάτων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης 8
1.3 Σεισμικότητα της περιοχής12
1.4 Προηγούμηνη ερευνητική δραστηριότητα στην περιοχή της
Θεσσαλονίκης
κεφαλαίο 2º – εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου
ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
Θεσσαλονικής19
2.1 Εισαγωγή
2.2 Περιγραφή του πειράματος20
2.3 Επεξεργασία των δεδομένων παρατήρησης
2.4 Υπολογισμός εστιακών συντεταγμένων31
2.4.1 Προσδιορισμός μονοδιάστατου μοντέλου ταχύτητας
2.4.2 Υπολογισμός χρονικών υπολοίπων των σταθμών
2.5 Προσδιορισμός του λόγου ταχυτήτων V_p/V_s για την περιοχή47
2.6 Καθορισμός των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών που
καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3º ΕΠΑΝΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΑΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ
ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ 58
3.1 Εισαγωγή
3.2 Συλλογή δεδομένων και καθορισμός μοντέλου δομής φλοιού στην
περιοχή58
3.2.1 Αρχή της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε60
3.2.2 Σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό του
μοντέλου δομής63
3.2.3 Εφαρμονή της μεθοδολογίας των καμπύλων γρόνων

διαδρομής66
3.2.4 Προσδιορισμός του λόγου της ταχύτητας των επιμήκων, V _p ,
προς των εγκαρσίων κυμάτων, V _s , για την περιοχή
3.3 Εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου σε όλους τιυς σεισμούς
του μονίμου δικτύου76
3.4 Ακριβής υπολογισμός εστιακών παραμέτρων
3.5 Καθορισμός των μεγεθών των σεισμών του τοπικού δικτύο87
3.5.1 Εισαγωγή
3.5.2 Υπολογισμός μεγεθών88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ95
4.1 Εισαγωγή95
4.2 Μηχανισμοί γένεσης96
4.21 Γεωμετρία του ρήγματος96
4.2.2 Πρώτες αφίξεις σεισμικών κυμάτων και τρόπος
ακτινοβολίας τους στην εστία του σεισμού
4.3 Καθορισμός γραμμών διάρρηξης στην ευρύτερη περιοχή
της Θεσσαλονίκης102
4.4 Επεξεργασία και αποτελέσματα των μηχανισμών γένεσης
4.5 Ανάλυση του πεδίου των τάσεων107
4.6 Συμπεράσματα
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° – ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 117
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ121
ПАРАРТНМА

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διατριβή αυτή αποτελεί μέρος ενός ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., το οποίο αφορά τη μελέτη της σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Η διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού προγράμματος Σπουδών του Τομέα Γεωφυσικής του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στο πρώτο κεφάλαιο, που αποτελεί την εισαγωγή, παρουσιάζονται πληροφορίες που αφορούν τη γεωλογία και την τεκτονική της περιοχής. Ακολουθούν αναφορές σε προηγούμενες προσπάθειες που έγιναν για τον προσδιορισμό της σεισμικότητας και των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνονται πληροφορίες σχετικά με την εγκατάσταση δικτύου σεισμογράφων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στο ίδιο κεφάλαιο ακολουθεί η επεξεργασία των δεδομένων που ελήφθησαν από τα όργανα και υπολογισμός των βασικών παραμέτρων των εστιών των σεισμών.

Στο τρίτο κεφάλαιο επαναπροσδιορίζονται οι εστιακές παράμετροι σεισμών που καταγράφηκαν από το μόνιμο τηλεμετρικό δίκτυο χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των σεισμών που προσδιορίστηκαν με τη χρήση σεισμολογικών δικτύων που είχαν εγκατασταθεί στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι σεισμοί για τους οποίους υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 1981 έως Σεπτέμβριος 2002, δηλαδή, από την εγκατάσταση του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου του εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών που καταγράφηκαν από το δίκτυο που εγκαταστάθηκε, στο πλαίσιο του προγράμματος, στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Γίνεται σχολιασμός και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, σχετικά με το πεδίο τάσεων και τις γραμμές διάρρηξης της περιοχής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα από κάθε κεφάλαιο. Στο παράρτημα Α δίνεται ο κατάλογος των σεισμών από το 1981 έως το 2002 και στο παράρτημα Β απεικονίζονται οι 46 μηχανισμοί γένεσης που υπολογίστηκαν για την περιοχή.

1

Με την ολοκλήρωσή της διατριβής αυτής, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια Σεισμολογίας του Τομέα Γεωφυσικής κα. Παπαδημητρίου Ελευθερία, χωρίς την βοήθεια της οποίας η εργασία αυτή δε θα είχε πραγματοποιηθεί. Την ευχαριστώ για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγησή της για τις ουσιαστικές παρατηρήσεις, τις συμβουλές της και για την ψυχολογική, ηθική και οικονομική υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Καρακώστα Βασίλη, Επίκουρο του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή του σε επιστημονικά θέματα, για τη διάθεση υπολογιστικών προγραμμάτων καθώς και για τη συνεχή παρότρυνσή του και υπομονή του κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής. Η συμμετοχή του υπήρξε καθοριστική στην ολοκλήρωση της διατριβής αυτής.

Στο τρίτο μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής κ. Καρακαΐση Γεώργιο Καθηγητή του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. εκφράζω τις ευχαριστίες μου για τη διόρθωση του κειμένου, τις χρήσιμες υποδείξεις του καθώς και την ψυχολογική του συμπαράσταση από το πρώτο έτος του Μεταπτυχιακού.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Τρανό Μάρκο για τις πολύ σημαντικές συμβουλές και υποδείξεις του σε θέματα γεωλογίας και τεκτονικής.

Στην Κεντρική Περιφέρεια Μακεδονίας και το Δήμο Θεσσαλονίκης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη βοήθειά τους στην επίτευξη του πειράματος στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές για τη βοήθεια που μου προσέφεραν, ο καθένας με τον τρόπο του. Ευχαριστίες οφείλω στον υποψήφιο διδάκτορα Μπενετάτο Χριστόφορο για τις πολύ σημαντικές συμβουλές του, την πολύτιμη βοήθειά του και την υπομονή που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Επίσης ευχαριστώ την Δρ. Καραγιάννη Ελένη και τον υποψήφιο διδάκτορα Κουτράκη Στυλιανό για την βοήθειά τους σε ερωτήσεις μου και για τις συμβουλές τους σε θέματα εντοπισμού εγκαρσίων και επιμήκων κυμάτων στις κυματομορφές των σεισμών.

Ευχαριστώ, επίσης, τους φίλους μου Σπύρου Γεώργιο, Νεκταρία Διαμαντή, Δέσποινα Χατζηαποστολίδου και Ηλία Παπαδόπουλο για την πολύτιμη συμπαράσταση που μου έδειξαν τα χρόνια αυτά.

Τέλος, εκφράζω ευγνωμοσύνη και ένα μεγάλο ευχαριστώ οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική βοήθεια που μου προσέφεραν.

2

<u>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>

Σκοπός της διατριβής είναι η μελέτη της σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τα ρήγματα της περιοχής και το πεδίο των τάσεων. Τη βάση για τη μελέτη αυτή αποτέλεσαν δεδομένα που καταγράφηκαν από δίκτυο σεισμογράφων που εγκαταστάθηκε στην περιοχή. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών οδήγησε στα τελικά αποτελέσματα.

Η περιοχή μελέτης (σχ. 1.1), περιλαμβάνει γεωγραφικά, τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας. Από γεωλογικής άποψης, η Σερβομακεδονική μάζα και η Περιροδοπική ζώνη είναι οι γεωλογικές ζώνες στις οποίες ανήκει η περιοχή μελέτης. Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης παρουσιάζει μεγάλο σεισμολογικό ενδιαφέρον, καθώς εντοπίζονται τα επίκεντρα πολλών μεγάλων αλλά και μικρών σεισμών με μικρό επιφανειακό βάθος.



Σχήμα 1.1. Περιοχή μελέτης της διατριβής και γεωγραφική της θέση στην Ελλάδα.

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται μία γεωλογική και τεκτονική περιγραφή της περιοχής μελέτης. Επίσης γίνεται μία περιγραφή της σεισμικότητας της περιοχής από τα αρχαιότερα χρόνια έως σήμερα και παρουσιάζονται κάποιες προηγούμενες έρευνες και τα αποτελέσματα αυτών.

1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

Η περιοχή που εξετάζεται (Μυγδονία λεκάνη – Θεσσαλονίκη) βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία και αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης πολλών νεοτεκτονικών εργασιών (Fountoulis, 1980; Mercier et al., 1981; Mountrakis et al., 1983; Pavlides & Kilias, 1987; Pavlides et al., 1990; Mercier et al., 1983, Μουντράκης, 1985, Comninakis et al., 1979, Papazachos et al., 1982), λόγω της μεγάλης σεισμικότητας που παρουσίασε κατά τον 20° αιώνα. Στη Μυγδονία λεκάνη βρίσκονται οι λίμνες Λαγκαδά (Αγίου Βασιλείου) και Βόλβης που αποτελούν υπολειμματικές μορφές της μεγάλης Πλειοκαινικής Μυγδονίας λίμνης.

Χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης τεκτονική υφή που παρουσιάζουν τα πετρώματα του υποβάθρου. Αποτελούνται από πολυμεταμορφωμένα προ-Αλπικά πετρώματα που εντάσσονται στην Σερβομακεδονική μάζα και χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα Αλπικά πετρώματα που εντάσσονται στις γεωτεκτονικές ζώνες της Περιροδοπικής και Παιονίας. Εμφανίζονται να συγκροτούν τους λόφους και τα βουνά της περιοχής, είτε ως μεμονωμένα εξάρματα είτε ως επιμήκεις λωρίδες, πάντα όμως με την προαναφερόμενη σταθερή γενική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση (σχ. 1.2).

Η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση που κυριαρχεί στα πετρώματα του χώρου αυτού συμπίπτει με τη χαρακτηριστική διεύθυνση ανάπτυξης των Ελληνίδων ζωνών και θεωρείται ότι είναι απόρροια του τελευταίου Αλπικού ορογενετικού παραμορφωτικού επεισοδίου που είχε ως αποτέλεσμα την ΒΔ-ΝΑ παράταξη των πετρωμάτων και τις πολύ μεγάλες ως κατακόρυφες γωνίες κλίσης τους προς τα ΒΑ, την λεπιοειδή τεκτονική με τις πολλές εφιππεύσεις, επωθήσεις και αναστροφές των πετρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της Σερβομακεδονικής μάζας προς την Περιροδοπική ζώνη. Η σημερινή τεκτονική εικόνα της περιοχής συμπληρώνεται με τα παλαιότερα πετρώματα τοποθετημένα ανεστραμμένα πάνω στα νεότερα. Αποτέλεσμα της αναστροφής αυτής είναι η κρυσταλλοσχιστώδης μάζα να εφιππεύει τα νεότερα Περμοτριαδικά μεταιζήματα της Περιροδοπικής (Mercier, 1968).



Σχήμα 1.2. Τεκτονικός χάρτης της περιοχής Μυγδονίας λεκάνης-Θεσσαλονίκης (Mountrakis et al., 1992). Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, 2. Μολάσσα Λαγκαδά, 3. Προ-Νεογενές υπόβαθρο, 4. Κύρια κανονικά ρήγματα, 6. Ανάστροφα ρήγματα, 7. Ρήγματα.

Η Σερβομακεδονική μάζα, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής διακρίνεται σε δύο τεκτονικές ενότητες: την κατώτερη Ενότητα των Κερδιλλίων και την ανώτερη ενότητα του Βερτίσκου. Στο χώρο της Μυγδονίας λεκάνης-Θεσσαλονίκης αναπτύσσεται βόρεια και BBA της λίμνης Λαγκαδά μόνο η ενότητα Βερτίσκου.

Η Περιροδοπική ζώνη, η οποία διευθύνεται σε παρόμοια BΔ-NA διεύθυνση, διακρίνεται σε τρεις ενότητες σχηματισμών, οι οποίες από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι:

- i. Ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά
- ii. Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα
- iii. Ενότητα Άσπρης Βρύσης Χορτιάτη.

Οι σχηματισμοί που συγκροτούν και τις τρεις ενότητες είναι γενικά ελαφρά μεταμορφωμένα ιζήματα Περμοτριαδικής ηλικίας (ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, μετακλαστικά ιζήματα και ανθρακικά).

Η Ζώνη της Παιονίας παρουσιάζεται στην περιοχή μελέτης με οφειολιθικά πετρώματα και τα υπερκείμενα ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή Ανώτερου Ιουρασικού -Βασικού Κρητιδικού που συνοδεύονται από μερικούς ορίζοντες ασβεστόλιθων και μαργαϊκών στρωμάτων και συνιστούν μολασσικά ιζήματα (Mercier, 1968; Mercier, 1983; Kockel et al., 1977).

Τα μορφολογικά, ιζηματολογικά, στρωματογραφικά χαρακτηριστικά, συντελούν στη δράση δύο τεκτονικών σταδίων (Ψιλοβίκος και Σωτηριάδης, 1983):

- Πρώτο τεκτονικό στάδιο. Χαρακτηρίζεται από τον αρχικό τεμαχισμό της επιφάνειας επιπέδωσης σε μεγάλα τμήματα τα οποία βυθίζονται κατά το Κάτω-Μέσο Μειόκαινο και δέχονται ιζηματογενείς αποθέσεις Μειόκαινου, Πλειόκαινου και Βιλλαφραγγίου (Προμυγδονιακή ομάδα). Οι αποθέσεις αυτές είναι κατά κανόνα ηπειρωτικές και το πάχος τους υπολογίζεται σε 350m.
- ii. Δεύτερο τεκτονικό στάδιο. Χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία μικρότερων τάφρων. Το στάδιο αυτό αρχίζει από το τέλος του Βιλλαφραγγίου και εξελίσσεται στο Τεταρτογενές. Γενικά η βύθιση των τάφρων όπως του Λαγκαδά, της Βόλβης και του Χορτιάτη κυμαίνονται από 50-160m.

1.2 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην περιοχή των ζωνών της Σεβομακεδονικής και της Περιροδοπικής έχουν δημιουργηθεί κατά το νεοτεκτονικό στάδιο μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και λεκάνες όπως η λεκάνη της Μυγδονίας. Τα βυθίσματα αυτά πιστεύεται ότι δημιουργήθηκαν από τη δράση ενός έντονου και συνεχούς εφελκυστικού πεδίου από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα, που έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό κανονικών ρηγμάτων. Τα ρήγματα έχουν σαν κύριες διευθύνσεις Α-Δ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΔ-ΝΑ και ορισμένα έχουν διεύθυνση Β-Ν. Η Σερβομακεδονική μάζα έχει ιδιαίτερη σεισμοτεκτονική συμπεριφορά και ο ρόλος της έχει διερευνηθεί από πολλές εργασίες τα τελευταία χρόνια (Papazachos et al., 1979; Mountrakis et al., 1983; Psilovikos, 1984; Pavlides & Kilias, 1987; Stiros and Drakos, 2000). Η ιδιαίτερη αυτή τεκτονική συμπεριφορά έχει εξεταστεί τόσο σε σχέση με τις συνεχείς, παράλληλες Νεογενείς Τεταρτογενείς τάφρους που έχουν σχηματιστεί στο χώρο της Σερβομακεδονικής κατά τη διεύθυνση A-Δ, όσο και σε σχέση με τα δύο όριά της, το ανατολικό με τη Ροδό π η και το δυτικό με την Περιροδοπική ζώνη. Τα δύο αυτά όρια της Σερβομακεδονικής την καθιστούν την πλέον ενεργή σεισμοτεκτονικά ζώνη γι' αυτό και σ' αυτή την περιοχή έγιναν σεισμοί μεγάλου, όπως ο σεισμός στις 20 Ιουνίου 1978.



Σχήμα 1.3. Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης έτσι όπως διατυπώθηκε από τον Mercier και τους συνεργάτες του το 1983. Επίσης φαίνονται οι τρεις μηχανισμοί γένεσης των τριών μεγάλων σεισμών που σημειώθηκαν στην Θεσσαλονίκη το 1978, καθώς και το πεδίο των τάσεων που επικρατεί στην περιοχή.

Ο σεισμός του 1978 μελετήθηκε από πολλούς επιστήμονες καθώς ήταν ο πρώτος καταστροφικός σεισμός που έπληξε μία μεγάλη ελληνική πόλη κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Mercier et al. 1983,1989, Papazachos et al. 1979, 1982, Hatzfeld et al., 1986/87 Scordilis et al., 1989). Οι επιφανειακές εκδηλώσεις ρηγμάτων που παρατηρήθηκαν κατά το σεισμό αυτό οφείλονταν στην επαναενεργοποίηση των ρηγμάτων της εποχής του Άνω Τεταρτογενούς (Mercier et al., 1983, Hatzidimitriou et al., 1991) με τις περισσότερες από τις διαρρήξεις να παρατηρούνται μεταξύ των λιμνών της Βόλβης και του Λαγκαδά.. Μερικοί ερευνητές (Mercier et al., 1983; Hatzidimitriou et al., 1991), υποδεικνύουν ότι η επανενεργοποίηση των ρηγμάτων οφείλεται σε εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση Β-Ν και ΒΒΑ-ΝΝΔ στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Στο σχήμα 1.3, δίνεται τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης (Mercier et al., 1983), όπου φαίνονται τα σεισμικά ρήγματα τα οποία συνδέονται με τους σεισμούς που έγιναν στις 23 Μαΐου, 19 Ιουνίου και 20 Ιουνίου. Στα δεξιά του σχήματος διακρίνονται οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών αυτών (Soufleris and Stewart, 1981)καθώς και οι άξονες του μέγιστου εφελκυσμού, Τ. Τα παχιά μαύρα και τα άσπρα βέλη αντιστοιχούν στις διευθύνσεις των συμπιεστικών (οριζόντια βέλη) και εφελκυστικών (κατακόρυφα βέλη) τάσεων, αντίστοιχα, και υπολογίστηκαν από τα ρήγματα των σεισμών που έγιναν το 1978 και των ρηγμάτων του Τεταρτογενούς (Fountoulis, 1980). Όπως φαίνεται από το σχήμα όλες οι εφελκυστικές διευθύνσεις συμφωνούν αρκετά καλά.

1.2.1. Περιγραφή των ρηγμάτων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Τα κύρια ρήγματα και νεοτεκτονικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης δίνονται στο νεοτεκτονικό χάρτη του σχήματος 1.4 (Tranos et al., 2003). Διακρίνονται το σύστημα διάρρηξης Θεσσαλονίκης – Ρεντίνας και το ανατολικό μέρος του συστήματος αυτού, η ζώνη διάρρηξης Θεσσαλονίκης -Γερακαρούς. Αρκετά από τα ρήγματα αυτά συσχετίζονται με σεισμούς και συνδέονται άμεσα με το ανάγλυφο της περιοχής, ενώ αρκετά χαρακτηρίζονται ως ενεργά ή πιθανώς ενεργά σεισμικά ρήγματα, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων είναι ορατό.

Μία περιγραφή των ρηγμάτων αυτών δίνεται στη συνέχεια :

Σεισμικό ρήγμα Θεσσαλονίκη-Γερακαρού (TGFZ)

Το ρήγμα αποτελεί τμήμα μιας μεγάλης ρηξιγενούς γραμμής η οποία έχει μήκος περίπου 12 km. Αρχίζει από το χωριό Περιστερώνα, διέρχεται από τα χωριά Στίβος και Νικομηδινό και φτάνει στα δυτικά στο χωριό Γερακαρού. Η ρηξιγενής αυτή γραμμή περιγράφεται ως το σημαντικότερο ρήγμα της ευρύτερης περιοχής και μ' αυτό συνδέεται ο μεγάλος σεισμός της Θεσσαλονίκης (20 Ιουνίου 1978, 10:31:07, 40.8°N-23.2°E, M=6.5) (Papazachos et al., 1979, Moundrakis et al., 1983).

Η γενική διεύθυνση του ρήγματος είναι ΔΒΔ-ΑΝΑ με μετάπτωση προς το βορρά ενώ προς τα δυτικά συνεχίζει δια μέσου υποπαράλληλων μικρών διαρρήξεων και μεγάλων ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ. Το ρήγμα χωρίστηκε σε τρία μέρη για να γίνει καλύτερα και λεπτομερέστερα η περιγραφή του, το ανατολικό, το κεντρικό και το δυτικό. Το σχήμα 1.5 δείχνει ένα γεωλογικό - τεκτονικό χάρτη της ορεινής περιοχής δυτικά της Θεσσαλονίκης στον οποίο φαίνεται η γεωμετρία του ρήγματος TGFZ. Με Α, Β και C απεικονίζονται αντίστοιχα το ανατολικό, κεντρικό και δυτικό τμήμα του ρήγματος.



Σχήμα 1.4. Γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης ο οποίος απεικονίζει το σύστημα διάρρηξης ρηγμάτων Θεσσαλονίκης-Ρεντίνας και το ανατολικό κομμάτι αυτού του συστήματος, τη ζώνη διάρρηξης Θεσσαλονίκη-Γερακαρού. Οι γραμμές διάρρηξης που απεικονίζονται στο σχήμα είναι: της Αμουλιανής (Am. F.), του Ανθεμούντα (A. F), το ρήγμα Λαγυνά-Αγ. Βασίλειος (L-AV.), τα ρήγματα Πύργος και Σοχός που συμβολίζονται στο χάρτη με P. F. και So. F., αντίστοιχα και οι γραμμές διάρρηξης Στρατώνι (Str. F.) και Βουρβουρού (V. F.). Με L και V απεικονίζονται οι λίμνες Λαγκαδά και Βόλβη, αντίστοιχα (Tranos et al., 2003).

α) Ανατολικό τμήμα του TGFZ.

Το ανατολικό τμήμα του TGFZ (σχ. 1.5a, το A), βρίσκεται δυτικά και νότια των χωριών Γερακαρού και Βασιλούδι. Το τμήμα αυτό εκτείνεται κατά μήκος του ρέματος της Αγίας Παρασκευής σχηματίζοντας έτσι το ρήγμα της Αγίας Παρασκευής. Το ανατολικό τμήμα του ρήγματος έχει διεύθυνση ABA-ΔΝΔ και κλίνει προς τα BBΔ. Στο δυτικό του τμήμα κάμπτεται προς τα BBA-NNΔ φτάνοντας, καθέτως, στο δυτικότερα από αυτό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη. Τα ρήγματα που εμφανίζονται στην περιοχή αυτή είναι κανονικά ρήγματα με αριστερόστροφη συνιστώσα.

β) Κεντρικό τμήμα του TGFZ.

Στο κεντρικό τμήμα (σχ. 1.5, B) επικρατεί περισσότερο η ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη και κλίση με μεγάλη γωνία προς το βορρά. Συγκεκριμένα το ρήγμα TFGZ διακλαδίζεται σε δύο ρήγματα. Το ένα ρήγμα είναι βορειότερο και αποτελεί το ενεργό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη με παράταξη ίση με 90°. Αποτελείται από υποπαράλληλες γραμμές διάρρηξης οι οποίες κλίνουν προς το βορρά και βρίσκονται μεταξύ των χωριών Ασβεστοχωρίου και Χορτιάτη. Το νοτιότερο ρήγμα είναι το ρήγμα Πυλαίας - Πανοράματος το οποίο είναι παράλληλο με το ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και κλίση προς το βορρά. Έχει μήκος 8 km και πιθανώς εκτείνεται προς τα δυτικά στην πόλη της Θεσσαλονίκης συναντώντας ένα ρήγμα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ. Στα ανατολικά το ρήγμα αυτό ενώνεται με ΒΒΑ-ΝΝΔ ρήγματα τα οποία βρίσκονται στα πλάγια του όρους Χορτιάτη και συνδέονται με τα ρήγματα Ασβεστοχωρίου - Χωρτιάτη.

Τα ρήγματα στην περιοχή αυτή υποδεικνύουν τρεις κινήσεις:

- Ι. Αριστερόστροφη οριζόντια μετατόπιση (Tranos, 1998; Tranos et al., 1999).
- II. Πλάγιο δεξιόστροφο κανονικό ρήγμα
- ΙΙΙ Πλάγιο αριστερόστροφο ρήγμα

γ) Δυτικό τμήμα του TGFZ

Στα δυτικά του Ασβεστοχωρίου (σχ. 1.5, C), το ρήγμα TGFZ συνεχίζει έως τα ΒΔ όρια της πόλης της Θεσσαλονίκης διαμέσου του ρήγματος Πεύκων – Πανοράματος, με μήκος 9.5 km, με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ. Η κάθετη αριστερόστροφη κανονική κίνηση είναι η κίνηση που χαρακτηρίζει το ρήγμα Πευκών – Ασβεστοχωρίου και μικρότερα αντιθετικά ρήγματα που υπάρχουν στην περιοχή και έχουν διεύθυνση Α-Δ.

Προέκταση του ρήγματος αυτού αποτελεί το ρήγμα Ασβεστοχωρίου - Πολίχνης (A-P. F.), (Papastamatiou, 1978; Mercier et al., 1983). Το μήκος του φτάνει τα 15 km περίπου. Έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (περίπου 115°), είναι κανονικό ρήγμα και έχει γωνία κλίσης που φτάνει τις 84° προς τα βόρεια. Όμως οι μηχανισμοί γένεσης που υπολογίστηκαν από τους Hatzidimitriou et al., 1991, δεν μπόρεσαν να εξηγήσουν τη γεωμετρία του ρήγματος αυτού. Νεότερα στοιχεία έδειξαν ότι το ρήγμα βυθίζεται προς τα ΝΔ κάτω από την πόλη της Θεσσαλονίκης (Papazachos et al., 2000).



Σχήμα 1.5. Γεωλογικός και τεκτονικός χάρτης της ορεινής περιοχής της Θεσσαλονίκης. Δείχνει τη γεωμετρία του ρήγματος Θεσσαλονίκη Γερακαρού. Συγκεκριμένα το ανατολικό, κεντρικό και δυτικό τμήμα του ρήγματος απεικονίζονται με τα τετράγωνα Α, Β και C. Με G-S F. απεικονίζεται το ρήγμα Γερακαρού-Στίβος, το ρήγμα Αγίας Παρασκευής συμβολίζεται ως Ag. P. F., το Ασβεστοχώρι-Χορτιάτης με A-Ch. F. και το ρήγμα Λαγυνά-Άγιος Βασίλειος απεικονίζεται με L-AV. Τα κύρια ρήγματα συμβολίζονται με συνεχείς γραμμές, ενώ με διακεκομμένες παριστάνονται τα υποθετικά ρήγματα ή ρήγματα που δεν έχουν επιφανειακή εκδήλωση (Tranos et al., 2003).

Ενεργό ρήγμα Λαγυνών-Αγίου Βασιλείου

Το ρήγμα αυτό βρίσκεται στα νοτιοδυτικά της λίμνης Λαγκαδά και οριοθετεί το ενεργό βύθισμα της Μυγδονίας λεκάνης στο τμήμα της λίμνης. Αποτελεί συνέχεια του ρήγματος Θεσσαλονίκης-Γερακαρούς, προς τα Δυτικά-Βορειοδυτικά, δια μέσου των χωριών Άγιος Βασίλειος και Λαγυνά. Έχει μήκος περίπου 20 km. Το ρήγμα αυτό αποτελεί σύστημα πολλών ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ έως ΒΔ-ΝΑ με κλίση προς το Βορρά.

Ενεργό ρήγμα Ασσήρου-Ανάληψης

Βρίσκεται στη βόρεια πλευρά της λίμνης του Λαγκαδά. Είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (130°-150°) και με μήκος περίπου 20 km και κλίση προς τα ΝΔ. Στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος πιθανώς να βρισκόταν και το επίκεντρο του μεγάλου σεισμού της Ασσήρου στις 5 Ιουλίου 1902 με μέγεθος M=6.6.

• Ενεργό ρήγμα Ανθεμούντα

Στα νοτιοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης εντοπίζεται το ρήγμα του Ανθεμούντα. Η γενική διεύθυνση του ρήγματος είναι Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ (περίπου 100°) και παρουσιάζει κλίση προς το βορρά κατά 70°.

1.3. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η Μυγδονία λεκάνη αποτελεί ένα κομμάτι της πιο ενεργά σεισμικής ζώνης της Βόρειας Ελλάδας που συνδέεται με την ορεινή Σερβομακεδονική μάζα (Papazachos et al., 1979). Η περιοχή αυτή, η οποία παρουσιάζει μέτρια σεισμική δραστηριότητα, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί η πόλη της Θεσσαλονίκης βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση (περίπου 25 km) από την κοιλάδα (Scordilis et al., 1989).

Το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής ενέργειας απελευθερώθηκε σε δύο ξεχωριστές χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα (1902-1906 και 1931-1932, Papazachos, 1974). Στο χάρτη 1.5 φαίνεται η κατανομή των επικέντρων όλων των σεισμών, μεγέθους M≥5.4 και εστιακού βάθους μικρότερου των 20 km, που έγιναν από το 1901 μέχρι το 1978 (Papazachos et al., 1979α).Διακρίνονται επίσης η Σερβομακεδονική μάζα, η ζώνη του Αξιού και η γεωλογική ζώνη της μάζας τη Ροδόπης. Στις τρεις αυτές γεωλογικές ζώνες ανήκει η Θεσσαλονίκη και η ευρύτερη περιοχή της. Επίσης στο χάρτη 1.6 απεικονίζονται οι μεγάλοι σεισμοί που συνέβησαν τον προηγούμενο αιώνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης αλλά και βορειοανατολικά αυτής προς τη Βουλγαρία και νότια προς τη Χαλκιδική (Arsovski, 1961; Mercier, 1968; Kockel et al.1971; Papazachos et al., 1979 a, b).



Σχήμα 1.6. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και στις γύρω περιοχές στο διάστημα 1900-1978.(Papazachos et al. 1979).

Στη συνέχεια δίνονται οι πιο γνωστοί σεισμοί που έπληξαν την πόλη της Θεσσαλονίκης και προξένησαν σ' αυτή αρκετές βλάβες. Τα στοιχεία των σεισμών αυτών επιλέγηκαν από το βιβλίο των Παπαζάχου και Παπαζάχου " Οι σεισμοί της Ελλάδας " (2002). Σε κάθε σεισμό αναφέρονται η ημερομηνία, ο χρόνος γένεσης (για όποιο σεισμό είναι γνωστός), οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου, το μέγεθος του σεισμού, η τιμή της μέγιστης έντασης και η τοποθεσία που παρατηρήθηκε η ένταση αυτή.

> 620 μ.Χ. 40.6 °N, 23.3 °N, M=6.6

Ο σεισμός ήταν δυνατός και η πόλη κουνιόταν σαν τη θάλασσα (Βακαλόπουλος 1983). Καστράφηκαν πολλά σπίτια και πολλές αρχαίες κατασκευές όπως μερικά κτήρια της Ρωμαϊκής αγοράς, η αψίδα της Ροτόντας, το πρόπυλο και άλλα κτήρια στην περιοχή του τόξου του Γαλέριου.

▶ 667 μ.Χ. 40.6 °B, 23.5 °A, M=6.6 (VIII, Θεσσαλονίκη)

Έγινε το μεσημέρι και ανάγκασε τους κατοίκους να βγουν έντρομοι από τα σπίτια τους (Λέτσας, 1963). Από την ένταση του σεισμού έπεσαν τα τείχη της πόλης.

700 μ.χ. 40.8 N, 23.2 N, M=6.6 (VIII, Θεσσαλονίκη)

Ο σεισμός αναφέρεται από το Λέτσα (1963) ως πολύ δυνατός και με μεγάλη διάρκεια. Κάηκε η εκκλησία του Αγίου Δημητρίου από πυρκαγιά που προκλήθηκε από το σεισμό. Οι κάτοικοι είχαν εγκαταλείψει τα σπίτια τους και έμεναν στην ύπαιθρο.

1430 μ.Χ., Μάρτιος 26, 40.7 °B, 23.2 °A, M=6.0 (VI, Θεσσαλονίκη)

Κατά τη διάρκεια της πολιορκίας της πόλης από τον Μουράτ, έγινε μεγάλος σεισμός τα μεσάνυχτα της Κυριακής και προκάλεσε φόβο στους κατοίκους.

1677 μ.Χ. 40.5 °B, 23.0 °A, M=6.2 (VIII, Θεσσαλονίκη, Βασιλικά)

Ο σεισμός κατέστρεψε πολλά χωριά και προκάλεσε τις περισσότερες ζημιές στο χωριό Βασιλικά της Θεσσαλονίκης.

➤ 1759, 22 Iovvíov, 23:30 GMT 40.7 °N, 23.2 °N, M=6.5

Ο σεισμός είχε ένταση ΙΧ στη Θεσσαλονίκη. Είχε πλούσια μετασεισμική δραστηριότητα που διήρκεσε μέχρι τον Οκτώβριο (Svoronos, 1951). Ο σεισμός προκάλεσε ρωγμές και καταστροφές στα σπίτια και θανάτους. Ο Βαρναλίδης (1978) παραθέτει ενθύμηση μοναχού όπου αναφέρεται ότι στις 13 Ιουνίου (παλαιού ημερολογίου) έγινε ο πολύς και μέγας σεισμός της Θεσσαλονίκης που κράτησε έως της Αγίας Παρασκευής (26 Ιουλίου, παλαιό ημερολόγιο) και προκάλεσε μεγάλες καταστροφές και ανθρώπινα θύματα. Οι Θεσσαλονικείς αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν την πόλη τους για αρκετό καιρό. Μια πυρκαγιά που ακολούθησε το σεισμό συμπλήρωσε τη συμφορά. Η γη είχε υποστεί ρωγμές σε πολλά σημεία απ' όπου έβγαιναν αναθυμιάσεις. Το μεγαλύτερο μέρος της πόλης είχε μετατραπεί σε σωρό ερειπίων που έθαψαν πλήθος (Βακαλόπουλος, 1983) ανθρώπους. Από τη σήψη των πτωμάτων προκλήθηκε φοβερή επιδημία.

> 1902, 5 Ιουλίου, 14:56:30, 40.8 B, 23.1 A, M=6.6 (ΙΧ, Άσσηρος, Θεσσαλονίκη)

Η σεισμική ακολουθία του σεισμού αυτού άρχισε τρεις μήνες νωρίτερα, ενώ οι μετασεισμοί του κράτησαν μέχρι το χειμώνα. Στο έδαφος εμφανίστηκαν ρωγμές, η μεγαλύτερη των οποίων είχε μήκος 100m και πλάτος 10cm. Έντονες ζημιές παρατηρήθηκαν και στα χωριά έξω από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Στη Θεσσαλονίκη λίγα σπίτια έπαθαν σοβαρές ζημιές, ενώ τα περισσότερα παρουσίασαν ρωγμές. Ο σεισμός αυτός στην Άσσηρο αποτέλεσε την πρώτη χρονική περίοδο έξαρσης της σεισμικής δραστηριότητας, κατά τον προηγούμενο αιώνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Papazachos et al., 1979).

> 1932, 26 Σεπτεμβρίου, 19:20:42, 40.5 °B, 23.9 °A, Μ=7.0 (Χ, Ιερισσός)

Από το σεισμό αυτό καταστράφηκαν η Ιερισσός και το Στρατώνι, 85 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους ενώ 175 ήταν οι τραυματίες. Από το Στρατώνι και δυτικά μέχρι τη Στρατονίκη παρουσιάστηκε ρωγμή σε μήκος 7 km στο έδαφος και μέσο πλάτος 2m και βάθος 10 μέτρων. Ο σεισμός της Ιερισσού έγινε έντονα αισθητός στη Θεσσαλονίκη.

Στις 29 Σεπτεμβρίου 1932 και ώρα 03:57 ένας άλλος ισχυρός σεισμός μεγέθους M=6.2 έπληξε το Σοχό της Μυγδονίας λεκάνης, προξένησε δε βλάβες στη Θεσσαλονίκη.

> 1978, 20 Iovvíov, 20:03:21, 40.71 °B, 23.27 °A, M=6.5

Η τελευταία σεισμική ακολουθία έλαβε χώρα κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι του 1978. Ο κύριος σεισμός, στις 20 Ιουνίου 1978, με μέγεθος M=6.5, συνέβη κοντά στις λίμνες της Βόλβης και του Λαγκαδά, σε απόσταση 25 km από τη Θεσσαλονίκη. Ο σεισμός αυτός ήταν ο πρώτος που έγινε στη Σερβομακεδονική μάζα με μέγεθος M≥6.0, μετά από 45 χρόνια σχετικής σεισμικής ηρεμίας και ίσως αποτελεί την αρχή μίας νέας σεισμικής περιόδου. Από το σεισμό αυτό προκλήθηκαν πολλές ζημιές. Μία οκταόροφη πολυκατοικία κατέρρευσε, 5150 σπίτια έπαθαν ζημιές, 1130 κατεδαφίστηκαν, 45 άτομα σκοτώθηκαν και 220 άτομα τραυματίστηκαν.

Οι δύο σεισμοί, της Ιερισσού και της Θεσσαλονίκης, αποτέλεσαν τη δεύτερη χρονική περίοδο σεισμικών ακολουθιών (Papazachos et al. 1979). Στο σχήμα 1.7 δίνονται οι σημαντικότεροι σεισμοί που έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης από το 600μ.Χ. έως το 1978.



Σχήμα 1.7. Χάρτης των επικέντρων των σεισμών που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης από το 600 μ.Χ. έως το 1978.

1.4 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Λόγω του ότι η Θεσσαλονίκη βρίσκεται σε μία από τις πιο ενεργά σεισμικές ζώνες της Βόρειας Ελλάδας έχουν γίνει πολλές ερευνητικές προσπάθειες για τη σεισμική και τεκτονική μελέτη της περιοχής αυτής. Οι Papazachos et al. (1979), χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από το σεισμό που έγινε στη Θεσσαλονίκη στις 20 Ιουνίου του 1978, έδειξαν ότι οι εστίες των σεισμών εντοπίστηκαν σε σεισμικές ζώνες οι οποίες ταυτίζονται με τη Σερβομακεδονική μάζα. Μετά την σεισμική ακολουθία του Μαΐου-Ιουνίου το 1978 παρατηρήθηκαν τρεις γραμμές διάρρηξης στην περιοχή. Οι μηχανισμοί γένεσης που έγιναν για τον κύριο σεισμό και για το μεγαλύτερο προσεισμό έδειξαν ότι και οι δύο σεισμοί προκλήθηκαν από διαρρήξεις παράταξης με μικρή ανάστροφη συνιστώσα, σε μία γραμμή διάρρηξης η οποία κλίνει ΝΑ-ΒΔ.

Οι Mercier et al. (1983), έχοντας ως δεδομένα τους σεισμούς στις 23 Μαΐου (M=5.7) και 20 Ιουλίου (M=6.5) και λαμβάνοντας υπόψη τα ρήγματα που

εμφανίσθηκαν στην περιοχή έκανε μία μελέτη της δομής και της κινηματικής των ρηγμάτων αυτών και των τάσεων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι έρευνες τελικά έδειξαν ότι ο φλοιός εκτείνεται με κατεύθυνση από B-N έως BBA-NNΔ. Υπολογίστηκαν οι κύριες διευθύνσεις τάσης, από τα διανύσματα ολίσθησης πάνω στις γραμμές διάρρηξης των ρηγμάτων που δημιουργήθηκαν από το σεισμό και πάνω σε νεοτεκτονικά ρήγματα χρησιμοποιώντας ένα απλό μηχανικό μοντέλο. Βρέθηκε ότι η διεύθυνση του διανύσματος της τάσης ήταν παρόμοια και στις δύο περιπτώσεις και επίσης ότι συμπίπτει με τους άξονες εφελκυσμού που επικρατούν στο Βόρειο Αιγαίο.

Γενικά γεωλογικές και σεισμολογικές μελέτες που αφορούν την ακολουθία αυτή έδειξαν έναν εφελκυσμό B-N (Mercier et al., 1977; Papazachos et al., 1980; Carver and Bollinger, 1981; Soufleris et al., 1982). Οι μηχανισμοί γένεσης των τριών μεγαλύτερων σεισμών που συνέβησαν έδειξαν κανονικό ρήγμα με διεύθυνση Α-Δ και κλίση προς το βορρά. Η διεύθυνση του άξονα μέγιστου εφελκυσμού, Τ, στους μηχανισμούς γένεσης είναι ίση με 355°.

Ο Σκορδύλης, (1985), υπολόγισε τις εστιακές παραμέτρους τον σεισμών που έγιναν από 1 Ιανουαρίου 1981 έως 31 Δεκεμβρίου 1984, στη Σερβομακεδονική ζώνη και στις γύρω περιοχές. Το μέσο εστιακό βάθος των σεισμών της περιοχής βρέθηκε ίσο με 9km, ενώ οι τιμές των εστιακών βαθών κυμαίνονταν μεταξύ 5 και 15 km. Η γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών, έδειξε ότι η κύρια συγκέντρωση της σεισμικής δράσης της περιοχής εντοπίζεται στη Μυγδονία λεκάνη και στα όρια της Σερβομακεδονικής μάζας με τις γειτονικές ζώνες. Επίσης έγιναν οκτώ συνθετικοί μηχανισμοί γένεσης, οι οποίοι έδειξαν κανονική διάρρηξη και υπολογίστηκε το πεδίο των τάσεων, το οποίο βρέθηκε εφελκυστικό, με τους άξονες Τ να έχουν διευθύνσεις BBA-NNΔ, ενώ οι κλίσεις τους ήταν πολύ μικρές.

Μία μικροσεισμική μελέτη της περιοχής της Μυγδονίας λεκάνης έγινε από τους Hatzfeld et al., (1986/87). Κατά τη διάρκεια του Μαρτίου και του Απριλίου το 1984, στήθηκε ένα δίκτυο από 29 σταθμούς στην περιοχή. Στη διάρκεια έξι εβδομάδων καταγράφηκαν 254 σεισμοί για τους οποίους υπολογίστηκαν οι εστιακές τους παράμετροι. Επίσης από τους μηχανισμούς γένεσης υπολογίστηκε η μέση διεύθυνση άξονα μέγιστου εφελκυσμού, Τ, ίση με 15° από το Βορρά. Οι μηχανισμοί γένεσης έδειξαν κανονικές διαρρήξεις ή διαρρήξεις με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ή BBA-NNΔ. Επίσης, με βάση τους μηχανισμούς αυτούς διαπιστώθηκαν καινούρια κανονικά

ρήγματα, που σχηματίστηκαν πάνω σε παλαιότερες γραμμές διάρρηξης και έχουν διεύθυνση κάθετη στον κύριο άξονα εφελκυσμού, Τ.

Το 1985 (Hatzidimitriou et al., 1991) εγκαταστάθηκε και λειτούργησε δίκτυο σεισμογράφων γύρω από την πόλη της Θεσσαλονίκης κατά το χρονικό διάστημα 1 με 31 Μαΐου 1985, με σκοπό και να μελετηθεί το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου. Υπολογίσθηκαν 22 μηχανισμοί γένεσης. Τελικά αποδείχθηκε ότι το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου προήλθε από παλαιότερο τεκτονικό επεισόδιο και είναι τεκτονικώς και σεισμικώς ενεργό, αλλά δεν βρέθηκε κάποιο στοιχείο ότι το ρήγμα αυτό το οποίο δεν είναι ακριβώς κάθετο με την κύρια τάση μπορεί να επεκταθεί (περίπου 12-15 km) κι έτσι να δώσει ένα καταστροφικό σεισμό με μέγεθος πάνω από 6.

Για το ρήγμα του Ασβεστοχωρίου έγινε ακόμα μία έρευνα (Papazachos et al., 2000), σύμφωνα με την οποία έγινε μελέτη της σεισμικής ακολουθίας που σημειώθηκε κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης στις 21 Ιουνίου του 1999 με μέγεθος μεγαλύτερου σεισμού M=3.7. Η κατανομή των εστιών των σεισμών της σεισμικής ακολουθίας έδειξε ότι η δραστηριότητα αυτή συνδέεται με ρήγμα, το οποίο βυθίζεται κάτω από τη Θεσσαλονίκη, στα 1-7 km και έχει πλάτος ~3km.

<u>2. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ</u> ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οπως αναφέρθηκε στο 1° κεφάλαιο η Θεσσαλονίκη στο παρελθόν επλήγει από πολλούς σεισμούς, οι οποίοι προκάλεσαν μεγάλες καταστροφές και αφαίρεσαν πολλές ανθρώπινες ζωές. Μερικοί από τους μεγαλύτερους σεισμούς ήταν αυτός της Θεσσαλονίκης το 1759, με μέγεθος M=6.5, της Ασσήρου το 1902 (M=6.6), της Ιερισσού με μέγεθος M=7.0 και το 1978 της Θεσσαλονίκης με μέγεθος M=6.5. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η μελέτη της σεισμικότητας της Θεσσαλονίκης και της ευρύτερης περιοχής της. Από το 1981 που άρχισε η λειτουργία του τηλεμετρικού σεισμολογικού δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. (Σκορδύλης, 1985), έγινε δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός των παραμέτρων των εστιών των σεισμικών δονήσεων τόσο για την Θεσσαλονίκη όσο και για την περιοχή της Σερβομακεδονικής μάζας. Από τη χρήση των δεδομένων αυτών διαπιστώθηκε ότι υπάρχει έντονη σεισμική δράση στο χώρο αυτό ο οποίος απελευθερώνει σεισμική ενέργεια κατά χρονικά διαστήματα υπό μορφή μεγάλων σχετικά σεισμών (Βαμβακάρης, 2001).

Για όλους τους παραπάνω λόγους και επειδή ο χώρος γύρω από τη Μυγδονία λεκάνη αποτελεί πηγή σεισμικού κινδύνου για ολόκληρη την περιοχή, έχουν γίνει πειράματα (Σκορδύλης, 1985, Hatzfeld et al., 1986/87, Hatzidimitriou et al., 1991), στα οποία χρησιμοποιήθηκαν δίκτυα φορητών σεισμογράφων. Έτσι ήταν δυνατή η καταγραφή σεισμών για ορισμένο χρονικό διάστημα. Οι σεισμοί που καταγράφονταν από τα δίκτυα χρησιμοποιούνταν για εξεργασία οπότε έβγαιναν συμπεράσματα που αφορούσαν την υπό μελέτη περιοχή.

Τον Ιούλιο του 2001, εγκαταστάθηκε στην Θεσσαλονίκη και σε περιοχές γύρω από αυτή δίκτυο, με σκοπό τη μικροσεισμική μελέτη της περιοχής αυτής. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ψηφιακά και επομένως μεγάλης ακρίβειας, για να δώσουν αποτελέσματα όσο το δυνατόν καλύτερα.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αρχικά μία περιγραφή του πειράματος και της συλλογής των δεδομένων. Κατόπιν υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι των σεισμών, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δομής ταχυτήτων φλοιού και

19

χαρτογραφήθηκαν τα επίκεντρα των σεισμών που καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο.

2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη μικροσεισμικής δραστηριότητας της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε πυκνό δίκτυο φορητών σεισμογράφων, του Εργαστήριου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ και εγκαταστάθηκαν και λειτούργησαν στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Οι θέσεις οι οποίοι επιλέχθηκαν για την εγκατάσταση των σταθμών του δικτύου ήταν μακριά από πολυσύχναστους δρόμους και σε περιοχές που ήταν δυνατή η πρόσβαση και επίσης ήταν προστατευμένες και απαλλαγμένες από θόρυβο, όπως π.χ. εκκλησίες, παλιά εργοστάσια, γηροκομεία, κ.λ.π.

Οι τύποι των σεισμογράφων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Reftek 72A. Το Reftek 72A αποτελείται από 24-bits DAS (data acquisition system). To DAS αποτελεί την κύρια μονάδα των φορητών σεισμογράφων και εμπεριέχει ή εσωτερικό δίσκο με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 2 GB ή εξωτερικό σκληρό δίσκο με χωρητικότητα λίγο μεγαλύτερη από 4 GB. Ο τύπος αυτού του καταγραφικού που χρησιμοποιήθηκε είναι ψηφιακός και έχει τη δυνατότητα να γράφει με βήμα δειγματοληψίας 50 σημεία ανά δευτερόλεπτο (50 samples per seconds) για 30 συνεχόμενες μέρες εάν δεν εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα. Επίσης ο σταθμός περιλαμβάνει ένα σεισμόμετρο το οποίο είναι είτε βραχείας περιόδου είτε σεισμόμετρο ευρέου φάσματος. Στην περίπτωση του πειράματος της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκαν σεισμόμετρα Guralp (σχ. 2.2), τριών συνιστωσών (Α-Δ, Β-Ν και κατακόρυφη συνιστώσα) και μεγάλου εύρους συχνοτήτων (broadband). Το σεισμόμετρο έπρεπε να μην επηρεάζεται από τυχόν θορύβους και να παραμένει σταθερό, γι' αυτό το λόγο τοποθετήθηκε σε στερεό έδαφος μακριά από κάθε είδους θόρυβο ή θάβονταν μέσα στο έδαφος. Ο χρόνος ελέγχονταν σε όλους τους σταθμούς με δέκτη GPS ο οποίος ήταν μόνιμα συνδεδεμένος με το καταγραφικό. Στο παρακάτω σχήμα 2.1 δίνεται μία εικόνα του οργάνου Reftek 72Α που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πείραμα. Η φωτογραφία έχει τραβηχτεί κατά τη διάρκεια δοκιμασίας των οργάνων στον Σεισμολογικό Σταθμό του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., για την χρησιμοποίησή τους στο πείραμα. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται όλα τα όργανα συνδεδεμένα μεταξύ τους έτσι όπως τοποθετήθηκαν σε διάφορες περιοχές της ευρύτερης περιοχής της

Θεσσαλονίκης για την καταγραφή σεισμών. Με τον αριθμό 1 απεικονίζεται η πηγή ενέργειας των οργάνων (μπαταρία), με τους αριθμούς 2 και 3 απεικονίζονται ο σκληρός δίσκος και το DAS και με τον αριθμό 4 απεικονίζεται το σεισμόμετρο Guralp.



Σχήμα 2.1. Όργανο Reftek 72A, που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή σεισμών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 2.2. Σεισμόμετρο Guralp, τριών συνιστωσών (Α-Δ, Β-Ν και κατακόρυφη συνιστώσα) και μεγάλου εύρους συχνοτήτων. Τα σεισμόμετρα αυτά τοποθετήθηκαν σε διάφορες περιοχές κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης για την καταγραφή σεισμών.



Σχήμα 2.3. Όργανα καταγραφής σεισμών. 1. Μπαταρία 2. Σκληρός δίσκος 3. DAS 4. Σεισμόμετρο Guralp.

Το δίκτυο που τοποθετήθηκε λειτούργησε από τις 12 Ιουλίου 2001 έως και τις 25 Απριλίου 2002. Τα δεδομένα από τους σταθμούς συλλέγονταν σχεδόν κάθε μήνα. Κατά τη συλλογή των δεδομένων γινόταν αντικατάσταση του σκληρού δίσκου με καινούριο έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων. Στο σχήμα 2.4 φαίνονται οι θέσεις των σταθμών και στον πίνακα 2.1 δίνονται αναλυτικότερες πληροφορίες για την κωδική ονομασία του σταθμού (πρώτη στήλη), το κωδικό όνομα του σεισμομέτρου που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε σταθμό (δεύτερη στήλη), την ονομασία της περιοχής που τοποθετήθηκαν οι σταθμοί (τρίτη στήλη), και το υψόμετρο στο οποίο τοποθετήθηκε ο σταθμός (έκτη στήλη).

Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σταθμών υπολογίσθηκαν με τη βοήθεια προγράμματος σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Το DAS περιέχει εσωτερικό GPS το οποίο καταγράφει σε διάφορες χρονικές στιγμές τις συντεταγμένες και το υψόμετρο ενός σταθμού. Επομένως υπολογίστηκε ένας μέσος όρος αυτών για κάθε σταθμό οπότε επιτυγχάνεται ένας πιο ακριβής και λεπτομερέστερος προσδιορισμός τους. Στα παρακάτω σχήματα 2.5 έως 2.14, δίνονται οι μέσοι όροι των υψομέτρων και των συντεταγμένων για κάθε σταθμό έτσι όπως υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα. Οι συντεταγμένες δίνονται σε δευτερόλεπτα και κατόπιν γίνεται η μετατροπή τους σε μοίρες οπότε προκύπτουν τα αποτελέσματα που αναγράφονται στον παραπάνω πίνακα 2.1.

Κωδικός σταθμού	Κωδικός σεισμομέτρου	Θέση σταθμού	φ° (N)	λ° (E)	Υψόμετρο (m)
GAGV	7915	Άγιος Βασίλειος	40.651	23.100	215.2
GDEP	7914	Δ.Ε.Π.Α.	40.742	22.780	96.8
GLAG	7906	Λαγυνά	40.730	23.010	154.6
GPLA	7904	Πλαγιάρι	40.463	22.943	200
GAGE	7733	Αγγελοχώρι	40.501	22.832	96.91
GARS	7786	Αρσάκειο	40.605	23.021	230.3
GTHE	7646	Θεσσαλονίκη	40.633	22.964	121.7
GTRI	7907	Τριάδι	40.552	23.068	221.9
GKLH	7905	Κολχικό	40.751	23.135	201.1
GMLG	7905	Μάλγαρα	40.612	22.689	50.8

Πίνακας 2.1. Στοιχεία του δικτύου που εγκαταστάθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2.1 το δίκτυο αποτελείται από δέκα σταθμούς. Ο σταθμός που τοποθετήθηκε στα Μάλγαρα λειτούργησε κατά την περίοδο Ιουλίου έως μέσα Μαρτίου. Κατόπιν τοποθετήθηκε στην περιοχή Κολχικό όπου λειτούργησε από μέσα Μαρτίου μέχρι τέλη Απριλίου.



Σχήμα 2.4. Οι θέσεις των σταθμών του δικτύου φορητών σεισμογράφων, που τοποθετήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 2.5. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στη Θεσσαλονίκη.

Σχήμα 2.6. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στο Πλαγιάρι.



Σχήμα 2.7. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στα Λαγυ

Σχήμα 2.8. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στο Αγγελοχώρι



Σχήμα 2.9. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στο Αρσάκειο.

Σχήμα 2.10. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στα Μάλγαρα.



Σχήμα 2.11. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στο Κολχικό.

Σχήμα 2.12. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στο Τριάδι.



Σχήμα 2.13. Συντεταγμένες και υψόμετρο του σταθμού που βρίσκεται στη Δ.Ε.Π.Α.





2.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του δικτύου καταγράφηκε ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη μορφή αρχείων. Για την εργασία αυτή επιλέχθηκαν εκείνες οι σεισμικές καταγραφές από όλους τους διαθέσιμους σταθμούς που σημειώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, για το χρονικό διάστημα 12 Ιουλίου 2001 έως 25 Απριλίου 2002, δηλαδή στην περιοχή με συντεταγμένες 40.41° N-41°N και 22.66°E-23.25°E. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα σεισμογράμματα από το μόνιμο δίκτυο του σεισμολογικού σταθμού του Α.Π.Θ. Συγκεκριμένα από τα σεισμογράμματα αυτά σημειώθηκαν οι χρόνοι, τα πλάτη και οι διάρκειες των σεισμών που καταγράφηκαν το παραπάνω χρονικό διάστημα από το σταθμό της Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν αργότερα στο να γίνει ευκολότερη η εύρεση των σεισμών από τις κυματομορφές που συλλέχθηκαν από το τοπικό δίκτυο.

Τα αρχεία τα οποία τελικά συγκεντρώθηκαν ήταν σε ψηφιακή μορφή (segy format) και έδιναν πληροφορίες για την ημερομηνία και το χρόνο καταγραφής των γεγονότων καθώς και για το σεισμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε σταθμό. Οι καταγραφές παρουσιάζονται σε διαδοχικά αρχεία διάρκειας 10 λεπτών. Με τη βοήθεια του προγράμματος pql (PASSCAL quick look) έγινε μετατροπή των ψηφιακών αρχείων σε κυματομορφές. Με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού έγινε ο προσδιορισμός των χρόνων άφιξης των επιμήκων, όσο και των εγκαρσίων κυμάτων. Επίσης μετρήθηκε και η διάρκεια των κυματομορφών. Κατόπιν δημιουργήθηκε ένα αρχείο το οποίο περιείχε τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων καθώς και τις διάρκειες των σεισμών. Το αρχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε αργότερα για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών.

Το σύνολο των σεισμών που μετρήθηκαν ήταν 298. Λόγω του ότι οι κυματομορφές κάποιων από τους σεισμούς αυτούς δεν ήταν ευδιάκριτες και επίσης επειδή κάποιοι σεισμοί είχαν γραφεί μόνο από δύο σταθμούς, μερικοί σεισμοί απορρίφθηκαν οπότε ο αριθμός των σεισμών μειώθηκε στους 172. Δηλαδή οι σεισμοί που τελικά χρησιμοποιήθηκαν είχαν καταγραφεί από τουλάχιστον τρεις σταθμούς. Ανάμεσα σ' αυτούς τους σεισμούς συγκαταλέγεται και η σεισμική ακολουθία που συνέβη στην περιοχή της Θεσσαλονίκης στις 8 Οκτωβρίου του 2001 με μέγεθος κύριου σεισμού M_w=4.5.

30

2.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΣΤΙΑΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

2.4.1. Προσδιορισμός μονοδιάστατου μοντέλου ταχύτητας

Αρχικά έγινε προσπάθεια υπολογισμού των εστιακών συντεταγμένων εκείνων των σεισμών οι οποίοι καταγράφηκαν από τουλάχιστον εφτά σταθμούς του φορητού δικτύου και των οποίων ήταν σαφείς οι αφίξεις των P και S κυμάτων. Ο αριθμός των σεισμών αυτών ήταν 18. Για τον υπολογισμό των επικέντρων των σεισμών ήταν απαραίτητη η χρησιμοποίηση ενός μοντέλου δομής ταχυτήτων του φλοιού το οποίο αφορά την περιοχή όπου έχουν εγκατασταθεί οι σταθμοί και η οποία αποτελείται μόνο από γρανιτικό και βασαλτικό στρώμα.

Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης έγιναν πολλές μελέτες οι οποίες αφορούσαν τον καθορισμό ενός μοντέλου δομής ταχυτήτων του φλοιού της περιοχής αυτής. Ένα από τα μοντέλα δομής είναι αυτό που έγινε για την περιοχή του Ασβεστοχωρίου (C. Papazachos et al., 2000). Στις 29 Ιουνίου 1999, ένας αριθμός από μικρού μεγέθους σεισμούς έγινε στην περιοχή Ασβεστοχωρίου, κοντά στην πόλη της Θεσσαλονίκης, με μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού M_w =3.7. Για τον ακριβή υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών της σεισμικής ακολουθίας υπολογίστηκε ένα μοντέλο δομής ταχυτήτων του φλοιού. Η τιμή της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων στα οριζόντια στρώματα και στον ημιχώρο καθώς και τα αντίστοιχα βάθη δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων	Βάθος (km)
(km/sec)	
5.26	-1
5.29	0
5.36	1
5.76	2
5.79	3
6.16	4
6.23	6
6.27	8

Πίνακας 2.2. Τιμές της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων και τα αντίστοιχα βάθη των στρωμάτων (Papazachos et al., 2000).

Ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων	Βάθος (km)
(km/sec)	
6.30	10
6.30	12
6.30	16
6.42	20

(συνέχεια Πίνακα 2.2.)

Οι Hatzfeld et al. (1987), τοποθέτησαν δίκτυο στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης. Καταγράφηκαν 254 σεισμοί κατά τη χρονική περίοδο Μαρτίου και Απριλίου 1984. Για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών προτάθηκε ένα μοντέλο πολλαπλών στρωμάτων με σκοπό την εξομοίωση της μεταβολής της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων του φλοιού. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από 10 στρώματα πάχους 1 km το κάθε ένα τα οποία βρίσκονται πάνω από τον ημιχώρο. Οι ταχύτητες των επιμήκων κυμάτων καθώς και τα αντίστοιχα βάθη των στρωμάτων του φλοιού δίνονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3. Τιμές των επιμήκων κυμάτων και των βαθών των στρωμάτων στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης σύμφωνα με τους Hatzfeld et al. (1987).

Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων	Βάθος (km)
(km/sec)	
4.00	0.0
5.70	2.0
5.75	3.0
5.80	4.0
5.85	5.0
5.90	6.0
5.95	7.0
6.00	8.0
6.05	9.0
6.10	10.0
7.90	32.0
Χρησιμοποιώντας τα δύο παραπάνω μοντέλα (C. Papazachos et al., 2000 και Hatzfeld, 1987) έγινε ένας αρχικός προσδιορισμός της δομής του φλοιού της υπό μελέτης περιοχής. Με τη βοήθεια του προγράμματος HYPO71 (Lee and Lahr, 1975) υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι του κάθε σεισμού. Το πρόγραμμα HYPO71 δέχεται, στο αρχείο εισόδου, τους σταθμούς μαζί με τις γεωγραφικές συντεταγμένες τους, το υψόμετρό τους, το μοντέλο ταχυτήτων, την πρώτη απόκλιση του επιμήκους κύματος, τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων του κάθε σεισμού καθώς και τη διάρκεια του σεισμού σε κάθε σταθμό. Γίνεται η παραδοχή ότι η Γη είναι επίπεδη και ομογενής γεγονός που δεν επηρεάζει την ποιότητα των λύσεων εφόσον το δίκτυο που εγκαταστάθηκε είναι τοπικό. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τους επιλεγμένους 18 σεισμούς με την εφαρμογή του προγράμματος ΗΥΡΟ71 υπολογίσθηκαν οι εστιακές παράμετροι των σεισμών (χρόνος γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες επικέντρων και βάθος εστίας). Για τον υπολογισμό των παραμέτρων αυτών χρησιμοποιήθηκαν ως μέτρα των σφαλμάτων το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στο χρόνο (RMS σε sec), το σφάλμα στον υπολογισμό του επικέντρου (ERH σε km) και το σφάλμα στον υπολογισμό του εστιακού βάθους (ERZ σε km), τα οποία υπολογίζονται για κάθε σεισμό από το πρόγραμμα. Ως πιο αξιόπιστη λύση για τις παραμέτρους των σεισμών θεωρήθηκε αυτή που ελαχιστοποιούσε την αντίστοιχη τιμή των μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων του χρόνου (RMS), του εστιακού βάθους (ERZ) και του επικέντρου (ERH).

Στον Πίνακα 2.4 δίνονται πληροφορίες για τις εστιακές παραμέτρους των σεισμών αυτών. Τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν εφαρμόζοντας το μοντέλο ταχυτήτων τωνC. Papazachos et al., (2000). Στην πρώτη στήλη δίνεται η ημερομηνία γένεσης του σεισμού, στη δεύτερη ο χρόνος γένεσης του σεισμού, στην τρίτη και τέταρτη στήλη δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου, στην πέμπτη το εστιακό βάθος και στις επόμενες τρεις στήλες τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα του χρόνου διαδρομής (RMS), του εστιακού βάθους (ERZ) και του επικέντρου (ERH), αντίστοιχα.

Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεωγρ συντετα φ	αφικές χγμένες λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
2001	22-Ιουλ	15:21:15	40.749	22.740	13.78	0.12	1.1	1.5
2001	10-Αυγ	21:49:39	40.687	23.374	8.84	0.24	2.5	3.8
2001	28-Αυγ	23:58:30	40.897	22.861	10.67	0.28	2.5	3.7
2001	3-Σεπ	10:04:16	40.680	23.076	7.59	0.31	1.8	1.9
2001	15-Σεπ	17:47:13	40.824	23.008	7.55	0.27	1.9	2.8
2001	8-Окт	04:50:21	40.602	23.106	9.98	0.25	1.5	1.5
2001	8-Окт	04:51:45	40.594	23.120	9.81	0.21	1.3	1.2
2001	8-Окт	05:26:45	40.600	23.102	9.89	0.26	1.6	1.5
2001	8-Окт	05:32:16	40.595	23.119	9.91	0.25	1.9	1.6
2001	8-Окт	06:55:29	40.605	23.103	9.51	0.21	1.2	1.3
2001	8-Окт	08:00:25	40.596	23.118	9.73	0.24	1.9	1.5
2002	7-Μαρ	08:08:13	40.755	22.752	16.74	0.24	2.7	2.9
2002	18-Μαρ	10:42:02	40.606	23.005	9.44	0.14	1.1	0.7
2002	6-Απρ	20:31:29	40.608	23.089	8.70	0.20	1.2	1.1
2002	13-Απρ	08:10:42	40.705	23.113	7.78	0.17	2.2	1.0
2002	13-Απρ	13:52:41	40.705	23.110	7.64	0.21	1.3	1.3
2002	13-Απρ	17:46:06	40.696	23.119	8.74	0.15	1.1	0.6
2002	13-Απρ	21:06:01	40.702	23.109	7.26	0.24	1.0	1.2

Πίνακας 2.4. Πληροφορίες των εστιακών παραμέτρων της επιλεγμένης ομάδας σεισμών όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο των Papazachos et al. 1998.

Στο σχήμα 2.16 φαίνονται τα ιστογράμματα των RMS, ERH, ERZ καθώς και ο μέσος όρος για κάθε ένα από αυτά. Όπως παρατηρείται από το σχήμα 2.16, ο μέσος όρος για το τετραγωνικό σφάλμα του χρόνου (RMS) είναι 0.22 sec, το μέσο σφάλμα του επικέντρου (ERH) είναι 1.66 km και το μέσο σφάλμα του εστιακού βάθους είναι 1.73 (ERZ).

Στη συνέχεια ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί και το δεύτερο μοντέλο δομής ταχυτήτων του φλοιού των *Hatzfeld et al. (1987)* (Πίνακας 2.3), για τον ίδιους σεισμούς. Με τη βοήθεια του προγράμματος HYPO71 και με δεδομένα της ομάδας των 18 σεισμών, υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι των σεισμών αυτών. Τα αποτελέσματα του πίνακα 2.5 αποτελούν τις εστιακές παραμέτρους των σεισμών αυτών σύμφωνα με το μοντέλο των Hatzfeld et al.

Τα ιστογράμματα και οι μέσες τιμές των τετραγωνικών σφαλμάτων δίνονται στο σχήμα 2.17. Όπως παρατηρείται η τιμή για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του χρόνου (RMS) είναι 0.22 sec, για το μέσο σφάλμα του επικέντρου (ERH) είναι 1.4 km και για το μέσο σφάλμα του εστιακού βάθους (ERZ) είναι 1.62 km.



Σχήμα 2.16. Ιστογράμματα των μέσων τιμών των σφαλμάτων όπως προέκυψαν από το τρέζιμο των δεδομένων, χρησιμοποιώντας το μοντέλο ταχυτήτων του πίνακα 2. 2.

Πίνακας 2.5. Εστιακές παράμετροι της επιλεγμένης ομάδας σεισμών που υπολογίστηκαν εφαρμόζοντας το μοντέλο του Hatzfeld (1987).

Έτος	Ημερομηνία	Γεωγραφικές ^{Χρόνος} συντεταγμένες ^{γένεσης} φ ° (Ν) λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS ERH (sec) (km)	ERZ (km)
2001	22-Ιουλ	15:21:15 40.738 22.754	14.28	0,19 0,9	1,2
2001	10-Αυγ	21:49:39 40.684 22.342	7.0	0.22 2.02	3.0
2001	28-Αυγ	23:58:30 40.875 22.865	12.69	0.26 2.3	3.0
2001	3-Σεπ	10:04:16 40.675 23.065	8.07	0.30 2.3	2.0
2001	15-Σεπ	17:47:13 40.806 22.999	9.44	0.26 1.7	2.5

Έτος	Ημερομηνία	Τεωγραφικές Χρόνος συντεταγμένες ^{γένεσης} φ ° (N) λ ° (E)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
2001	8-Окт	04:50:21 40.603 23.091	10.43	0.23	1.3	1.3
2001	8-Окт	04:51:45 40.596 23.102	10.29	0.22	1.0	1.0
2001	8-Окт	05:26:44 40.601 23.088	10.37	0.25	1.4	1.4
2001	8-Окт	05:32:16 40.596 23.104	10.31	0.22	1.4	1.3
2001	8-Окт	06:55:29 40.606 23.088	9.99	0.19	1.0	1.1
2001	8-Окт	08:00:25 40.597 23.103	10.2	0.21	1.4	1.2
2002	7-Μαρ	08:08:13 40.740 22.765	16.85	0.21	2.2	2.4
2002	18-Μαρ	10:42:02 40.610 23.005	10.1	0.22	0.6	1.2
2002	6-Απρ	20:31:29 40.613 23.079	9.79	0.21	1.5	1.5
2002	13-Απρ	08:10:41 40.702 23.109	8.78	0.21	0.8	0.8
2002	13-Απρ	13:52:41 40.706 23.101	8.44	0.20	1.1	1.2
2002	13-Απρ	17:46:06 40.696 23.113	9.59	0.20	0.5	1.0
2002	13-Απρ	21:06:01 40.703 23.101	7.96	0.25	1.5	2.0



Σχήμα 2.17. Διαγράμματα των μέσων τιμών των σφαλμάτων που προέκυψαν με την εφαρμογή στα δεδομένα του μοντέλου ταχυτήτων που δίνεται στον πίνακα 2.3 (Hatzfeld et al. 1987).

Αφού έγιναν υπολογισμοί των σφαλμάτων χρησιμοποιώντας τα δύο μοντέλα ταχυτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, έγινε προσπάθεια για τον προσδιορισμό ενός μονοδιάστατου μοντέλου δομής φλοιού στην υπό μελέτη περιοχή. Για τον προσδιορισμό του νέου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το ίδιο δείγμα δεδομένων, δηλαδή, οι 18 επιλεγμένοι σεισμοί. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της ελαχιστοποίησης του μέσου σφάλματος RMS (Root Mean Square) των χρόνων διαδρομής για κάθε στρώμα (Crosson, 1976). Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται το μοντέλο που ερμηνεύει με τον καλύτερο τρόπο τα δεδομένα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Αρχικά θεωρήθηκε ημιχώρος, δηλαδή ένας χώρος χωρίς ασυνέχειες, μεταξύ της επιφάνειας της Γης και της ασυνέχειας Moho. Στον ημιχώρο αυτό μεταβάλλεται η τιμή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων vg και υπολογίζονται τα αντίστοιχα σφάλματα RMS (Καβύρης, 2003). Στη συνέχεια τα ζεύγη των τιμών RMS – v_g απεικονίζονται σε γραφική παράσταση και από την καμπύλη που προκύπτει επιλέγεται η ταχύτητα με το ελάχιστο RMS. Οι τιμές των ταχυτήτων κυμαίνονταν από 4 km/sec έως 6 km/sec. Παρατηρήθηκε ότι η ελάχιστη τιμή του σφάλματος RMS (0.22 sec) αντιστοιχεί στην τιμή 4.8 km/sec (σχ. 2.18α), η οποία και θεωρήθηκε ως μέση ταχύτητα του ημιχώρου. Στη συνέχεια θεωρήθηκε η ταχύτητα αυτή σταθερή και έγιναν δοκιμές για να βρεθεί ένα στρώμα πάνω από τον ημιχώρο. Μεταβάλλεται η τιμή της ταχύτητας του στρώματος από 4.9 km/sec έως 7 km/sec. Επίσης αυξάνεται το βάθος με βήμα ίσο με 1 km, μέχρι τα 8 km. Ελαχιστοποίηση του RMS παρατηρείται στα 6km με τιμή ταχύτητας ίση με 5.2 km/sec (σχ. 2.18β). Κατόπιν έγιναν δοκιμές για μείωση της ταχύτητας του ημιχώρου. Δηλαδή παραμένει σταθερό το βάθος του πρώτου στρώματος και η ταχύτητα του δεύτερου στρώματος και μεταβάλλεται η ταχύτητα του πρώτου στρώματος από 4 km/sec έως 5.1 km/sec. Ελαχιστοποίηση του RMS παρατηρήθηκε στα 6 km με ταχύτητα πάνω στρώματος 4.2 km/sec (σχ. 2.18γ). Για το τρίτο στρώμα η ταχύτητα που παρουσίασε το μικρότερο σφάλμα είχε τιμή 6.3 km/sec σε βάθος 9 km (σχ. 2.18δ). Από τα 9 km και πάνω (σχ. 2.18ε) παρατηρήθηκε μία απότομη αύξηση της ταχύτητας (7.3 km/sec με βάθος τρίτου στρώματος 10 km), που έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενα μοντέλα δομής ταχυτήτων που προτάθηκαν για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (Σκορδύλης 1984; Παναγιωτόπουλος 1984; Hatzfeld et al. 1986/87; Papazachos and Nolet, 1997; Papazachos et al., 1998; Papazachos, 1998; Papazachos et al., 2000).

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή μελέτης, είναι ένα τροποποιημένο μοντέλο των Papazachos et al., 2000 και δίνεται στον παρακάτω πίνακα 2.6. Στο μοντέλο αυτό προστέθηκε επιφανειακό στρώμα πάχους 1 km και μικρής ταχύτητας (4 km/sec) το οποίο έδωσε τις καλύτερες λύσεις με τα μικρότερα σφάλματα των RMS, ERH και ERZ.

Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο και έχοντας το αρχείο που περιέχει τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων καθώς και τις διάρκειες των σεισμών, με τη βοήθεια του προγράμματος ΗΥΡΟ71 υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι των 18 σεισμών οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 2.7.



Σχήμα 2.18. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε συνάρτηση με διάφορες τιμές των ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό ενός μονοδιάστατου μοντέλου δομής των ταχυτήτων για την περιοχή μελέτης.

Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων (km/sec)	Βάθος (km)
4.00	0.00
5.29	1.00
5.36	1.50
5.76	2.00
5.79	3.00
6.16	4.00
6.23	6.00
6.27	8.00
6.30	10.00
6.42	20.00

Πίνακας 2.6. Τελικό μοντέλο δομής του φλοιού της περιοχής που μελετήθηκε.

Πίνακας 2.7. Πληροφορίες σχετικά με τους σεισμούς για τους οποίους υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι με την εφαρμογή του μοντέλου του πίνακα 2.6.

Έτος	Ημερομηνία	Γ Χρόνος σ γένεσης φ	Γεωγρ συντετα φ ° (Ν)	αφικές αγμένες λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
2001	22-Ιουλ	15:21:15 4	0.749	22.741	14.60	0.13	0.8	1.5
2001	10-Αυγ	21:49:39 4	0.687	23.375	9.10	0.24	2.0	3.9
2001	28-Αυγ	23:58:30 4	0.898	22.862	11.22	0.28	1.8	1.9
2001	3-Σεπ	10:04:16 4	0.680	23.075	8.28	0.31	1.4	1.9
2001	15-Σεπ	17:47:13 4	0.824	23.009	8.52	0.27	1.9	2.8
2001	8-Окт	04:50:21 4	0.602	23.104	10.70	0.24	1.5	1.4
2001	8-Окт	04:51:45 4	0.594	23.119	10.54	0.20	0.9	1.2
2001	8-Окт	05:26:44 4	0.599	23.102	10.64	0.26	1.6	1.6
2001	8-Окт	05:32:16 4	0.595	23.117	10.63	0.25	1.8	1.5
2001	8-Окт	06:55:29 4	0.604	23.101	10.23	0.20	1.2	1.2
2001	8-Окт	08:00:25 4	0.596	23.117	10.48	0.24	1.4	1.5
2002	7-Μαρ	08:08:13 4	0.755	22.753	17.60	0.13	1.9	2.9
2002	18-Μαρ	10:42:02 4	0.606	23.005	10.25	0.13	0.8	0.7
2002	6-Απρ	20:31:29 4	0.609	23.088	9.59	0.20	1.2	1.2
2002	13-Απρ	08:10:42 4	0.705	23.113	8.49	0.17	1.0	1.0
2002	13-Απρ	13:52:41 4	0.705	23.109	8.34	0.21	1.2	1.4
2002	13-Απρ	17:46:06 4	0.696	23.118	9.52	0.09	0.7	0.6
2002	13-Απρ	21:06:01 4	0.702	23.109	7.97	0.20	1.1	1.3

Στο σχήμα 2.19 δίνονται οι μέσες τιμές των σφαλμάτων των RMS, ERH και ERZ τα οποία προκύπτουν από τα δεδομένα του πίνακα 2.7. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε έδωσε για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) τιμή 0.21, για το ERZ μέση τιμή 1.34 και για το σφάλμα στο επίκεντρο μέση τιμή 1.53.



Σχήμα 2.19. Ιστογράμματα τα οποία δείχνουν τις μέσες τιμές των σφαλμάτων για τα RMS (a), ERH (b) και ERZ (c). Οι μέσες αυτές τιμές προέκυψαν εφαρμόζοντας το μοντέλο που δίνεται στον πίνακα 2. 6 στα δεδομένα της επιλεγμένης ομάδας σεισμών.

Στον πίνακα 2.8 γίνεται σύγκριση των μέσων όρων των σφαλμάτων των τριών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν. Στην πρώτη στήλη δίνονται οι μέσοι όροι των σφαλμάτων που προέκυψαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο των Papazachos et al. (2000), η δεύτερη αναφέρεται στους μέσους όρους σφαλμάτων που προέκυψαν από

το μοντέλο των Hatzfeld et al., (1987) και η τρίτη στήλη περιλαμβάνει τα σφάλματα που προκύπτουν από το μοντέλο που προτείνεται στην παρούσα εργασία. Παρατηρείται ότι τα χαμηλότερα σφάλματα εμφανίζονται στο προτεινόμενο μοντέλο και για το λόγο αυτό θεωρήθηκε το πλέον κατάλληλο για την παρεταίρω επεξεργασία των δεδομένων.

Πίνακας 2.8. Σύγκριση των τριών μοντέλων των Papazachos et al., Hatzfeld et al., και του μοντέλου που προτείνεται στην παρούσα εργασία. Διακρίνονται τα τρία είδη των μέσων σφαλμάτων RMS. ERH και ERZ.

	Papazachos et al.,	Hatzfeld et al., 1987	Προτεινόμενο
	2000		Μοντέλο
RMS	0.22	0.22	0.21
ERH	1.66	1.40	1.34
ERZ	1.73	1.62	1.53

Στο σχήμα 2.20 φαίνονται τα επίκεντρα των 18 σεισμών όπως αυτά υπολογίσθηκαν και για τα τρία προαναφερθέντα μοντέλα. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα επίκεντρα των σεισμών σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο, με πράσινο χρώμα τα επίκεντρα των σεισμών που προκύπτουν από το μοντέλο των Hatzfeld et al., (1987) και με μπλε χρώμα επίκεντρα των σεισμών σύμφωνα με το μοντέλο των μοντέλο των Ραραzachos et al., (2000).

2.4.2. Υπολογισμός χρονικών υπολοίπων των σταθμών

Για τον καλύτερο υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων χρειάστηκε να γίνουν οι διορθώσεις στους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα αυτό. Για κάθε σεισμό και κάθε σταθμό υπολογίζεται ο θεωρητικός χρόνος διαδρομής του σεισμικού κύματος. δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται το σεισμικό κύμα να διατρέξει τη διαδρομή από την εστία του σεισμού μέχρι το σταθμό. Ενώ ως πειραματικός χρόνος διαδρομής του σεισμικού κύματος ενός σεισμού σ' έναν σταθμό είναι η διαφορά του χρόνου γένεσης του σεισμού από το χρόνο άφιξης του σεισμικού αυτού κύματος στο σταθμό. Έτσι ορίζεται ως χρονικό υπόλοιπο (time residual), η διαφορά του θεωρητικού χρόνου από τον πειραματικό χρόνο διαδρομής του σεισμικού κύματος στο σταθμό για το συγκεκριμένο σεισμό. Οι τιμές των χρονικών υπολοίπων στο σταθμό χρειάζεται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες κατά απόλυτη τιμή, γιατί τότε το θεωρητικό μοντέλο πλησιάζει περισσότερο την πραγματική δομή του φλοιού κάτω από το σταθμό αυτό.



Σχήμα 2.20. Χάρτης επικέντρων των 18 σεισμών όπως υπολογίστηκαν από τα τρία μοντέλα των Papazachos et al., (2000), των Hatzfeld at al., (1987) και από το προτεινόμενο μοντέλο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα επίκεντρα των σεισμών σύμφωνα με το προτεινόμενο μοντέλο, με πράσινο χρώμα τα επίκεντρα των σεισμών που προκύπτουν από το μοντέλο των Hatzfeld et al., (1987) και με μπλε χρώμα επίκεντρα των σεισμών σύμφωνα με το μοντέλο των Papazachos et al., (2000).

Τα χρονικά υπόλοιπα παίρνουν θετικές και αρνητικές τιμές. Η φυσική σημασία των τιμών αυτών είναι ότι τα σεισμικά κύματα διαδίδονται γρηγορότερα από ότι προβλέπεται με βάση το θεωρητικό μοντέλο (αρνητικές τιμές χρονικών υπολοίπων), ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν τα χρονικά υπόλοιπα είναι θετικά.

Υπολογίστηκαν τα μέσα χρονικά υπόλοιπα κάθε σταθμού του τοπικού δικτύου για την επιλεγμένη ομάδα σεισμών. Αφού έγινε αποδεκτό το μοντέλο που εφαρμόστηκε, τα μέσα χρονικά υπόλοιπα χρησιμοποιήθηκαν ως διορθώσεις στους σεισμολογικούς σταθμούς. Έγιναν διαδοχικές διορθώσεις έως ότου το μέσο σφάλμα των χρονικών υπολοίπων σε όλους τους σταθμούς ήταν μικρότερο του 0.03 sec. Οι τιμές αυτές προέκυψαν από το αλγεβρικό άθροισμα των μέσων χρονικών υπολοίπων που υπάρχουν στα δεδομένα εξόδου του προγράμματος HYPO71. Στον παρακάτω Πίνακα 2.9 δίνονται οι μέσες τιμές των χρονικών υπολοίπων κάθε σταθμού. Στην πρώτη στήλη δίνεται η κωδική ονομασία του σταθμού, στη δεύτερη και τρίτη στήλη οι γεωγραφικές συντεταγμένες του και στην τέταρτη στήλη δίνονται οι τιμές των μέσων χρονικών υπολοίπων για κάθε σταθμό. Στο σχήμα 2.21 δίνεται η συχνότητα εμφάνισης των χρονικών υπολοίπων σε κάθε σταθμό. Συγκεκριμένα στον οριζόντιο άζονα δίνεται το κωδικό όνομα του σταθμού έτσι όπως ορίστηκε στον πίνακα 2.1. Επίσης τα ιστογράμματα αυτά έγιναν μόνο για τους 6 από τους 10 σταθμούς διότι για τους σταθμούς Κολχικό, Λαγυνά, Αρσάκειο και Μάλγαρα οι τιμές των χρονικών υπολοίπων ήταν λίγες οπότε δεν μπορούσε να γίνει το ιστόγραμμά τους.

Οι διορθώσεις των σταθμών εισήχθησαν στο αρχείο που περιέχει τους σταθμούς του δικτύου, τους χρόνους άφιξης των P και S κυμάτων και τη διάρκεια του κάθε σεισμού. Στο αρχείο εξόδου που προκύπτει, εφαρμόζοντας το πρόγραμμα HYPO71, ελέγχονταν οι τιμές των χρονικών υπολοίπων των εγκαρσίων και των επιμήκων κυμάτων για κάθε σταθμό και κάθε σεισμό. Εάν αυτά είχαν τιμή πάνω από 0.5 sec τότε εισαγόταν ένα βάρος στο συγκεκριμένο χρόνο άφιξης των εγκαρσίων ή των επιμήκων κυμάτων. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε οι χρόνοι άφιξης όλων των σεισμών συνοδεύονται από ένα βάρος, το οποίο χαρακτηρίζει την αξιοπιστία τους (0=ακριβής μέτρηση, 1=αξιόπιστη μέτρηση, 2=μέτρηση μέτριας αξιοπιστίας, 3=ελάχιστα αξιόπιστη μέτρηση και 4=καθόλου αξιόπιστη μέτρηση).

Με βάση τις διορθώσεις που έγιναν προέκυψαν οι εστιακές παράμετροι που στον πίνακα 2.10. Επίσης στο σχήμα 2.22 δίνονται τα ιστογράμματα για τα σφάλματα RMS, ERH και ERZ. Ο μέσος όρος του RMS είναι 0.114 sec ενώ των ERH και ERZ είναι περίπου 0.9 km. Παρατηρείται ότι οι τιμές των σφαλμάτων είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές που είχαν πριν να εφαρμοστούν οι διορθώσεις (σχ. 2.19).



Σχήμα 2.21. Ιστογράμματα συχνοτήτων των χρονικών υπολοίπων για κάθε σταθμό.

Κωδικός σταθμού	φ° (N)	λ° (E)	Μέσο χρονικό υπόλοιπο (sec)
GAGV	40.65	23.10	-0.08
GDEP	40.74	22.78	-0.07
GLAG	40.73	23.01	-0.09
GPLA	40.46	22.94	0.18
GAGE	40.50	22.83	0.34
GARS	40.60	23.02	-0.15
GTHE	40.63	22.96	-0.27
GTRI	40.55	23.06	-0.35
GKLH	40.75	23.13	0.06
GMLG	40.61	22.68	0.00

Πίνακας 2.9. Μέση τιμή των χρονικών υπολοίπων των σταθμών καταγραφής που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των επικέντρων.

Πίνακας 2.10. Πληροφορίες για τις συντεταγμένες των επικέντρων, το βάθος των σεισμών και τα σφάλματα για το χρόνο, το επίκεντρο, και το βάθος του σεισμού. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν αφού εφαρμόστηκαν οι διορθώσεις στους σταθμούς.

Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεωγρα συντετα ω ° (N)	αφικές γμένες λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
2001	22-Ιουλ	15:21:15	40.737	22.729	16.55	0.10	0.8	1.2
2001	10-Αυγ	21:49:39	40.673	23.376	18.41	0.12	1.5	1.7
2001	28-Αυγ	23:58:30	40.889	22.835	15.07	0.09	0.8	0.9
2001	3-Σεπ	10:04:16	40.679	23.080	10.32	0.10	0.6	0.6
2001	15-Σεπ	17:47:13	40.813	22.995	11.23	0.09	0.6	0.8
2001	8-Окт	04:50:21	40.596	23.116	13.70	0.12	0.8	0.7
2001	8-Окт	04:51:45	40.590	23.129	13.71	0.09	0.6	0.6
2001	8-Окт	05:26:44	40.593	23.116	13.68	0.16	1.1	1.0
2001	8-Окт	05:32:16	40.589	23.126	13.57	0.12	1.0	0.8
2001	8-Окт	06:55:29	40.599	23.111	13.23	0.10	0.6	0.6
2001	8-Окт	08:00:25	40.590	23.126	13.45	0.11	0.9	0.7
2002	7-Μαρ	08:08:13	40.748	22.719	19.28	0.18	2.0	2.3
2002	18-Μαρ	10:42:02	40.609	23.005	12.90	0.06	0.3	0.3
2002	6-Απρ	20:31:29	40.597	23.106	10.53	0.20	1.3	1.2
2002	13-Απρ	08:10:42	40.702	23.132	10.27	0.10	0.7	0.6
2002	13-Απρ	13:52:41	40.710	23.127	10.02	0.11	0.8	0.7

Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεωγρα συντετα φ ° (N)	αφικές ιγμένες λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
2002	13-Απρ	17:46:06	40.699	23.139	10.63	0.10	0.9	0.7
2002	13-Απρ	21:06:01	40.706	23.126	9.64	0.10	0.7	0.6

Στο σχήμα 2.23 χαρτογραφήθηκαν τα επίκεντρα των σεισμών του Πίνακα 2.10 σύμφωνα με τις διορθώσεις που έγιναν στους σταθμούς.



Σχήμα 2.22. Ιστογράμματα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος στο χρόνο, (RMS, a), του σφάλματος στο επίκεντρο, (ERH, b) και του σφάλματος στο εστιακό βάθος, (ERZ, c). Επίσης πάνω στα διαγράμματα δίνονται και οι μέσες τιμές των μεγεθών αυτών. Τα ιστογράμματα αυτά έγιναν για τις διορθωμένες τιμές των δεδομένων της εργασίας αυτής.



Σχήμα 2.23. Χάρτης με τις θέσεις των σταθμών καταγραφής του προσωρινού τοπικού δικτύου και τα επίκεντρα της επιλεγμένης ομάδας σεισμών, όπως υπολογίστηκαν μετά από τις διορθώσεις που έγιναν στους σταθμούς.

2.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ, V_p/V_s ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ

Οι θέσεις των επικέντρων των σεισμών αποτελούν σημαντικό παράγοντα για τη σεισμοτεκτονική μελέτη μίας περιοχής και γι' αυτό και απαιτείται όσο το δυνατόν ακριβέστερος υπολογισμός των εστιακών συντεταγμένων τους. Το μοντέλο που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο εκφράζει τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων σεισμικών κυμάτων με το βάθος μέσα στο φλοιό. Για να είναι πλήρες το μοντέλο αυτό, απαιτείται και η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων μέσα στο φλοιό. Αυτό προϋποθέτει τη γνώση των χρόνων διαδρομής των εγκαρσίων κυμάτων από την εστία του κάθε σεισμού σε κάθε σταθμό. Επειδή είναι γνωστό ότι ο ακριβής προσδιορισμός των χρόνων άφιξης των εγκαρσίων κυμάτων παρουσιάζει πρόσθετα προβλήματα, υπολογίζεται ο λόγος της ταχύτητας διάδοσης των Ρ (επιμήκων) κυμάτων V_p, προς την ταχύτητα των S (εγκαρσίων) κυμάτων V_s , γιατί ο υπολογισμός αυτός δεν επηρεάζεται από σφάλματα στο χρόνο γένεσης και στις συντεταγμένες της εστίας. Στο πρόγραμμα HYPO71 χρησιμοποιείται ο λόγος αυτός για τον καθορισμό των στοιχείων των σεισμών.

Για να υπολογιστεί ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε το δείγμα των 18 σεισμών διότι οι καταγραφές τους αφορούν πέντε ή περισσότερους σταθμούς και οι χρόνοι αφίξεις των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων διακρίνονται σαφέστερα. Εφαρμόζοντας το πρόγραμμα HYPO71, για τα δεδομένα αυτά, προκύπτει ένα αρχείο, το οποίο περιέχει τους χρόνους άφιξης των P και S κυμάτων, καθώς και την επικεντρική απόσταση. Με τη βοήθεια προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή σε γλώσσα Fortran δημιουργήθηκε ένα αρχείο, το οποίο περιείχε τους χρόνους άφιξης των C σποίο περιείχε τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων (t_{pobs} και t_{sobs} αντίστοιχα) καθώς και τις επικεντρική απόσταση. Με τη βοήθεια προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή σε γλώσσα Fortran δημιουργήθηκε ένα αρχείο, το οποίο περιείχε τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων (t_{pobs} και t_{sobs} αντίστοιχα) καθώς και τις επικεντρικές αποστάσεις ενός σεισμού σε κάθε σταθμό. Έχοντας, λοιπόν ως δεδομένα τους χρόνους t_{pobs} και t_{sobs} για κάθε ένα σταθμό, υπολογίστηκε ο λόγος t_{sobs}/t_{pobs} για κάθε ένα σεισμό. Κατόπιν, βρέθηκε ο μέσος όρος του λόγου αυτού για όλες τις μετρήσεις, ο οποίος ισούται με το λόγο ταχυτήτων V_p/V_s. Αυτό, γιατί θεωρείται η ίδια, διότι οι σταθμοί βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις. Επομένως:

$$V_P = \frac{d}{t_{pobs}} \tag{1}$$

και

$$V_s = \frac{d}{t_{sobs}} \tag{2}$$

όπου: V_p : η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων

 V_s : η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων

t_{pobs}: είναι ο χρόνος άφιξης των επιμήκων κυμάτων

t_{sobs}: είναι ο χρόνος άφιξης των εγκαρσίων κυμάτων

d: είναι η απόσταση που διανύει το σεισμικό κύμα από την εστία στο σταθμό. Διαιρώντας κατά μέλη τις (1) και (2) βγαίνει τελικά ότι:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{t_{sobs}}{t_{pobs}} \tag{3}$$

Στο σχήμα 2.23 φαίνεται το ιστόγραμμα συχνότητας των λόγων των επιμήκων προς τα εγκάρσια κύματα (V_p/V_s) . Ο μέσος όρος του λόγου αυτού βρέθηκε ότι είναι ίσος με $V_p/V_s=1.7$



Σχήμα 2.23. Ιστόγραμμα αριθμού παρατηρήσεων σε συνάρτηση με το λόγο ταχυτήτων V_p/V_s . Υπολογίστηκε ο μέσος όρος των λόγων $t_{sobs}/t_{pobs} = V_p/V_s$ για κάθε μέτρηση και βρέθηκε ίσος με 1.76.

2.6. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΑΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΟΠΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Κατά το χρονικό διάστημα 12 Ιουλίου 2001 έως και 25 Απριλίου 2002, από το φορητό δίκτυο καταγράφηκαν 172 σεισμοί, με επίκεντρα εντός της περιοχής μελέτης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τους σεισμούς αυτούς μετρήθηκαν οι χρόνοι άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων σε κάθε σεισμολογικό σταθμό. Στη συνέχεια, με δεδομένα αυτούς τους χρόνους και με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος ΗΥΡΟ71, αφού λήφθηκαν υπόψη οι διορθώσεις στους σταθμούς (Πίνακας 2.9) και χρησιμοποιήθηκε ο λόγος ταχυτήτων V_p/V_s =1.76 υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι των εστιών των 172 σεισμών. Στον παρακάτω Πίνακα 2.11 δίνονται για κάθε σεισμό, η ημερομηνία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού (πρώτη και δεύτερη στήλη αντίστοιχα), στην τρίτη και τέταρτη στήλη δίνεται το γεωγραφικό πλάτος, φ°N, και το γεωγραφικό μήκος, λ[°]Ε, του επικέντρου, αντίστοιχα, το εστιακό βάθος (σε km) δίνεται στην πέμπτη στήλη, τα σφάλματα στους υπολογισμούς του χρόνου, RMS (σε sec), του επικέντρου, ERH (σε km), και του εστιακού βάθους, ERZ (σε km) (έκτη, έβδομη και όγδοη στήλη).

Πίνακας 2.11. Ημερομηνία, χρόνος γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου, εστιακό βάθος του σεισμού και τα σφάλματα στους υπολογισμούς του χρόνου διαδρομής, RMS, του επικέντρου ERH και του εστιακού βάθους ERZ, για τους 172 σεισμούς όπως υπολογίστηκαν με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου.

Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεω συντ φ ° (Ν	γραφικές εταγμένες Ι) λ °(Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
15/7/2001	22:43:05	40.750	23.069	13.43	0.06	1.3	0.7
20/7/2001	10:41:33	40.704	22.933	6.21	0.07	1.1	1.3
21/7/2001	12:11:31	40.647	23.071	6.26	0.08	0.6	1.0
21/7/2001	20:27:05	40.588	22.888	9.78	0.06	1.4	1.1
22/7/2001	12:52:50	40.851	23.013	14.91	0.08	1.5	1.8
22/7/2001	14:36:22	40.749	22.716	19.43	0.18	1.6	1.4
22/7/2001	15:21:15	40.737	22.729	16.55	0.10	0.8	1.2
24/7/2001	12:21:54	40.429	23.074	3.68	0.05	1.1	1.7
25/7/2001	02:05:01	40.652	23.025	1.01	0.11	0.5	1.0
25/7/2001	11:02:13	40.701	22.925	7.83	0.06	1.0	1.0
1/8/2001	08:57:40	40.703	22.942	5.30	0.07	0.9	1.0
2/8/2001	11:01:56	40.705	22.932	5.34	0.05	0.8	1.1
7/8/2001	18:26:51	40.659	23.010	3.24	0.11	0.5	1.1
9/8/2001	14:36:54	40.885	23.039	5.73	0.05	0.5	1.1
10/8/2001	21:49:39	40.673	23.376	18.41	0.12	1.5	1.7
11/8/2001	18:44:49	40.662	23.435	17.82	0.07	0.9	1.4
13/8/2001	18:30:46	40.657	23.017	1.03	0.12	0.4	1.3
13/8/2001	18:30:57	40.671	23.005	2.11	0.09	1.2	17.1
15/8/2001	05:56:03	40.876	23.041	9.57	0.07	0.9	1.8
15/8/2001	18:11:02	40.868	23.036	10.59	0.11	1.8	3.5
21/8/2001	06:01:22	40.720	23.125	4.12	0.08	0.9	2.2
28/8/2001	23:58:30	40.889	22.835	15.07	0.09	0.8	0.9
29/8/2001	08:39:54	40.691	22.951	7.66	0.06	0.8	0.8
29/8/2001	09:06:34	40.702	22.943	7.63	0.02	0.3	0.3
30/8/2001	13:24:24	40.429	23.072	9.44	0.02	0.5	0.5
1/9/2001	22:56:19	40.940	22.842	3.97	0.04	7.6	19.2
3/9/2001	10:04:16	40.679	23.080	10.32	0.10	0.6	0.6
5/9/2001	13:06:17	40.424	23.076	4.92	0.05	1.1	5.2
8/9/2001	10:18:45	40.431	23.069	9.50	0.02	0.5	0.6
9/9/2001	07:24:11	40.714	22.986	8.00	0.06	0.6	0.6
12/9/2001	16:42:23	40.524	22.862	16.38	0.09	0.7	1.0
13/9/2001	20:02:57	40.867	23.032	12.63	0.06	2.3	3.4
14/9/2001	09:56:21	40.699	22.943	6.77	0.05	0.7	0.8
14/9/2001	13:06:54	40.659	23.389	16.45	0.09	1.6	2.0
15/9/2001	13:01:08	40.642	23.406	17.72	0.15	3.5	5.1

Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεω συντ φໍ (Ν	γραφικές εταγμένες Ι) λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
15/9/2001	16:06:48	40.808	22.995	12.26	0.04	0.6	0.6
15/9/2001	17:47:13	40.813	22.995	11.23	0.09	0.6	0.8
15/9/2001	20:09:52	40.816	23.001	12.43	0.04	0.4	0.4
15/9/2001	20:29:09	40.804	22.986	11.91	0.08	1.0	1.0
15/9/2001	20:33:51	40.660	22.942	10.22	0.02	0.8	0.3
18/9/2001	10:17:07	40.426	23.058	8.58	0.08	1.2	1.5
19/9/2001	11:02:47	40.707	22.740	10.66	0.05	1.4	0.8
21/9/2001	09:03:30	40.437	23.075	10.86	0.04	1.1	1.1
24/9/2001	22:56:11	40.771	22.968	10.74	0.13	4.0	2.2
28/9/2001	21:06:37	40.657	22.991	10.50	0.06	0.3	0.8
3/10/2001	20:22:03	40.717	23.127	8.45	0.11	1.2	1.2
5/10/2001	14:34:05	40.414	23.090	2.13	0.10	0.9	1.6
7/10/2001	10:27:31	40.485	22.957	12.07	0.07	4.6	1.2
7/10/2001	11:08:21	40.905	22.926	9.09	0.08	1.2	2.8
8/10/2001	04:50:21	40.596	23.116	13.70	0.12	0.8	0.7
8/10/2001	04:51:13	40.597	23.124	13.90	0.03	0.5	0.4
8/10/2001	04:51:45	40.590	23.129	13.71	0.09	0.6	0.6
8/10/2001	04:52:51	40.599	23.146	13.91	0.05	0.7	0.6
8/10/2001	04:53:13	40.607	23.144	13.96	0.16	1.7	1.4
8/10/2001	05:10:09	40.613	23.162	12.25	0.03	0.6	0.5
8/10/2001	05:14:41	40.589	23.132	12.63	0.11	1.3	1.2
8/10/2001	05:18:22	40.590	23.176	13.82	0.11	1.4	1.4
8/10/2001	05:21:44	40.603	23.131	13.03	0.11	0.9	0.8
8/10/2001	05:22:18	40.593	23.133	13.92	0.01	0.1	0.1
8/10/2001	05:24:51	40.600	23.138	13.58	0.07	1.1	0.8
8/10/2001	05:25:31	40.597	23.143	14.18	0.10	0.7	0.6
8/10/2001	05:26:44	40.593	23.116	13.68	0.16	1.1	1.0
8/10/2001	05:27:41	40.596	23.132	13.99	0.05	0.8	0.7
8/10/2001	05:28:44	40.595	23.164	13.73	0.10	0.7	0.6
8/10/2001	05:29:10	40.597	23.121	14.34	0.03	0.5	0.5
8/10/2001	05:29:28	40.589	23.145	14.40	0.11	0.8	0.7
8/10/2001	05:32:16	40.589	23.126	13.57	0.12	1.0	0.8
8/10/2001	05:33:37	40.596	23.122	15.01	0.07	1.2	0.9
8/10/2001	05:34:07	40.593	23.140	14.28	0.02	0.4	0.4
8/10/2001	05:34:22	40.595	23.127	14.05	0.01	0.2	0.1
8/10/2001	05:34:28	40.599	23.126	13.87	0.04	0.6	0.5
8/10/2001	05:35:16	40.610	23.156	15.02	0.11	1.2	0.9
8/10/2001	05:36:20	40.588	23.148	13.78	0.11	1.0	0.8
8/10/2001	05:36:48	40.591	23.123	13.57	0.01	0.2	0.2
8/10/2001	05:42:00	40.582	23.130	12.99	0.09	1.0	0.9
8/10/2001	05:42:08	40.583	23.169	13.41	0.08	1.4	1.0
8/10/2001	05:44:07	40.590	23.136	13.43	0.07	0.7	0.6
8/10/2001	05:44:18	40.585	23.161	13.28	0.07	0.8	0.6

Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεω συντ φ ° (Ν	γραφικές εταγμένες Ι) λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
8/10/2001	05:45:17	40.601	23.136	14.10	0.09	1.0	1.0
8/10/2001	05:47:10	40.593	23.118	14.66	0.05	0.8	0.7
8/10/2001	05:47:38	40.592	23.125	13.79	0.01	0.1	0.1
8/10/2001	05:48:05	40.586	23.156	13.58	0.07	1.0	0.7
8/10/2001	05:49:33	40.601	23.132	14.01	0.06	1.4	0.7
8/10/2001	05:50:29	40.582	23.175	13.20	0.10	1.1	0.9
8/10/2001	05:50:43	40.600	23.133	13.67	0.08	0.9	0.7
8/10/2001	05:50:54	40.609	23.132	15.11	0.03	1.0	0.9
8/10/2001	05:53:08	40.599	23.124	13.57	0.11	1.4	1.1
8/10/2001	05:54:02	40.593	23.134	13.56	0.02	0.3	0.2
8/10/2001	05:55:37	40.608	23.163	12.56	0.04	0.7	0.6
8/10/2001	05:58:26	40.593	23.139	14.27	0.08	0.7	0.6
8/10/2001	06:00:45	40.601	23.147	14.13	0.09	0.7	0.6
8/10/2001	06:01:09	40.589	23.162	12.63	0.13	1.8	1.4
8/10/2001	06:12:41	40.611	23.174	13.09	0.08	0.6	0.6
8/10/2001	06:24:23	40.601	23.138	13.85	0.12	1.0	0.8
8/10/2001	06:26:49	40.597	23.122	13.66	0.08	0.6	0.5
8/10/2001	06:33:35	40.598	23.123	14.43	0.12	0.9	0.8
8/10/2001	06:36:10	40.597	23.128	13.56	0.05	0.7	0.5
8/10/2001	06:52:48	40.593	23.124	14.78	0.09	0.6	0.5
8/10/2001	06:55:29	40.599	23.111	13.23	0.10	0.6	0.6
8/10/2001	06:56:36	40.606	23.141	14.11	0.13	1.4	1.1
8/10/2001	06:56:47	40.605	23.143	14.06	0.15	1.6	1.2
8/10/2001	06:58:05	40.599	23.116	13.70	0.08	0.6	0.6
8/10/2001	07:04:13	40.602	23.139	13.86	0.10	1.1	0.9
8/10/2001	07:04:27	40.588	23.133	13.14	0.11	1.3	1.0
8/10/2001	07:11:49	40.592	23.128	13.03	0.05	0.4	0.3
8/10/2001	07:14:05	40.596	23.146	14.55	0.15	1.6	1.2
8/10/2001	07:15:19	40.588	23.134	14.10	0.07	0.5	0.4
8/10/2001	07:16:09	40.593	23.128	14.18	0.10	0.8	0.6
8/10/2001	07:25:05	40.592	23.133	13.50	0.05	0.8	0.6
8/10/2001	07:25:54	40.591	23.125	14.56	0.10	0.7	0.6
8/10/2001	07:26:32	40.596	23.117	14.76	0.15	1.0	0.9
8/10/2001	07:33:28	40.602	23.154	14.09	0.11	0.9	0.7
8/10/2001	07:36:16	40.576	23.189	11.64	0.10	2.3	1.8
8/10/2001	07:54:51	40.602	23.134	14.44	0.15	1.5	1.3
8/10/2001	07:58:32	40.590	23.157	13.61	0.09	0.9	0.7
8/10/2001	08:00:25	40.590	23.126	13.45	0.11	0.9	0.7
8/10/2001	08:01:56	40.589	23.139	12.99	0.10	1.0	0.8
8/10/2001	08:04:31	40.597	23.125	12.93	0.09	1.0	0.8
8/10/2001	08:08:20	40.612	23.133	15.83	0.10	1.4	1.1
8/10/2001	08:21:26	40.595	23.128	14.43	0.08	0.6	0.5
8/10/2001	13:47:57	40.600	23.124	14.13	0.08	0.5	0.5

Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεω συντ φ ° (Ν	γραφικές εταγμένες Ι) λ ° (Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
8/10/2001	13:49:19	40.596	23.123	14.13	0.08	0.6	0.5
8/10/2001	19:00:28	40.593	23.134	13.86	0.09	0.9	0.7
8/10/2001	19:04:58	40.595	23.139	13.71	0.09	0.7	0.7
9/10/2001	06:59:05	40.597	23.169	16.21	0.11	1.0	1.0
9/10/2001	07:49:42	40.580	23.180	12.78	0.09	1.6	1.2
9/10/2001	08:59:30	40.589	23.117	13.52	0.09	0.9	0.7
9/10/2001	11:43:15	40.591	23.140	14.16	0.10	0.8	0.7
9/10/2001	17:25:31	40.590	23.170	13.90	0.14	1.5	1.2
9/10/2001	23:10:20	40.589	23.160	13.12	0.11	1.2	1.0
10/10/2001	13:13:01	40.579	23.155	11.86	0.12	1.2	1.0
10/10/2001	15:20:16	40.594	23.133	14.19	0.13	1.0	0.9
10/10/2001	15:22:54	40.580	23.168	12.22	0.04	1.0	0.7
11/10/2001	16:31:46	40.584	23.152	12.75	0.10	1.1	0.8
12/10/2001	18:10:02	40.505	23.566	0.91	0.16	25.9	21.5
14/10/2001	09:06:00	40.555	23.582	16.27	0.15	3.0	6.7
19/10/2001	09:42:47	40.549	23.384	14.87	0.16	2.9	4.1
25/10/2001	16:56:08	40.588	23.146	13.94	0.12	1.1	0.9
31/10/2001	15:47:56	40.587	23.132	14.77	0.10	1.0	0.8
13/11/2001	23:05:15	40.845	22.987	14.10	0.04	1.4	2.3
25/11/2001	20:09:46	40.590	23.183	14.48	0.12	1.0	0.9
4/12/2001	17:03:51	40.693	22.956	6.51	0.10	0.5	0.9
12/12/2001	23:33:24	40.612	22.925	11.62	0.08	0.8	0.7
13/12/2001	08:48:35	40.475	22.717	13.11	0.23	1.8	1.9
14/12/2001	22:39:00	40.791	23.018	13.07	0.11	0.9	0.9
5/1/2002	11:52:53	40.754	23.117	7.87	0.08	1.6	2.0
17/1/2002	06:35:56	40.781	22.945	14.28	0.11	0.9	1.1
19/1/2002	15:32:02	40.610	22.769	2.42	0.12	0.9	1.3
22/1/2002	22:02:06	40.503	23.538	18.63	0.16	5.8	10.7
25/1/2002	14:45:11	40.814	23.089	17.94	0.07	1.0	1.2
22/2/2002	22:31:18	40.689	23.125	5.49	0.09	0.8	0.8
24/2/2002	09:31:13	40.929	22.967	19.65	0.11	2.1	3.0
24/2/2002	21:50:57	40.575	23.257	16.70	0.13	2.0	2.0
28/2/2002	09:35:51	40.693	22.936	7.96	0.07	1.1	1.1
1/3/2002	11:49:15	40.702	22.930	6.58	0.07	1.1	1.3
1/3/2002	13:23:47	40.448	23.017	11.64	0.02	1.2	0.6
6/3/2002	13:17:27	40.468	23.005	8.12	0.15	1.9	1.7
6/3/2002	13:17:57	40.424	23.069	5.81	0.05	0.8	1.8
7/3/2002	08:08:12	40.748	22.719	19.28	0.18	2.0	2.3
13/3/2002	10:16:19	40.565	22.976	9.09	0.15	3.6	2.7
18/3/2002	10:42:02	40.609	23.005	12.90	0.06	0.3	0.3
6/4/2002	20:31:29	40.597	23.106	10.53	0.20	1.3	1.2
10/4/2002	11:01:57	40.781	23.049	0.70	0.10	1.5	1.4
13/4/2002	08:10:41	40.702	23.132	10.27	0.10	0.7	0.6

Ημερομηνία	Χρόνος γένεσης	Γεω συντ φ ° (Ν	γραφικές εταγμένες Ι) λ °(Ε)	Βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
13/4/2002	08:13:34	40.707	23.133	10.55	0.10	0.7	0.6
13/4/2002	08:20:53	40.707	23.123	9.51	0.08	0.6	0.7
13/4/2002	09:35:51	40.702	23.135	9.98	0.01	0.1	0.1
13/4/2002	13:52:41	40.710	23.127	10.02	0.11	0.8	0.7
13/4/2002	17:46:06	40.699	23.139	10.63	0.10	0.9	0.7
13/4/2002	21:06:01	40.706	23.126	9.64	0.10	0.7	0.6
15/4/2002	05:19:56	40.712	23.150	11.06	0.20	3.8	2.8
16/4/2002	11:11:39	40.682	23.169	8.01	0.11	1.9	2.7

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τους υπολογισμούς και αναφέρονται στον πίνακα 2.11 έγιναν τα ιστογράμματα των συχνοτήτων των τιμών RMS, ERH και ERZ. Όπως προκύπτει από τις κατανομές του σχήματος 2.24 το μέσο σφάλμα στους υπολογισμούς του χρόνου γένεσης είναι 0.089 sec, το μέσο σφάλμα στους υπολογισμούς των επικέντρων είναι 1.03 km και το μέσο σφάλμα στους υπολογισμούς των εστιακών βαθών είναι 1.01 km. Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα οι τιμές των RMS κυμαίνονται από 0.01 sec έως 0.23 sec, ενώ παρατηρείται μία συγκέντρωση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος στο διάστημα 0.09-0.10 sec. Οι τιμές αυτές των σφαλμάτων προσδίδουν έτσι περισσότερο αξιόπιστο και ακριβή προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων. Επίσης, σημειώνεται ότι οι 172 σεισμοί ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες (όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.24):

 $RMS \le 0.3 \text{ sec}$ $ERH \le 4.0 \text{ km}$ $ERZ \le 4.0 \text{ km}.$



Σχήμα 2.24. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών RMS (α), ERH (b), ERZ (c), για τους σεισμούς του πίνακα 2.11.

Στο σχήμα 2.24 δίνεται το ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών των εστιακών βαθών για τους 172 σεισμούς. Παρατηρείται μία συγκέντρωση εστιακών βαθών στο διάστημα 10-15 km. Οι χαμηλές τιμές των εστιακών βαθών που εμφανίζονται στο διάστημα 0-2 km ίσως οφείλονται στην ασυνέχεια μεταξύ ιζηματογενούς και γρανιτικού στρώματος σε βάθος 1 km. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα συχνότερα παρατηρούμενα εστιακά βάθη των σεισμών της περιοχής κυμαίνονται μεταξύ 10 km και 15 km. Το μέσο εστιακό βάθος των σεισμών αυτών είναι 11.97 km.



Σχήμα 2.25. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών των εστιακών βαθών, h, των 172 σεισμών.

Ο χάρτης της περιοχής όπου έχουν χαρτογραφηθεί όλα τα επίκεντρα των σεισμών που καταγράφηκαν κατά την περίοδο που ήταν εγκατεστημένο το δίκτυο των σεισμογράφων δίνεται στο σχήμα 2.26. Στον ίδιο χάρτη έχουν σχεδιαστεί και οι ισοϋψείς καμπύλες ώστε να φαίνεται καλύτερα η κατανομή των επικέντρων σε συνάρτηση με τη μορφολογία της περιοχής. Παρατηρείται ότι τα επίκεντρα των σεισμών έχουν παράταξη ΒΑ-ΝΔ (βορειοανατολική-νοτιοδυτική) όπως ακριβώς και το ανάγλυφο της περιοχής. Επίσης διακρίνεται μία συγκέντρωση επικέντρων κοντά στις λίμνες Βόλβη και Λαγκαδά και μία συγκέντρωση στην περιοχή Ασβεστοχωρίου –Χορτιάτη. Η τελευταία συγκέντρωση επικέντρων αντιστοιχεί στην σεισμική ακολουθία η οποία συνέβη στις 8 Οκτωβρίου του 2001. Φυσικά η κατανομή αυτή όλων των επικέντρων των σεισμών ταυτίζεται με τη δημιουργία των ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και αναπτύσσονται παρακάτω.

Σχήμα 2.26. Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή μελέτης μας από 12 Ιουλίου 2001, έως και τις 25 Απριλίου 2002



3. ΕΠΑΝΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΣΤΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ένας επαναπροσδιορισμός εστιακών παραμέτρων σεισμών που καταγράφηκαν από το μόνιμο τηλεμετρικό δίκτυο κατά τη χρονική περίοδο Ιανουάριος 1981. Σεπτέμβριος 2002. Σαν αργικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν οι εστιακές παράμετροι των σεισμών που καταγράφηκαν τόσο από το τοπικό δίκτυο που εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο Ιούλιος 2001 - Απρίλιος 2002, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όσο και από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν παλιότερα στην ίδια περιοχή τα έτη 1984 (Hatzfeld et al., 1987), 1985 (Hatzidimitriou et al., 1991) και 1999 (Papazachos et al., 2000). Οι εστιακές παράμετροι των σεισμών αυτών θεωρήθηκαν ότι είναι σωστές και ακριβείς και χρησιμοποιήθηκαν για τον επαναπροσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών του μονίμου δικτύου.

3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ

Για να γίνει προσδιορισμός των εστιακών παραμέτρων των σεισμών του μονίμου δικτύου ήταν απαραίτητο ένα αρχείο που να περιείχε τους χρόνους άφιξης των επιμηκών και εγκαρσίων κυμάτων των σεισμών που έγιναν το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 1981 – Σεπτέμβριος 2002. Τα δεδομένα των σεισμών (χρόνοι άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων) που χρειάσθηκαν για την επεξεργασία συγκεντρώθηκαν από δύο καταλόγους. Για το χρονικό διάστημα από 12 Ιανουαρίου 1996 έως και τον Μάιο του 2002, οι σεισμοί λήφθηκαν από τα δελτία του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου, ISC, (International Seismological Centre). Οι σεισμοί οι οποίοι αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα από 2 Ιανουαρίου 1981 έως και 30 Δεκεμβρίου 1995 καθώς και στο χρονικό διάστημα από τον Ιούνιο του 2001 έως τον Σεπτέμβριο του 2002, συλλέχθηκαν από τα δελτία του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

Η περιοχή με συντεταγμένες 40.20°N-41.0°N και 22.50°E-23.50°E, είναι η περιοχή μελέτης, η οποία επιλέχθηκε ευρύτερη από την περιοχή που εγαταστάθηκε το δίκτυο που λειτούργησε από τον Ιούλιο 2001 - Απρίλιο του 2002 (πρώτο κεφάλαιο).

Για τον υπολογισμό των βασικών παραμέτρων των εστιών των σεισμών αυτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HYPO '71. Για να εφαρμοστεί όμως το πρόγραμμα αυτό ήταν απαραίτητη η μετατροπή των δεδομένων σε hypo format, η οποία έγινε με τη χρησιμοποίηση προγράμματος σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Από το αρχείο που τελικά προέκυψε αφαιρέθηκαν όλοι οι σεισμοί οι οποίοι δεν περιλάμβαναν αφίξεις των S (εγκαρσίων) κυμάτων, με τη βοήθεια προγράμματος σε γλώσσα προγραμματισμού ANSI C. Τελικά το αρχείο που προέκυψε περιείχε τους χρόνους άφιξης των επιμήκων (P) και εγκαρσίων (S) κυμάτων για 3035 σεισμούς.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των εστιών των 3035 σεισμών απαιτούνταν ένας κατάλογος σταθμών, ένα μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων, ο λόγος ταχυτήτων των επιμήκων προς των εγκαρσίων κυμάτων $(\frac{Vp}{Vs})$ και ένας κατάλογος που για κάθε σεισμό περιλαμβάνει το χρόνο άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων σε κάθε σταθμό, το είδος της πρώτης απόκλισης καθώς και τη διάρκεια του σήματος σε δευτερόλεπτα. Όλα τα παραπάνω αποτελούν αρχείο εισόδου στο πρόγραμμα HYPO71, το οποίο τελικά προσδιορίζει τις γεωγραφικές συντεταγμένες και το εστιακό βάθος του σεισμού, το γρόνο γένεσής του, το μέγεθός του, την επικεντρική απόσταση του κοντινότερου σταθμού (D_{min}) και το αζιμουθιακό κενό (GAP), που είναι η μεγαλύτερη αζιμουθιακή γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των εστιακών παραμέτρων. Επίσης γίνεται υπολογισμός των σφαλμάτων RMS (τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των χρονικών υπολοίπων όλων των σταθμών και εκφράζεται σε δευτερόλεπτα), ERH (αφορά την ακρίβεια προσδιορισμού του εστιακού βάθους και εκφράζεται σε km) και ERZ (δείχνει το σφάλμα στο επίκεντρο του σεισμού και εκφράζεται σε km).

Ο κατάλογος που περιέχει τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων για κάθε σεισμό από τους 3035, όπως προαναφέρθηκε, βρέθηκε από τα δελτία του ISC και από τα δελτία του Τομέα Γεωφυσικής, οπότε ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός ενός μοντέλου δομής ταχυτήτων του φλοιού, ώστε τελικά να υπολογιστούν οι παράμετροι των σεισμικών εστιών.

60

3.2.1 Αρχή της μεθοδολογίας που εφαρμόσθηκε

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι μελέτης της δομής του φλοιού της Γης, η μέθοδος της διάθλασης, η μέθοδος της ανάκλασης και η μέθοδος της σκέδασης. Οι πιο κατάλληλες μέθοδοι για τη μελέτη της δομής του φλοιού μιας περιοχής είναι η μέθοδος της σκέδασης των επιφανειακών κυμάτων και η μέθοδος διάθλασης των κυμάτων χώρου. Η μέθοδος της ανάκλασης χρησιμοποιείται κυρίως στη διασκόπηση πετρελαίου και στις δομές βάθους μεγάλης σημασίας. Στη διατριβή αυτή εφαρμόσθηκε η μέθοδος της διάθλασης των επιμήκων κυμάτων από σεισμούς που έγιναν στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης από το 1981 έως το 2002. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μελέτη των χρόνων διαδρομής των επιμήκων κυμάτων κυμάτων τα οποία φθάνουν σε διάφορους σεισμολογικούς σταθμούς απ' ευθείας από τις εστίες των σεισμών ή αφού πρώτα υποστούν διάθλαση στις ασυνέχειες που βρίσκονται σε διάφορα βάθη του φλοιού και τις οποίες υποθέτουμε οριζόντιες.

Η απαίτηση για όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό της δομής του φλοιού της Γης καθιέρωσε μεθοδολογία που επικράτησε για όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια στον καθορισμό της δομής του φλοιού της Γης, είναι αυτή των τεχνητών χημικών ή και πυρηνικών εκρήξεων. Τα σεισμικά κύματα παθαίνουν έντονη απόσβεση, σε αντίθεση με τις ισχυρές εκρήξεις οι οποίες δίνουν ευδιάκριτη αναγραφή των σεισμικών κυμάτων και στους πιο απομακρυσμένους σταθμούς (Παναγιωτόπουλος, 1984), φέρουν όμως μεγάλο κόστος. Έτσι έπρεπε να εφαρμοστεί μία μεθοδολογία η οποία να εξασφαλίζει ικανοποιητική ακρίβεια χωρίς να χρειάζονται τεχνητές εκρήξεις οι οποίες φέρουν και μεγάλο κόστος. Τέτοια δυνατότητα παρέχουν τα δεδομένα σεισμών που έχουν αναγραφεί από περιφερειακό δίκτυο σεισμολογικών σταθμών, οι οποίοι είναι εγκαταστημένοι στην υπό μελέτη περιοχή και των οποίων σεισμών οι παράμετροι έχουν υπολογιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια.

Τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί τοπικά δίκτυα με σκοπό τον ακριβή καθορισμό των συντεταγμένων της εστίας και των χρόνων γένεσης διαφόρων σεισμών του ελληνικού χώρου και κυρίως των σεισμών που έγιναν στην Θεσσαλονίκη και στην ευρύτερη περιοχή της. Το 1984 (Hatzfeld et al., 1987), το 1985 (Hatzidimitriou et al., 1991) και το 2000 (Papazachos et al., 2000) και τον Ιούλιο 2001- Απρίλιο 2002, έγινε μία σειρά ερευνών στην Μυγδονία λεκάνη και υπολογίστηκαν οι παράμετροι των εστιών των σεισμών οι οποίοι έγιναν την χρονική περίοδο που ήταν εγκατεστημένα τα τοπικά δίκτυα. Στη διατριβή αυτή, οι εστιακές παράμετροι των σεισμών που υπολογίστηκαν από τις προαναφερθέντες μελέτες θεωρήθηκαν ως εκρήξεις, δηλαδή οι παράμετροί τους έχουν υπολογιστεί με ακρίβεια, διότι οι καταγραφές των σεισμών από τα τοπικά δίκτυα είναι καλές και ευκρινείς, επίσης είναι ευδιάκριτες οι πρώτες αφίξεις των επομήκων (P) σεισμικών κυμάτων. Σημαντικό στοιχείο για το ότι οι εστιακές παράμετροι των σεισμών που καταγράφονται από το τοπικό δίκτυο μπορούν να θεωρηθούν σαν εκρήξεις, είναι ότι οι σεισμοί καταγράφονται το ίδιο από όλους τους σταθμούς όπως και οι εκρήξεις διότι σ' ένα τοπικό δίκτυο οι σταθμοί τοποθετούνται σε κοντινές αποστάσεις.

Καταρτίστηκαν, δηλαδή, τέσσερις κατάλογοι, με στοιχεία που προέκυψαν από τα πειράματα του 1984, 1985, 1990 και 2001-2002. Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των σεισμών που καταγράφηκαν από τα πειράματα με αυτούς του καταλόγου των σεισμών της χρονικής περιόδου Ιανουάριος 1981 - Σεπτέμβριος 2002 που καταγράφηκαν από το μόνιμο δίκτυο. Τελικά, δημιουργήθηκε ένα αρχείο που περιλάμβανε τους χρόνους άφιξης των P και S κυμάτων των κοινών σεισμών και τις κοινές λύσεις (δηλαδή χρόνο γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες επικέντρου και εστιακό βάθος) με τα πειράματα, οι οποίες θεωρήθηκαν ως εκρήξεις. Αφού εφαρμόσθηκε το πρόγραμμα ΗΥΡΟ71, προέκυψε ένας κατάλογος που αποτελείται από 70 σεισμούς, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του μοντέλου δομής του φλοιού της περιοχής μελέτης. Από τους σεισμούς αυτούς αφαιρέθηκαν εκείνοι που είχαν αζιμουθιακό κενό (GAP) μεγαλύτερο από 180° και μέσο τετραγωνικό σφάλμα των χρονικών υπολοίπων (RMS) μικρότερο ή ίσο με 1.6 sec, οπότε οι σεισμοί μειώθηκαν στους 58. Στον Πίνακα 3.1 δίνονται οι εστιακές παράμετροι των σεισμών αυτών. Στη δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη δίνεται η χρονολογία γένεσης, η ημερομηνία γένεσης και ο χρόνος γένεσης του σεισμού, αντίστοιχα, στην πέμπτη και έκτη στήλη δίνονται οι εστιακές συντεταγμένες, στην έβδομη στήλη το εστιακό βάθος και στις επόμενες τελευταίες τρεις στήλες τα μέσα σφάλματα RMS, ERH, ERZ αντίστοιγα.

Πίνακας 3.1. Εστιακές παράμετροι των 58 σεισμών, οι οποίοι προέκυψαν από τους κοινούς σεισμούς των πειραμάτων του 1984 (Hatzfeld et al., 1987), του 1985 (Hatzidimitriou et al., 1991), του 1999 (Papazachos et al., 2000) και του 2001-2002 τοπικού πειράματος που έγινε στα πλαίσια της διατριβής αυτής, με τον κατάλογο του μόνιμου δικτύου. Οι τιμές των εστιακών παραμέτρων των πειραμάτων θεωρήθηκαν ότι είναι σωστές και ακριβείς γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκαν ως λύσεις στους 58 σεισμούς.

				Εστ	ιακές				
α/α	Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος γένεσηα	Συντετο 5ς	αγμένε	Εστιακό βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
				φ (°N)	λ (°E)				
1	1984	23-Μαρ	15:29:30	40.844	22.895	11.2	0.4	1.1	1.8
2	1984	27-Μαρ	23:07:23	40.675	23.036	11.1	0.4	1.1	1.8
3	1984	29-Μαρ	15:41:04	40.616	23.024	7.0	0.5	0.9	1.5
4	1984	1-Απρ	04:07:08	40.740	23.282	10.5	0.4	1.2	2.4
5	1984	1-Απρ	04:11:27	40.739	23.282	10.8	0.4	0.5	1.1
6	1984	6-Απρ	06:47:48	40.681	23.050	9.4	0.5	1.3	2.5
7	1984	6-Απρ	22:08:15	40.684	23.416	6.1	0.3	1.4	4.7
8	1985	29-Απρ	12:13:52	40.645	23.434	10.4	0.4	1.0	2.6
9	1985	10-Μαϊ	21:07:20	40.234	23.260	6.5	1.2	3.1	4.9
10	1985	15- Μαϊ	22:10:01	40.767	23.184	11.2	0.3	0.9	1.9
11	2001	22-Ιουλ	15:21:15	40.737	22.729	16.6	0.8	2.0	2.1
12	2001	10-Αυγ	21:49:39	40.673	23.375	18.6	1.5	2.6	2.5
13	2001	11-Αυγ	18:44:49	40.662	23.435	17.8	1.0	2.1	2.0
14	2001	21-Αυγ	06:01:22	40.720	23.125	4.1	0.7	0.8	5.2
15	2001	3-Σεπ	10:04:16	40.679	23.080	10.3	0.6	2.5	5.1
16	2001	15-Σεπ	17:47:13	40.813	22.995	11.2	0.3	1.0	1.1
17	2001	7-Окт	11:08:21	40.905	22.926	9.0	0.8	0.6	3.5
18	2001	8-Окт	04:50:21	40.596	23.113	13.7	1.6	2.1	2.0
19	2001	8-Окт	05:10:09	40.613	23.162	12.2	1.2	1.4	3.1
20	2001	8-Окт	05:18:22	40.590	23.181	14.2	0.6	1.2	3.2
21	2001	8-Окт	05:21:44	40.603	23.131	13.0	0.7	1.9	4.1
22	2001	8-Окт	05:26:44	40.593	23.116	13.7	1.3	2.0	1.7
23	2001	8-Окт	05:28:44	40.595	23.164	13.7	0.7	1.4	2.2
24	2001	8-Окт	05:29:28	40.589	23.145	14.4	0.6	1.0	2.4
25	2001	8-Окт	05:32:16	40.589	23.126	13.6	1.6	3.0	2.8
26	2001	8-Окт	05:36:20	40.588	23.148	13.7	0.6	1.0	1.2
27	2001	8-Окт	05:44:18	40.585	23.161	13.2	1.0	2.1	4.9
28	2001	8-Окт	05:45:17	40.600	23.136	14.1	0.9	3.2	6.1
29	2001	8-Окт	05:48:05	40.586	23.156	13.5	0.7	1.3	3.5
30	2001	8-Окт	05:58:26	40.593	23.139	14.2	0.9	2.1	4.5
31	2001	8-Окт	06:00:45	40.601	23.147	14.1	0.8	1.4	3.5
32	2001	8-Окт	06:12:41	40.611	23.174	13.0	0.7	1.6	4.3
33	2001	8-Окт	06:24:23	40.601	23.138	13.8	0.8	1.4	3.6
34	2001	8-Окт	06:26:49	40.597	23.122	13.6	0.7	1.6	3.1

				Εστ	ιακές				
α/α	Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος γένεση	Συντετό ς ς	αγμένε	Εστιακό βάθος (km)	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
				φ (°N)	λ (°E)				
35	2001	8-Окт	06:33:35	40.597	23.122	14.4	0.9	1.1	2.6
36	2001	8-Окт	06:52:48	40.593	23.124	14.7	1.2	2.0	1.8
37	2001	8-Окт	06:55:29	40.599	23.111	13.2	1.2	2.3	2.3
38	2001	8-Окт	06:58:05	40.598	23.115	13.7	0.6	1.2	2.6
39	2001	8-Окт	07:11:49	40.592	23.128	13.0	0.6	1.3	3.1
40	2001	8-Окт	07:15:19	40.588	23.134	14.1	0.5	1.4	2.5
41	2001	8-Окт	07:16:09	40.593	23.128	14.1	0.6	0.6	0.9
42	2001	8-Окт	07:25:54	40.591	23.125	14.5	1.6	2.9	3.6
43	2001	8-Окт	07:33:28	40.602	23.154	14.0	0.8	1.8	4.1
44	2001	8-Окт	07:54:51	40.602	23.134	14.4	0.6	2.2	4.1
45	2001	8-Окт	07:58:32	40.590	23.157	13.6	0.6	1.0	2.6
46	2001	8-Окт	08:00:25	40.590	23.125	13.5	1.6	2.2	2.0
47	2001	8-Окт	08:08:20	40.612	23.133	15.8	0.8	1.9	2.5
48	2001	8-Окт	08:21:26	40.595	23.128	14.4	0.7	0.9	1.2
49	2001	11-Окт	16:31:46	40.584	23.152	12.7	0.4	0.9	2.2
50	2001	31-Окт	15:47:56	40.586	23.132	14.7	0.6	1.2	2.3
51	2001	25-Νοε	20:09:46	40.590	23.183	14.4	0.7	1.1	2.9
52	2002	24-Φεβ	21:50:57	40.575	23.257	16.7	0.6	2.2	5.8
53	2002	7-Μαρ	08:08:12	40.747	22.718	19.3	0.5	1.6	2.0
54	2002	13-Απρ	08:10:41	40.702	23.132	10.3	0.7	1.1	1.3
55	2002	13-Απρ	08:13:34	40.707	23.132	10.5	0.8	2.0	5.1
56	2002	13-Απρ	13:52:41	40.710	23.127	10.0	0.5	1.2	3.0
57	2002	13-Απρ	17:46:06	40.699	23.139	10.6	0.7	2.1	5.0
58	2002	16-Απρ	11:11:39	40.682	23.169	8.0	0.6	1.4	5.4

3.2.2. Σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό του μοντέλου δομής

Ο καθορισμός της δομής του φλοιού μπορεί να αναχθεί σε καθορισμό της κατακόρυφης κατανομής της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων. Στην εργασία αυτή υποτέθηκε ότι ο φλοιός της υπό μελέτη περιοχής, αποτελείται από οριζόντια στρώματα σε καθένα από τα οποία η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων παραμένει σταθερή και αυξάνει με το βάθος των στρωμάτων. Γενικά οι υποθέσεις αυτές αποδίδουν σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματικότητα (Papazachos et al. 1966, Makris 1976, 1977, 1978a, Oncescu 1982).

Έστω ότι ο φλοιός αποτελείται από n οριζόντια διαδοχικά στρώματα, των οποίων τα πάχη από πάνω προς τα κάτω είναι z_0 , z_1 , z_2 ,, z_{n-1} και οι ταχύτητες διάδοσης των επιμήκων κυμάτων, μέσα στα αντίστοιχα στρώματα είναι v_0 , v_1 , ..., v_{n-1} , όπου $v_0 < v_1 < ... < v_{n-1}$. Αμέσως κάτω από το φλοιό στον πάνω μανδύα η ταχύτητα των κυμάτων είναι v_n , όπου $v_n > v_{n-1}$. Ο χρόνος διαδρομής του διαθλώμενου κύματος που αναχωρεί από την εστία του σεισμού η οποία βρίσκεται σε βάθος h μέσα στο πρώτο στρώμα και φθάνει σε κάποιο σταθμό, αφού διεισδύσει μέχρι και το στρώμα n-1, θα είναι ίσος με το χρόνο διαδρομής του από το σταθμό αυτό αν διέτρεχε απ' ευθείας απόσταση επικέντρου-σταθμού με τη μεγαλύτερη ταχύτητα που απόκτησε κατά τη διαδρομή του (η ταχύτητα υ_n στο στρώμα n) συν τους χρόνους συνάντησης που αντιστοιχούν στα στρώματα που διέτρεξε κατά τη διαδρομή του. Η σχέση που ισχύει δηλαδή είναι:

$$t = \frac{\Delta}{\nu_n} + T_{0,1} + T_{1,2} + \dots + T_{(n-1),n}$$
(3.1)

όπου: t: είναι ο χρόνος διαδρομής

Δ: η επικεντρική απόσταση

υ_n: η ταχύτητα του κατώτερου στρώματος.

Οι χρόνοι συνάντησης της καμπύλης χρόνων διαδρομής των μετωπικών κυμάτων T_{0,1}, T_{1,2}, ..., T_{(n-1),n}, ορίζονται ως την τομή της καμπύλης χρόνων διαδρομής με τον άξονα των χρόνων (Παπαζάχος, 1993) και δίνονται από τις σχέσεις:

$$T_{0,1} = \frac{(2z_0 - h)\sqrt{\nu_n^2 - \nu_0^2}}{\nu_n \nu_0}$$
(3.2)

$$T_{1,2} = \frac{2z_1 \sqrt{\nu_n^2 - \nu_1^2}}{\nu_n \nu_0}$$
(3.3)

.....

$$T_{(n-1),n} = \frac{2z_{n-1}\sqrt{\nu_n^2 - \nu_{n-1}^2}}{\nu_n \nu_{n-1}}$$
(3.4)

Η σχέση (3.1) συνδέει την επικεντρική απόσταση, Δ, με το χρόνο διαδρομής, t, δηλαδή είναι μία σχέση της μορφής t=f(Δ). Αυτό που πρέπει να καθοριστεί είναι η ταχύτητα διάδοσης των επιμήκων κυμάτων, υ, σε συνάρτηση με το βάθος μέσα στη Γη, δηλαδή μία σχέση της μορφής υ=f(h). Η συνάρτηση t=f(Δ) δίνεται, συνήθως, με τη μορφή των πινάκων χρόνων διαδρομής ή, γραφικώς, με τη μορφή καμπύλων χρόνων διαδρομής. Επομένως το αντίστροφο της κλίσης της καμπύλης χρόνων διαδρομής, ισούται με την ταχύτητα στο κατώτερο σημείο του δρόμου που ακολουθεί

η σεισμική ακτίνα. Υπολογίζεται έτσι η ταχύτητα υ_n των κυμάτων στο στρώμα n. Χαρτογραφώντας τους χρόνους διαδρομής των σεισμικών κυμάτων σε συνάρτηση με τις επικεντρικές αποστάσεις των αντίστοιχων σταθμών, χαράζονται οι καμπύλες χρόνων διαδρομής που αντιστοιχούν σε κάθε στρώμα φλοιού και υπολογίζονται οι κλίσεις των ευθειών αυτών. Το αντίστροφο των κλίσεων αυτών εκφράζει τις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα αντίστοιχα στρώματα του φλοιού. Τονίζεται ότι οι καμπύλες χρόνων διαδρομής συνδέουν τον πραγματικό χρόνο διαδρομής του σεισμικού κύματος όχι με τον πραγματικό δρόμο που διέτρεξε το κύμα κατά τη διαδρομή του από την εστία του κύματος μέχρι το σημείο καταγραφής του, άλλα με την απόσταση της κατακόρυφης προβολής της εστίας στην επιφάνεια της Γης (επίκεντρο) από το σημείο αναγραφής.

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι σεισμικές ακτίνες των επιμήκων κυμάτων, P_g, P_b και P_n, τα οποία γεννιούνται στην εστία, F, ενός σεισμού ο οποίος βρίσκεται σε βάθος, h, μέσα στο γρανιτικό στρώμα. Με Σ συμβολίζεται ο σεισμολογικός σταθμός στον οποίο φθάνουν οι σεισμικές ακτίνες. Σημειώνεται ότι τα επιμήκη σεισμικά κύματα P_g είναι αυτά που διαδίδονται μέσα στο γρανιτικό στρώμα με ορισμένη ταχύτητα υ_g, ενώ με P_b, συμβολίζονται τα επιμήκη σεισμικά κύματα που διαδίδονται μέσα στο βασαλτικό στρώμα με ταχύτητα υ_b. Επίσης με P_n, παριστάνονται τα επιμήκη σεισμικά κύματα τα οποία διαδίδονται αμέσως κάτω από το φλοιό, με ταχύτητα υ_n. Όπως παρατηρείται στο σχήμα 3.1, τα κύματα P_g διαδίδονται τη σεισμικών κυμάτων ισχύει ότι υ_g < υ_b < υ_n. Το ευθύγραμμο τμήμα FΣ παριστάνει τη σεισμική ακτίνα. Η ασυνέχεια που χωρίζει το γρανιτικό στρώμα από το βασαλτικό στρώμα στο μανύζει το βασαλτικό στρώμα απο τον μανδύα είναι η ασυνέχεια Mohorovicic.

Οι καμπύλες χρόνων διαδρομής εμφανίζονται συνήθως με σύνθετη μορφή η οποία αντανακλά την πολύπλοκη δομή του εσωτερικού της Γης. Οι καμπύλες αυτές είναι κυρτές, κοντά στην αρχή των αξόνων – χωρίς όμως να διέρχονται από το μηδέν - και κατευθύνονται προς τα πάνω, όσο απομακρύνονται από την αρχή των αξόνων.

Η κυρτότητα η οποία εμφανίζεται στην αρχή των αξόνων οφείλεται στη σχέση που συνδέει το χρόνο διαδρομής, t_g , των κυμάτων P_g και της επικεντρικής απόστασης $E\Sigma = \Delta$ (σχήμα 3.1). Η σχέση αυτή είναι:

$$t_g = \frac{\sqrt{\Delta^2 + h^2}}{\upsilon_g} \qquad (3.5)$$

όπου: h: το εστιακό βάθος του σεισμού

Δ: η επικεντρική απόσταση

υg: η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων μέσα στο γρανιτικό στρώμα.



Σχήμα 3.1. Διάδοση των επιμήκων σεισμικών κυμάτων P_g , P_b , P_n , στην περίπτωση που ο φλοιός αποτελείται από δύο οριζόντια στρώματα. Τα επιμήκη σεισμικά κύματα διαδίδονται από την εστία F του σεισμού στο σεισμολογικό σταθμό Σ. Για τις ταχύτητες διάδοσης των επιμήκων σεισμικών κυμάτων ισχύει ότι $v_g < v_b < v_n$.

Λόγω του τετραγώνου της επικεντρικής απόστασης στη σχέση (3.5), οι καμπύλες χρόνων διαδρομής εμφανίζουν την μικρή καμπυλότητα κοντά στην αρχή των αξόνων. Από τη σχέση αυτή υπολογίζεται η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων μέσα στο γρανιτικό στρώμα. Στην διατριβή αυτή οι επικεντρικές αποστάσεις κυμαίνονται από 0 km έως 600 km και γι' αυτές έγιναν καμπύλες χρόνων διαδρομής οι οποίες δίνονται παρακάτω.

3.2.3. Εφαρμογή της μεθοδολογίας των καμπύλων χρόνων διαδρομής.

Οι καμπύλες χρόνων διαδρομής εκφράζουν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τη δομή του φλοιού και τη δομή αμέσως κάτω από το φλοιό, γιατί η μορφή τους καθορίζεται από την κατανομή των ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων μέσα στο φλοιό και την ταχύτητά τους αμέσως κάτω από το φλοιό. Στην παράγραφο αυτή εφαρμόζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του Πίνακα 3.1 για να παρουσιαστούν οι καμπύλες χρόνων διαδρομής.

Για τον καθορισμό των καμπύλων χρόνων διαδρομής των σεισμικών κυμάτων και των επικεντρικών αποστάσεων, πρέπει να είναι γνωστά με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια οι χρόνοι γένεσης, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου και το εστιακό βάθος. Οι εστιακές παράμετροι των σεισμών που δίνονται στον Πίνακα 3.1 αποτέλεσαν μία επιλεγμένη ομάδα σεισμών, με την βοήθεια των οποίων έγινε ο προσδιορισμός του μοντέλου της υπό μελέτη περιοχής, χρησιμοποιώντας τις καμπύλες χρόνων διαδρομής.

Οι σεισμοί του Πίνακα 3.1 καταγράφηκαν από σταθμούς του μόνιμου δικτύου του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., αλλά και από σταθμούς Βαλκανικών χωρών. Ο Πίνακας 3.2 περιέχει πληροφορίες για όλους τους σταθμούς οι οποίοι έγραψαν τους χρόνους άφιξης των επιμήκων κυμάτων των 58 σεισμών του Πίνακα 3.1. Στην πρώτη στήλη γράφεται η κωδική ονομασία του σταθμού, στη δεύτερη στήλη η ονομασία του σταθμού, στην τρίτη και τέταρτη στήλη το γεωγραφικό πλάτος και μήκος αντίστοιχα, στην πέμπτη στήλη δίνεται το υψόμετρο του σταθμού και στην έκτη στήλη η χώρα στην οποία ανήκει ο κάθε σταθμός.

Πίνακας 3.2. Στοιχεία των μόνιμων σεισμολογικών σταθμών του δικτύου του Τομέα Γεωφυσικής και ορισμένων Βαλκανικών χωρών, οι οποίοι έγραψαν χρόνους άφιζης των επιμήκων κυμάτων των 58 σεισμών του Πίνακα 3.1.

Κωδική		Γεωγραφικές		Vinteració	
ονομασία	Θέση σταθμού	συντετα	ιγμένες	ι ψομετρο	Χώρα
σταθμού		φ° (N)	λ° (E)	(m)	
THE	Θεσσαλονίκη	40.632	23.592	70	Ελλάδα
SOH	Σοχός	40.820	23.35	670	"
KNT	Κεντρικό	41.162	22.898	380	"
GRG	Γρίβα	40.957	22.401	560	"
SRS	Σέρρες	41.117	23.592	400	"
PAIG	Παλιούρι	39.927	23.680	140	"
LIT	Λιτόχωρο	40.101	22.490	480	"
OUR	Ουρανούπολη	40.334	23.982	60	"
XOR	Ξορύχτι	39.366	23.192	500	"
AOS	Αλόννησος	39.170	23.880	200	"
AGG	Άγιος Γεώργιος	39.022	22.330	540	"
ALN	Αλεξανδρούπολη	40.885	26.046	110	"
LOS	Λήμνος	39.933	25.081	460	"
KZN	Κοζάνη	40.307	21.771	900	"
FNA	Φλώρινα	40.784	21.382	750	"
IGT	Ηγουμενίτσα	39.533	20.333	320	"
ATH	Αθήνα	37.972	23.717	95	"
LKD	Λευκάδα	38.707	20.651	1140	"

Κωδική ονομα σ ία	Θέση σταθμού	Γεωγραφικές συντεταγμένες		Υψόμετρο	Χώρα	
σταθμού		φ° (N)	λ° (E)	(m)		
PLG	Πολύγυρος	40.374	23.446	580	"	
NEO	Νεοχώρι	39.307	23.224	500	"	
PRK	Παρασκευή	39.246	26.272	100	"	
RDO	Ροδόπη	41.146	25.538	100	"	
PTL	Πεντέλη	38.049	23.865	500	"	
EVR	Ευρυτανία	38.917	21.809	1050	"	
VLI	Βελιές	36.718	22.937	220	"	
APE	Απείρανθος	37.069	25.530	620	"	
VAY	Valandovo	41.321	22.570	168	Γιουγκοσλαβί	
BARS	Barje	42.820	21.825	0	"	
PLE	Pljevlja	43.330	19.394	1181	"	
MMB	Musomishta	41.589	23.728	606	Βουλγαρία	
KKB	Krupnik	41.867	23.083	434	"	
RZN	Rozhen	41.688	24.716	1730	"	
PLD	Plovdiv	42.105	24.703	176	"	
VTS	Vitosha	42.592	23.208	1490	"	
PGB	Panagyurishte	42.550	24.167	775	"	
PVL	Pavlikeni	43.217	25.333	97	"	
SZH	Strazhitsa	43.267	25.933	310	"	
KDZ	Kurdzhali	41.650	25.417	409	"	
MLR	Muntele Rosu	45.491	25.945	1360	Ρουμανία	
LSK	Leskovik	40.150	20.600	920	Αλβανία	


Στο χάρτη του σχήματος 3.2 δίνονται οι θέσεις των σταθμών που περιγράφηκαν στον Πίνακα 3.2.

Σχήμα 3.2. Οι θέσεις των μόνιμων σεισμολογικών σταθμών της Ελλάδας, Βουλγαρίας, Γιουγκοσλαβίας, Αλβανίας και Ρουμανίας. Από τους σταθμούς αυτούς γράφτηκαν οι 58 σεισμοί των οποίων οι εστιακές παράμετροι δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν 01 καμπύλες γρόνων διαδρομής χρησιμοποιώντας την επιλεγμένη ομάδα σεισμών. Όταν η εστία του σεισμού βρίσκεται μέσα στο επιφανειακό στρώμα του φλοιού και η ταχύτητα διάδοσης υ_g, παραμένει σταθερή μέσα το στρώμα αυτό, ο χρόνος διαδρομής, tg, των κυμάτων αυτών σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, Δ και το εστιακό βάθος h δίνεται από τη σχέση (3.5). Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι για να γίνουν οι καμπύλες χρόνων διαδρομής είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε για κάθε σεισμό το εστιακό του βάθος, το χρόνο διαδρομής, tg, του απ' ευθείας κύματος μέχρι ορισμένο σταθμό και την αντίστοιχη επικεντρική απόσταση. Τα στοιχεία αυτά υπολογίσθηκαν με τη χρήση του προγράμματος ΗΥΡΟ71 για τους σεισμούς του Πίνακα 3.1. Σημειώνεται ότι στους υπολογισμούς που έγιναν με βάση τη σχέση (3.5) χρησιμοποιήθηκε η υποκεντρική απόσταση, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$d = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \qquad (3.6)$$

όπου: d: είναι η υποκεντρική απόσταση,

Δ: η επικεντρική απόσταση,

h: το εστιακό βάθος.

Επομένως η σχέση (3.5) γράφεται τώρα ως :

$$t_g = \frac{d}{\nu_g} \qquad (3.7)$$

Η σχέση (3.7) είναι γραμμική σχέση γι' αυτό και οι καμπύλες χρόνων διαδρομής που υπολογίστηκαν ήταν ευθείες γραμμές. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής, σε συνάρτηση με τις υποκεντρικές αποστάσεις. Οι υποκεντρικές αποστάσεις κυμαίνονται από 0 km έως περίπου 600 km. Παρατηρείται ότι η καμπύλη που χαρτογραφήθηκε παρουσιάζει τρεις κλίσεις. Η μία κλίση είναι από τα 0 km έως τα 45 km, η δεύτερη κλίση από τα 45 km έως τα 160 km και η τρίτη από τα 160 km έως τα 600 km. Επομένως για υποκεντρική απόσταση από 0 km-160 km μελετήθηκαν οι καμπύλες χρόνων διαδρομής των P_g κυμάτων και από 160 km–600 km μελετήθηκαν οι καμπύλες χρόνων διαδρομής των P_n κυμάτων. Από τις κλίσεις των τριών αυτών ευθειών, οι οποίες δίνουν το λόγο $\frac{1}{\nu}$, υπολογίζεται η ταχύτητα υ. Στα σχήματα 3.4 (α), (b) και (c) δίνονται πιο λεπτομερειακά οι καμπύλες χρόνων διαδρομής και οι κλίσεις των τριών ευθειών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

υπολογίστηκε η ταχύτητα του πάνω στρώματος, $v_0 = 6.25$ km/sec. Επίσης από το αντίστροφο της κλίσης της ευθείας στο σχήμα 3.4 (b), βρέθηκε ταχύτητα ίση με v_1 =6.45 km/sec. Τέλος στο σχήμα 3.4 (c), υπολογίσθηκε η ταχύτητα στο χαμηλότερο στρώμα και βρέθηκε ίση με v_2 =7.94 km/sec.



Σχήμα 3.3. Καμπύλη χρόνων διαδρομής για τους σεισμούς του πίνακα 3.1. Η γραφική αυτή παράσταση εκφράζει το χρόνο διαδρομής του απ' ευθείας κύματος μέχρι ένα ορισμένο σταθμό σε συνάρτηση με την υποκεντρική απόσταση, γι' αυτό και βγαίνει ευθεία που περνά από την αρχή των αζόνων.



Σχήμα 3.4. α) Κλίση της καμπύλης χρόνων διαδρομής από 0 km έως 45 km. Η ταχύτητα στο στρώμα αυτό βρέθηκε ίση με v_0 =6.25 km/sec και υπολογίστηκε από το αντίστροφο της κλίσης της ευθείας που σχηματίσθηκε. b) Με όμοιο τρόπο η ταχύτητα από τα 40 km έως τα 160 km βρέθηκε ίση με v_1 =6.45 km/sec. c) Η ταχύτητα για επικέντρικες αποστάσεις από 160 km έως τα 600 km βρέθηκε ίση με v_3 =7.94 km/sec.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (3.2), (3.3) και (3.4) βρέθηκαν τα πάχη των στρωμάτων που αντιστοιχούν στις υπολογιζόμενες ταχύτητες για κάθε στρώμα. Στον Πίνακα 3.3 δίνονται οι τιμές των ταχυτήτων που υπολογίστηκαν με βάση τις καμπύλες χρόνων διαδρομής. Οι δύο πρώτες τιμές ταχυτήτων αντιστοιχούν σε ταχύτητες υ_g, ενώ η τρίτη αντιστοιχεί σε ταχύτητα διάδοσης των επιμήκων κυμάτων, υ_n. Στην τρίτη στήλη του Πίνακα 3.3 δίνονται τα πάχη των στρωμάτων που αντιστοιχούν όπως υπολογίστηκαν από τις σχέσεις (3.2), (3.3) και (3.4).

Πίνακας 3.3. Τιμές της ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων στο γρανιτικό, υ_g και μέχρι την ασυνέχεια Mohorovicic, υ_n, όπως υπολογίστηκαν με βάση τις αντίστροφες κλίσεις των καμπύλων χρόνων διαδρομής. Επίσης δίνονται και τα βάθη που αντιστοιχούν στις ταχύτητες αυτές.

V _p (km/sec)	Βάθος (km)
6.25	
6.45	10
7.94	23.16

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.3 μέχρι το βάθος των 20 km αντιστοιχεί ταχύτητα 6.25 km/sec. Στο επόμενο στρώμα η ταχύτητα παίρνει τιμή ίση με 6.45 km/sec μέχρι το βάθος του δεύτερου στρώματος στα 23.16 km. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με το μοντέλο το οποίο προτάθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο και αφορούσε σεισμούς του τοπικού δικτύου (Πίνακας 2.6), παρατηρήθηκε ότι τα δύο μοντέλα βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία. Δηλαδή, στο μοντέλο δομής ταχυτήτων φλοιού που προτάθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας τους σεισμούς του τοπικού δικτύου, παρατηρήθηκε μία τιμή ταχύτητας 6.27 km/sec μέχρι τα 10 km βάθος και στον Πίνακα 3.3, όπως φαίνεται, υπολογίστηκε μία τιμή ταχύτητας κοντά στην τιμή 6.27 km/sec (είναι 6.25 km/sec) μέχρι βάθος 10 km. Επειδή όμως κατά τον υπολογισμό των καμπύλων χρόνων διαδρομής υπάρχει διασπορά των σημείων όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.4 και επειδή λόγω αυτής της διασποράς η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων είναι πολύ ευαίσθητη (δηλαδή μπορεί η κλίση της να αλλάξει εύκολα ανάλογα με τα σημεία που θα υπάρχουν) γι' αυτό και έγινε αποδεκτό ένα ακόμη στρώμα το οποίο υπολογίστηκε στο τοπικό μοντέλο. Άρα μέχρι τα 20 km υπάρχει ένα στρώμα ταχύτητας 6.30 km/sec. Το μοντέλο δομής φλοιού που τελικά προτάθηκε για την υπό μελέτη περιοχή και για σεισμούς που γράφτηκαν από ένα πιο ευρύ δίκτυο απ' ότι το τοπικό δίκτυο δίνεται στον Πίνακα 3.4. Λόγω καλής συμφωνίας των προτεινόμενων μοντέλων του Πίνακα 3.3 και του Πίνακα 2.6 (δεύτερο κεφάλαιο), μέχρι το βάθος των 8 km (στον Πίνακα 3.4), δηλαδή για τα υπόλοιπα στρώματα του φλοιού και τον ημιγώρο, έγινε αποδεκτό το προτεινόμενο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό όλων των σεισμών που καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο. Με την εφαρμογή δηλαδή των καμπύλων χρόνων διαδρομής δόθηκαν πληροφορίες για τη διάδοση των σεισμικών ακτινών

μέσα στο φλοιό μέχρι την ασυνέχεια Mohorovicic οπότε συμπληρώθηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων (km/sec)	Βάθος (km)
4.00	0.00
5.29	1.00
5.36	1.50
5.76	2.00
5.79	3.00
6.16	4.00
6.23	6.00
6.27	8.00
6.30	10.00
6.45	20.00
7.94	26.13

Πίνακας 3.4. Προτεινόμενο μοντέλο δομής φλοιού για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

3.2.4. Προσδιορισμός του λόγου της ταχύτητας των επιμήκων, V_p, προς των εγκαρσίων κυμάτων, V_s, για την περιοχή

Προκειμένου να επιτευχθεί ο ακριβής υπολογισμός των εστιακών παραμέτρων, εκτός από την εύρεση του μοντέλου για την περιοχή, υπολογίστηκε και ο λόγος ταχυτήτων των επιμήκων σεισμικών κυμάτων προς την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο εκτός από τη γνώση της μεταβολής της διάδοσης των επιμήκων κυμάτων με το βάθος μέσα στο φλοιό χρειάζεται και η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων μέσα στο φλοιό. Όμως επειδή ο προσδιορισμός των χρόνων άφιξης μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα κατά τη μέτρησή του υπολογίζεται ο λόγος ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων, V_p, προς την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων V_s, διότι δεν επηρεάζεται από σφάλματα στο χρόνο γένεσης και στις συντεταγμένες της εστίας. Για τον υπολογισμό του λόγου αυτού χρησιμοποιήθηκε η σχέση (2.3), που δίνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι χρόνοι άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων (t_{pobs} και t_{sobs}, αντίστοιχα) και οι επικεντρικές αποστάσεις που εφαρμόστηκαν, αφορούσαν τους επιλεγμένους 58 σεισμούς.

Έχοντας ως δεδομένα τους χρόνους άφιξης για κάθε ένα σεισμό υπολογίστηκε ο λόγος t_{sobs}/t_{pobs} για κάθε ένα σεισμό και κατόπιν βρέθηκε για όλες τις μετρήσεις ο μέσος όρος του λόγου αυτού που ισούται με το λόγο V_p/V_s. Ο λόγος αυτός χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών στους οποίους έγινε επιλογή ανάλογα με τα σφάλματά τους (επιλεγμένη ομάδα 58 σεισμών), αλλά και για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων όλων των σεισμών.

Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το ιστόγραμμα της συχνότητας των λόγων των ταχυτήτων V_p/V_s , καθώς και ο μέσος όρος του λόγου αυτού που βρέθηκε ίσος με 1.78.



Σχήμα 3.5. Ιστόγραμμα συχνότητας των λόγων ταχυτήτων V_p/V_s . Υπολογίστηκε για κάθε σεισμό ο λόγος $t_{sobs}/t_{pobs} = V_p/V_s$ ο μέσος όρος των λόγων αυτών βρέθηκε ίσος με 1.78.

3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΙΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκε ότι έγινε συλλογή δεδομένων από τα δελτία του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου, ISC, (International Seismological Centre) και από τα δελτία του Σεισμολογικού Σταθμού του Τομέα Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., οπότε δημιουργήθηκε ένα αρχείο που περιείχα χρόνους άφιξης επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων για 3035 σεισμούς. Στον αρχείο αυτό εφαρμόστηκε το προτεινόμενο μοντέλο του Πίνακα 3.4 με σκοπό να βρεθούν οι εστιακές παράμετροι των σεισμών αυτών.

Για ακριβέστερο υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων χρειάστηκε να γίνουν διορθώσεις στους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στον κατάλογο αυτό. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι σεισμοί εκείνοι οι οποίοι ήταν κοινοί με τα πειράματα που έγιναν στην Θεσσαλονίκη και στην ευρύτερη περιοχή της. Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2.1. οι σεισμοί αυτοί ήταν 70 και μέσα σ' αυτούς συμπεριλαμβάνονται και οι 58 σεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μοντέλου δομής του φλοιού.

Για τους 70 αυτούς σεισμούς υπολογίστηκαν οι εστιακές τους παράμετροι, εφαρμόζοντας το προτεινόμενο μοντέλο το οποίο δίνεται στον Πίνακα 3.4. Στον Πίνακα 3.5 δίνονται η χρονολογία γένεσης, η ημερομηνία γένεσης και ο χρόνος γένεσης του σεισμού, στη δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη, αντίστοιχα, στην πέμπτη και έκτη στήλη δίνονται οι εστιακές συντεταγμένες, στην έβδομη στήλη το εστιακό βάθος και στην όγδοη, έβδομη και ένατη στήλη δίνονται τα μέσα σφάλματα RMS, ERH και ERZ αντίστοιχα.

Πίνακας 3.5.	Πληροφορίες γι	α τις εστιακέ	ς παραμέτρο	υς των 70	σεισμών.	Οι παράμετροι	των
	σεισμών υπολογ	νίστηκαν εφαμ	ομόζοντας το	μοντέλο π	του δίνεται	στον Πίνακα 3	.4.

	Χρόνος γέ	νεσης		Εστι Συντετα	ακές ινμένες	Εστιακό βάθος	RMS	ERH	ERZ
α/α	Χρονολογία	Ημερομηνία	Ώρα	φ (°N)	λ (°E)	(km)	(sec)	(km)	(km)
1	1984	23-Μαρ	15:29:30	40.844	22.895	11.2	0.5	1.0	1.9
2	1984	27-Μαρ	23:07:23	40.675	23.036	11.1	0.5	1.2	1.8
3	1984	29-Μαρ	15:41:04	40.616	23.024	7.0	0.6	0.9	1.3
4	1984	1-Απρ	04:07:08	40.740	23.282	10.5	0.4	1.3	2.5

	Χρόνος γέ	νεσης		Εστι	ακές	Εστιακό	DMC	EDU	ED7
a/a				Συντετα	ιγμένες	βάθος	KINIS (Sec)	ERN (km)	ERZ (km)
<i>a</i> / <i>a</i>	Χρονολογίο	ι Ημερομηνία	ι Ώρα	φ (°N)	λ (°E)	(km)	(000)	(111)	(111)
5	1984	1-Απρ	04:11:27	40.739	23.282	10.8	0.4	0.6	1.2
6	1984	6-Απρ	06:47:48	40.681	23.050	9.4	0.5	1.4	2.7
7	1984	6-Απρ	22:08:15	40.684	23.416	6.1	0.4	1.6	7.1
8	1985	29-Απρ	12:13:52	40.645	23.434	10.4	0.5	1.3	3.3
9	1985	30-Απρ	25:08:06	40.643	23.444	1.3	0.7	2.3	5.4
10	1985	1-Μαϊ	10:55:21	40.626	23.473	9.7	2.5	5.4	6.5
11	1985	10-Μαϊ	21:07:20	40.234	23.260	6.5	1.6	3.5	4.7
12	1985	15-Μαϊ	22:10:01	40.767	23.184	11.2	0.3	0.8	1.7
13	1985	23-Μαϊ	19:59:32	40.565	22.885	9.0	3.0	4.9	6.7
14	1999	11-Окт	19:32:44	40.783	23.014	1.9	0.6	1.1	2.4
15	2001	22-Ιουλ	15:21:15	40.737	22.729	16.6	0.9	2.1	2.7
16	2001	10-Αυγ	21:49:39	40.673	23.375	18.6	1.7	3.4	3.0
17	2001	11-Aυγ	18:44:49	40.662	23.435	17.8	1.3	1.9	1.7
18	2001	21-Αυγ	06:01:22	40.720	23.125	4.1	0.7	1.4	9.8
19	2001	3-Σεπ	10:04:16	40.679	23.080	10.3	0.6	2.6	5.1
20	2001	15-Σεπ	17:47:13	40.813	22.995	11.2	0.7	1.2	1.5
21	2001	7-Окт	11:08:21	40.905	22.926	9.0	0.8	0.7	5.2
22	2001	8-Окт	04:50:21	40.596	23.113	13.7	1.7	2.2	2.4
23	2001	8-Окт	05:10:09	40.613	23.162	12.2	1.3	1.6	3.6
24	2001	8-Окт	05:18:22	40.590	23.181	14.2	0.6	1.2	3.6
25	2001	8-OKT	05:21:44	40.603	23.131	13.0	0.7	2.0	4.3
26	2001	8-OKT	05:26:44	40 593	23 116	13.7	19	2.0	21
27	2001	8-0kt	05.28.44	40 595	23 164	13.7	0.8	14	2.6
28	2001	8-0kt	05.20.11	40 589	23 145	14.4	0.5	0.9	23
29	2001	8-0kt	05:32:16	40 589	23 126	13.6	23	33	35
20	2001	8-0kt	05.36.20	40.505	23.120	13.0	0.7	1.0	0.0 1 ∕I
31	2001	8-0KT	05.30.20	40.500	23.140	12.0	2.6	1.0 3.4	6.2
32	2001		05.42.00	40.502	23.150	12.3	2.0 0.8	0.4	0.2
22	2001		05.42.00	40.505	23.109	12.4	0.0	0.0	0.0 5.2
34	2001		05.44.10	40.565	23.101	13.2	0.9	2.0	0.Z
25	2001		05.45.17	40.000	23.150	14.1	0.7	3.0	7.5
30 26	2001		05.40.00	40.000	23.130	10.0	0.7	1.3	3.0 0.0
30 27	2001		05.50.29	40.002	20.170	13.2	0.9	0.0	0.0
37 20	2001		05.50.43	40.600	23.133	13.0	2.9	0.7	1.4
38	2001		05:55:37	40.608	23.103	12.5	0.4	0.0	0.0
39	2001		05:58:20	40.593	23.139	14.2	0.7	1.8	3.9
40	2001		06:00:45	40.601	23.147	14.1	0.7	1.3	3.0
41	2001		06:12:41	40.611	23.174	13.0	0.6	1.6	4.6
42	2001		06:24:23	40.601	23.138	13.8	0.8	1.4	3.0
43	2001	8-OKT	06:26:49	40.597	23.122	13.6	0.7	1.6	3.3
44	2001	8-Окт	06:33:35	40.597	23.122	14.4	0.8	1.1	2.4
45	2001	8-Окт	06:52:48	40.593	23.124	14.7	1.6	2.2	2.3
46	2001	8-Окт	06:55:29	40.599	23.111	13.2	1.5	2.4	2.7
47	2001	8-Окт	06:58:05	40.598	23.115	13.7	0.6	1.3	2.9
48	2001	8-Окт	07:04:27	40.588	23.133	13.1	2.5	2.5	3.7
49	2001	8-Окт	07:11:49	40.592	23.128	13.0	0.6	1.2	3.1
50	2001	8-Окт	07:15:19	40.588	23.134	14.1	0.5	1.4	2.7
51	2001	8-Окт	07:16:09	40.593	23.128	14.1	0.6	0.7	1.2
52	2001	8-Окт	07:25:54	40.591	23.125	14.5	1.9	3.2	4.5

	Χρόνος γέν	νεσης		Εστι Συντετα	ακές ινμένες	Εστιακό βάθος	RMS	ERH	ERZ
α/α	Χρονολογία	Ημερομηνία	Ώρα	φ (°N)	λ (°E)	(km)	(sec)	(km)	(km)
53	2001	8-Окт	07:33:28	40.602	23.154	14.0	0.7	1.8	4.3
54	2001	8-Окт	07:54:51	40.602	23.134	14.4	0.6	2.2	4.3
55	2001	8-Окт	07:58:32	40.590	23.157	13.6	0.5	0.9	2.7
56	2001	8-Окт	08:00:25	40.590	23.125	13.5	2.2	2.3	2.5
57	2001	8-Окт	08:08:20	40.612	23.133	15.8	0.8	1.3	2.5
58	2001	8-Окт	08:21:26	40.595	23.128	14.4	0.6	0.9	1.4
59	2001	8-Окт	19:04:58	40.595	23.139	13.7	0.4	0.7	1.0
60	2001	11-Окт	16:31:46	40.584	23.152	12.7	0.4	0.9	2.4
61	2001	31-Окт	15:47:56	40.586	23.132	14.7	0.7	1.3	2.6
62	2001	25-Νοε	20:09:46	40.590	23.183	14.4	0.8	1.0	2.8
63	2002	24-Φεβ	09:31:13	40.929	22.967	19.6	1.2	3.6	9.5
64	2002	24-Φεβ	21:50:57	40.575	23.257	16.7	0.6	2.6	7.1
65	2002	7-Μαρ	08:08:12	40.747	22.718	19.3	0.8	2.1	1.9
66	2002	13-Απρ	08:10:41	40.702	23.132	10.3	0.6	1.2	1.7
67	2002	13-Απρ	08:13:34	40.707	23.132	10.5	0.8	2.0	5.1
68	2002	13-Απρ	13:52:41	40.710	23.127	10.0	0.5	1.5	3.6
69	2002	13-Απρ	17:46:06	40.699	23.139	10.6	0.7	2.2	5.3
70	2002	16-Απρ	11:11:39	40.682	23.169	8.0	0.7	1.4	8.2

Για να γίνουν οι διορθώσεις στους σταθμούς υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος HYPO71, τα μέσα χρονικά υπόλοιπα (βλ. παράγραφο 2.3), κάθε σταθμού του μόνιμου δικτύου για την ομάδα των 70 σεισμών. Στο σχήμα 3.5, δίνεται η συχνότητα εμφάνισης των χρονικών υπολοίπων για κάθε σταθμό. Οι μέσοι όροι, των χρονικών υπολοίπων, που υπολογίστηκαν από τα ιστογράμματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι χρονικές διορθώσεις στους σταθμούς.



Σχήμα 3.6. Διαγράμματα συχνότητας των χρονικών υπολοίπων για κάθε σταθμό.





Τα ιστογράμματα του σχήματος 3.6, αντιστοιχούν σε ορισμένους μόνο σταθμούς. Για τους υπόλοιπους σταθμούς, για τους οποίους δεν έγιναν ιστογράμματα, υπολογίσθηκαν οι μέσοι όροι των χρονικών υπολοίπων χωρίς να γίνουν ιστογράμματα διότι για τους σταθμούς αυτούς υπήρχε περιορισμένος αριθμός παρατηρήσεων χρονικών υπολοίπων. Στον Πίνακα 3.5 δίνονται οι μέσες τιμές των χρονικών υπολοίπων για όσους σταθμούς υπολογίστηκαν.

Κωδική ονομασία	@ ⁰ (N)	<u>کې (آل)</u>	Μέσο χρονικό
σταθμού	ψ(Π)	λ (E)	υπόλοιπο (sec)
AGG	39.022	22.330	1.14
ALN	40.885	26.046	0.14
AOS	39.170	23.880	0.83
XOR	39.366	23.192	0.86
FNA	40.784	21.382	1.65
GRG	40.957	22.401	0.35
KNT	41.162	22.898	0.00
LIT	40.101	22.490	0.17
MMB	41.589	23.728	-0.31
NEO	39.307	23.224	1.1
OUR	40.334	23.982	-0.09
PAIG	39.927	23.680	-0.40
PGB	42.550	24.167	1.23
RZN	41.688	24.716	1.32
SOH	40.820	23.35	-0.11
SRS	41.117	23.592	0.05
THE	40.632	23.592	-0.40

Πίνακας 3.5. Μέση τιμή των χρονικών υπολοίπων των σταθμών καταγραφής.

Υπολογίστηκαν δηλαδή τα μέσα χρονικά υπόλοιπα από μια ομάδα επιλεγμένων σεισμών. Οι μέσες αυτές τιμές χρησιμοποιήθηκαν σε όλους τους 3035 σεισμούς που καταγράφηκαν από το μόνιμου τηλεμετρικού δικτύου και από τα τοπικά δίκτυα των πειραμάτων που έγιναν στην περιοχή και ανφέρθηκαν παραπάνω. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τους σταθμούς αυτούς, τις χρονικές διορθώσεις και τους χρόνους άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων όλων των σεισμών, υπολογίστηκαν οι βασικές παράμετροι των εστιών των σεισμών με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος HYPO71, οπότε προέκυψε ο τελικός κατάλογος σεισμών για την περιοχή μελέτης.

Για να γίνει ακριβέστερος ο κατάλογος ο οποίος αποτελείται από 3035 σεισμούς, έπρεπε να υπολογιστούν τα εστιακά βάθη των σεισμών καθώς και τα μεγέθη τους. Επειδή όμως στον κατάλογο συμπεριλαμβάνονταν και σεισμοί των οποίων τα εστιακά βάθη και τα μεγέθη είχαν υπολογιστεί από τα προαναφερθέντα πειράματα, επομένως θεωρούνται αξιόπιστες οι τιμές τους, για το λόγο αυτό οι σεισμοί αυτοί αφαιρέθηκαν από τον κατάλογο.

Για τους υπόλοιπους 2538 σεισμούς χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN (sdepth και sselid), ώστε να υπολογιστούν τα εστιακά τους βάθη. Σύμφωνα με τα προγράμματα αυτά, επιλεγόταν το βάθος που αντιστοιχούσε στο μικρότερο σφάλμα RMS, ERH και ERZ. Το βάθος αυτό κατόπιν εισαγόταν στον κατάλογο ως εστιακό βάθος του σεισμού (μέθοδος αρχικών βαθών). Υπολογίστηκαν έτσι τα αρχικά βάθη για όλους τους σεισμούς.

Κατόπιν εισήχθησαν στον κατάλογο τα μεγέθη των σεισμών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος του Τομέα Γεωφυσικής ο οποίος περιέχει μεγέθη σεισμών για την περιοχή μελέτης και για το χρονικό διάστημα που μας ενδιαφέρει, δηλαδή από το 1981 έως τον Σεπτέμβριο του 2002. Βρέθηκαν οι κοινοί χρόνοι γένεσης των σεισμών του καταλόγου αυτού με τον κατάλογο των σεισμών του μόνιμου δικτύου. Τα μεγέθη τα οποία αντιστοιχούσαν στους κοινούς αυτούς σεισμούς είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στον κατάλογο των σεισμών. Ο τελικός κατάλογος των σεισμών μαζί με τις εστιακές παραμέτρους, τα μεγέθη, τα σφάλματα στους υπολογισμούς του χρόνου RMS (σε sec), του επικέντρου ERH (σε km), του εστιακού βάθους ERZ (σε km) και το πλήθος των φάσεων Ν, που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό δίνεται στο παράρτημα Α, στο τέλος αυτής της διατριβής ειδίκευσης.

3.4. ΑΚΡΙΒΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΑΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι σεισμοί οι οποίοι καταγράφηκαν κατά το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 1981 έως Σεπτέμβριος του 2002, από το μόνιμο τηλεμετρικό δίκτυο ήταν, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, 2538. Για να διαπιστωθεί η ακρίβεια υπολογισμού των εστιακών παραμέτρων για τους σεισμούς αυτούς πραγματοποιήθηκαν διαγράμματα συχνότητας του RMS (σχ. 3.7), του ERH (σχ. 3.8) και του ERZ (σχ. 3.9). Δύο άλλες χρήσιμες παράμετροι, των οποίων τα ιστογράμματα φαίνονται στο σχήμα 3.10 και 3.11, είναι το μέγιστο αζιμουθιακό κενό, GAP, μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών που κατέγραψαν ένα σεισμό και το εστιακό βάθος του σεισμού, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.7. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών RMS, για τους 2538 σεισμούς.



Σχήμα 3.8. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών ERH, για τους 2538 σεισμούς.



Σχήμα 3.9. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών ERZ, για τους 2538 σεισμούς.



Σχήμα 3.10. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών GAP, για τους 2538 σεισμούς.



Σχήμα 3.11. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών των εστιακών βαθών, για τους 2538 σεισμούς.

Όπως προέκυψε από τις κατανομές των σχημάτων 3.7, 3.8 και 3.9 το μέσο σφάλμα στους υπολογισμούς των χρόνων γένεσης είναι 0.28 sec, η μέση τιμή του σφάλματος στον υπολογισμό των επικέντρων είναι 1.42 km και το μέσο σφάλμα στους υπολογισμούς των εστιακών βαθών είναι 4.27 km. Οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κυμαίνονται από 0 έως 0.7 sec, ενώ παρατηρείται μία συγκέντρωση τιμών στο διάστημα από 0.1 sec έως 0.4 sec. Στο σχήμα 3.8, όπου δίνεται το ιστόγραμμα του σφάλματος υπολογισμού του επικέντρου παρατηρείται μία συγκέντρωση τιμών από 0.5 km έως 2 km και στο σχήμα 3.10 οι περισσότερες τιμές των σφαλμάτων υπολογισμού του εστιακού βάθους του σεισμού κυμαίνονται από 1 km έως 5 km.

Στο σχήμα 3.11, δίνεται το ιστόγραμμα των εστιακών βαθών, όπου παρατηρείται ότι οι περισσότεροι σεισμοί έχουν βάθος από 3 km έως 10 km. Ο μέσος όρος των εστιακών βαθών είναι ίσος με 8.7 km, δηλαδή οι σεισμοί έγιναν στο ανώτερο στρώμα του φλοιού. Όπως έχει διαπιστωθεί από έρευνες που έχουν γίνει για τον ελληνικό χώρο το πάχος του επιφανειακού σεισμογόνου στρώματος στην Ελλάδα καλύπτει τα πρώτα 20 km του φλοιού (Scordilis et al., 1989) που βρίσκεται σε συμφωνία με το μέσο εστιακό βάθος των 8.7 km που υπολογίστηκε για τους σεισμούς της υπό μελέτης περιοχής.

Στο σχήμα 3.12 δίνεται ένας χάρτης της περιοχής όπου έχουν χαρτογραφηθεί όλα τα επίκεντρα των 2538 σεισμών. Τα κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4.5. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα επίκεντρα των σεισμών που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 3.0 και μικρότερο του 4.5 και με πράσινο χρώμα τα επίκεντρα των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ίσο του 2.0 και μικρότερο του 3.0. Τέλος το μαύρο χρώμα αντιπροσωπεύει σεισμούς με μέγεθος μικρότερο του 2.0 και μεγαλύτερο του 0.5.



Σεπτέμβριος 2002. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι σεισμοί με μέγεθος ίσο ή πάνω από 4.5. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 3.0 και μικρότερο του 4.5 και με πράσινο χρώμα απεικονίζονται με μέγεθος μεγαλύτερο ίσο του 2.0 και μικρότερο του 3.0. Το μαύρο χρώμα αντιστοιχεί σε επίκεντρα σεισμών με μέγεθος μικρότερο του 2.0 και μεγαλύτερο του 0.5

3.5 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

3.5.1. Εισαγωγή

Το μέγεθος του σεισμού αποτελεί το μέτρο της σεισμικής ενέργειας που εκλύεται στην εστία του σεισμού κατά τη γένεσή του. Η πρώτη κλίμακα σεισμικού μεγέθους ορίστηκε από τον Charles Richter (1935). Στη συνέχεια ονομάστηκε κλίμακα τοπικού μεγέθους M_L.

Η πρώτη αξιόλογη προσπάθεια για τον υπολογισμό μεγεθών από αναγραφές σεισμογράφων στην Ελλάδα έγινε από τους Papazachos and Vasilicou (1967), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το μέσο όρο των μέγιστων πλατών (για επικεντρική απόσταση μέχρι 600 km) στις δύο οριζόντιες συνιστώσες (B-N και A-Δ) των σεισμογράφων Wiechert και Mainka που είναι εγκατεστημένοι στο σεισμολογικό σταθμό της Αθήνας. Καταγραφές των ίδιων οργάνων χρησιμοποίησαν αργότερα οι Papazachos and Comninakis (1971), για να υπολογίσουν τα μεγέθη σεισμών ενδιαμέσου βάθους (60 km \leq h \leq 180 km).

Έχουν προταθεί διάφορες σχέσεις για τους υπολογισμούς των μεγεθών. Ο υπολογισμός του τοπικού μεγέθους στηρίζεται σε καταγραφές σεισμογράφων Wood-Anderson (T₀=0.8 sec, στατιστική μεγέθυνση V=208±60, Uhrhammer and Collins, 1990). Τον Ιανουάριο του1981 το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης εγκατέστησε και λειτουργεί στη Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα ένα δίκτυο 15 σεισμολογικών σταθμών με καλά βαθμολογημένα όργανα. Κάθε σταθμός είναι εφοδιασμένος με τριών συνιστωσών (κατακόρυφο, B-N και A-Δ) βραχείας περιόδου (1sec) σεισμόμετρα (Teledyn-Geotech S-13 model). Τα εδαφικά πλάτη, όπως υπολογίζονται από τις καταγραφές των σταθμών, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του τοπικού μεγέθους, M_L^* , σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_{L}^{*} = Loga + 2.32 LogR - 1.07 + C_{s}, \quad 3.0 \le M_{L} \le 6.0 \quad \Delta > 100 \text{ km} \quad (3.8\alpha)$$

 $M_{L}^{*} = Loga + 1.199 Log\Delta - 1.268 + C_{s}^{'}, \quad M_{L} < 3.0 \quad 10 \text{ km} \le \Delta \le 100 \text{ km} \quad (3.8\beta)$

όπου α το εδαφικό πλάτος (σε μm) που αντιστοιχεί στο μέγιστο πλάτος καταγραφής, R η υποκεντρική απόσταση, Δ η επικεντρική απόσταση του σταθμού και C_s , C_s σταθερές διορθώσεις για κάθε σταθμό. (Kiratzi and Papazachos, 1984; Σκορδύλης 1985; Kiratzi and Papazachos 1986).

Για τον προσδιορισμό του μεγέθους από τη διάρκεια καταγραφής, D, των σεισμών στους σεισμολογικούς σταθμούς του δικτύου σεισμογράφων του Εργαστηρίου Γεωφυσικής προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$M_{L}^{*} = M_{D} = C_{0} + 1.97 Log D + 0.0012\Delta, \quad \Delta > 100 \text{km} \quad (3.9\alpha)$$
$$M_{L}^{*} = M_{D} = C_{1} + 2.3 Log D_{1} + 0.0012\Delta, \quad \Delta > 100 \text{km} \quad (3.9\beta)$$
$$M_{L}^{*} = M_{D} = C_{2} + 2.14 Log D + 0.0038\Delta, \quad \Delta \le 100 \text{km} \quad (3.9\gamma)$$

όπου Δ είναι η επικεντρική απόσταση του σταθμού (σε km), D η διάρκεια καταγραφής (σε sec) από την είσοδο των P κυμάτων μέχρι το σημείο όπου το πλάτος της καταγραφής γίνεται 2 mm από κορυφή σε κορυφή, D₁ η διάρκεια καταγραφής (σε sec) από την είσοδο των P-κυμάτων μέχρι το επίπεδο του θορύβου και C₀, C₁, C₂ σταθερές διορθώσεις κάθε σταθμού (Kiratzi et al. 1984; Σκορδύλης 1985; Kiratzi and Papazachos, 1986).

3.5.2. Υπολογισμός μεγεθών

Στο δεύτερο κεφάλαιο καθορίσθηκαν οι εστιακές συντεταγμένες των 172 σεισμών που καταγράφηκαν από το φορητό τοπικό δίκτυο κατά το χρονικό διάστημα 12 Ιουλίου 2001 έως 25 Απριλίου 2002. Στον Πίνακα 2.11, δίνονται οι εστιακές παράμετροι των 172 σεισμών. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ο υπολογισμός των μεγεθών των σεισμών αυτών έτσι ώστε να γίνει πλήρης ο κατάλογος των τοπικών δεδομένων.

Για την μέτρηση των μεγεθών χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι: η μέθοδος υπολογισμού από τα εδαφικά πλάτη ή η μέθοδος υπολογισμού του μεγέθους από τη διάρκεια του σήματος. Στην εργασία αυτή η ανάλυση των κυματομορφών έγινε με το

πρόγραμμα PQL (κεφάλαιο 2), όπου η μέτρηση του μέγιστου πλάτους δεν είναι τόσο αξιόπιστη είτε γιατί το πλάτος είναι μικρότερο από το μέσο πλάτος του θορύβου οπότε δεν μπορεί να μετρηθεί, είτε το μέγιστο πλάτος έχει υποστεί κορεσμό γεγονός που οδηγεί σε υποεκτίμηση του μεγέθους. Επίσης η διάρκεια της σεισμικής καταγραφής δεν ήταν τόσο σαφής ώστε να φαίνεται το τελικό σημείο μέτρησης το οποίο είναι ένα όριο πλάτους 2 mm. Έτσι για να αποφευχθεί η εσφαλμένη μέτρηση των μεγεθών των σεισμών του τοπικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε ο κατάλογος του Τομέα Γεωφυσικής ο οποίος περιέχει χρόνους γένεσης και γεωγραφικές συντεταγμένες των εστιών των σεισμών, εστιακό βάθος των σεισμών και το μέγεθος κάθε σεισμού (Papazachos, 2001) Αρχικά εντοπίστηκαν οι κοινοί χρόνοι γένεσης των σεισμών που υπήρχαν στον κατάλογο του Τομέα Γεωφυσικής με τον κατάλογο του τοπικού δικτύου. Για τους κοινούς αυτούς σεισμούς, οι οποίοι συνολικά ήταν 58, βρέθηκαν τα μεγέθη και εισήχθηκαν στον κατάλογο με τις τοπικές εστιακές παραμέτρους.

Για τους σεισμούς των οποίων οι χρόνοι γένεσής τους είχαν βρεθεί από το τοπικό δίκτυο αλλά δεν υπήρχαν στον κατάλογο του Τομέα ΓΕωφυσικής και που συνολικά ήταν 114, ακολουθήθηκε άλλη διαδικασία για τον υπολογισμό των μεγεθών. Για κάθε σεισμό, από τους 114 μετρήθηκε το πλάτος, Α, και η διάρκεια, D, από τα σεισμογράμματα του Σεισμολογικού Σταθμού του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. Τα πλάτη αναγραφής, Α, μετρήθηκαν από κορυφή σε κορυφή (σε mm) και οι διάρκειες μετρήθηκαν (σε mm) από το σημείο που αρχίζει ο σεισμός (δηλαδή από την πρώτη είσοδο των Ρ κυμάτων) μέχρι το σημείο που το πλάτος του σήματος γίνεται 2 mm από κορυφή σε κορυφή. Κατόπιν τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα υπολογισμού μεγεθών που χρησιμοποιείται στο Σεισμολογικό Σταθμό. Σημειώνεται ότι οι επικεντρικές αποστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν με βάση το σταθμό της Θεσσαλονίκης. Οι υπόλοιποι σταθμοί δεν χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μεγέθους. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος υπολογίσθηκαν δύο μεγέθη. Το ένα (M_{α}) υπολογίστηκε με βάση τις σχέσεις (3.8 α, β) που ισχύουν για τον υπολογισμό του μεγέθους από τα εδαφικά πλάτη, A, ενώ το δεύτερο (M_d) προσδιορίστηκε με βάση τις σχέσεις (3.9α, β, γ) υπολογισμού του μεγέθους από τη διάρκεια καταγραφής D. Επειδή η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο μεγεθών ήταν μικρή, το μέγεθος που τελικά χρησιμοποιήθηκε για τον κατάλογο των τοπικών δεδομένων, ήταν ένα μέσο μέγεθος του M_a και του M_d.

Στον Πίνακα 3.6 δίνεται ο κατάλογος των εστιακών παραμέτρων των σεισμών όπως υπολογίστηκαν από τις καταγραφές του τοπικού δικτύου. Στην πρώτη στήλη δίνεται ο αύξων αριθμός των σεισμών που αντιστοιχεί στο χρόνο γένεσης του κάθε σεισμού, στη δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη δίνεται η ημερομηνία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού, στην πέμπτη και έκτη στήλη δίνονται το γεωγραφικό πλάτος φ° (N) και το γεωγραφικό μήκος, λ° (E), των επικέντρων των σεισμών, στην έβδομη στήλη το εστιακό βάθος (σε km), στην όγδοη στήλη δίνεται το μέγεθος του σεισμού και στις τρεις τελευταίες στήλες δίνεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS σε sec), το σφάλμα στο επίκεντρο (ERH σε km) και το σφάλμα στο εστιακό βάθος (ERZ σε km), αντίστοιχα.

Πίνακας 3.6. Στοιχεία των 172 σεισμών, όπως υπολογίστηκαν από το δεύτερο κεφάλαιο. Δίνονται ο χρόνος γένεσης του σεισμού (1^η, 2^η, 3^η στήλη) οι γεωγραφικές συντεταγμένες των επικέντρων (3^η και 4^η στήλη), το εστιακό βάθος του σεισμού (σε km, 7^η στήλη), το τοπικό μέγεθος του κάθε σεισμού (8^η στήλη) και τα σφάλματα RMS σε sec, ERH σε km και ERZ σε km

				Εστι	ακές	Εστιακό		RMS	FRH	FR7
α/α	Έτος	Ημερομηνί	α Χρόνος νένεσης	ε Συντετα φ (°N)	χγμένες λ (°E)	βάθος (km)	M∟	(sec)	(km)	(km)
1	2001	15-Ιουλ	22:43:05	40.750	23.069	13.43	1.1	0.06	1.3	0.7
2	2001	20-Ιουλ	10:41:33	40.704	22.933	6.21	1.6	0.07	1.1	1.3
3	2001	21-Ιουλ	12:11:31	40.647	23.071	6.26	1.5	0.08	0.6	1.0
4	2001	21-Ιουλ	20:27:05	40.588	22.888	9.78	1.4	0.06	1.4	1.1
5	2001	22-Ιουλ	12:52:50	40.851	23.013	14.91	1.7	0.08	1.5	1.8
6	2001	22-Ιουλ	14:36:22	40.749	22.716	19.43	1.9	0.18	1.6	1.4
7	2001	22-Ιουλ	15:21:15	40.737	22.729	16.55	2.6	0.10	0.8	1.2
8	2001	24-Ιουλ	12:21:54	40.429	23.074	3.68	1.7	0.05	1.1	1.7
9	2001	25-Ιουλ	02:05:01	40.652	23.025	1.01	2.2	0.11	0.5	1.0
10	2001	25-Ιουλ	11:02:13	40.701	22.925	7.83	1.2	0.06	1.0	1.0
11	2001	1-Αυγ	08:57:40	40.703	22.942	5.30	1.5	0.07	0.9	1.0
12	2001	2-Αυγ	11:01:56	40.705	22.932	5.34	1.5	0.05	0.8	1.1
13	2001	7-Αυγ	18:26:51	40.659	23.010	3.24	1.9	0.11	0.5	1.1
14	2001	9-Αυγ	14:36:54	40.885	23.039	5.73	4.4	0.05	0.5	1.1
15	2001	10-Αυγ	21:49:39	40.673	23.375	18.41	3.7	0.12	1.5	1.7
16	2001	11-Αυγ	18:44:49	40.662	23.435	17.82	3.1	0.07	0.9	1.4
17	2001	13-Αυγ	18:30:46	40.657	23.017	1.03	1.9	0.12	0.4	1.3
18	2001	13-Αυγ	18:30:57	40.671	23.004	2.11	1.7	0.09	1.2	17.1
19	2001	15-Αυγ	05:56:03	40.876	23.041	9.57	1.6	0.07	0.9	1.8
20	2001	15-Αυγ	18:11:02	40.868	23.036	10.59	1.6	0.11	1.8	3.5
21	2001	21-Αυγ	06:01:22	40.720	23.125	4.12	2.3	0.08	0.9	2.2
22	2001	28-Aυγ	23:58:30	40.889	22.835	15.07	2.2	0.09	0.8	0.9
23	2001	29-Αυγ	08:39:54	40.691	22.951	7.66	1.3	0.06	0.8	0.8

				Εστι	ακές	Εστιακό				
α/α	Έτος	Ημερομηνί	α Χρόνος	Συντετα	χγμένες	βάθος	M	RMS	ERH	ERZ
	•		γένεσης	φ (°N)	λ (°E)	(km)	-	(sec)	(KM)	(KM)
24	2001	29-Αυγ	09:06:34	40.702	22.943	7.63	1.4	0.02	0.3	0.3
25	2001	30-Αυγ	13:24:24	40.429	23.072	9.44	1.2	0.02	0.5	0.5
26	2001	1-Σεπ	22:56:19	40.940	22.841	3.97	1.8	0.04	7.6	19.2
27	2001	3-Σεπ	10:04:16	40.679	23.080	10.32	2.3	0.10	0.6	0.6
28	2001	5-Σεπ	13:06:17	40.424	23.076	4.92	1.7	0.05	1.1	5.2
29	2001	8-Σεπ	10:18:45	40.431	23.069	9.50	1.6	0.02	0.5	0.6
30	2001	9-Σεπ	07:24:11	40.714	22.986	8.00	1.8	0.06	0.6	0.6
31	2001	12-Σεπ	16:42:23	40.524	22.862	16.38	1.7	0.09	0.7	1.0
32	2001	13-Σεπ	20:02:57	40.867	23.032	12.63	1.7	0.06	2.3	3.4
33	2001	14-Σεπ	09:56:21	40.699	22.943	6.77	1.8	0.05	0.7	0.8
34	2001	14-Σεπ	13:06:54	40.659	23.389	16.45	2.2	0.09	1.6	2.0
35	2001	15-Σεπ	13:01:08	40.641	23.406	17.72	2.1	0.15	3.5	5.1
36	2001	15-Σεπ	16:06:48	40.808	22,994	12.26	1.8	0.04	0.6	0.6
37	2001	15-Σεπ	17:47:13	40 813	22 995	11 23	27	0.09	0.6	0.8
38	2001	15-Σεπ	20.09.52	40 816	23 001	12 43	24	0.04	0.0	0.4
39	2001	15-Σεπ	20.29.09	40 804	22 986	11 91	1.6	0.08	1.0	1.0
40	2001	15-Σεπ	20:33:51	40 660	22.000	10.22	1.0	0.02	0.8	0.3
41	2001	18-Σεπ	10.12.07	40 426	23 058	8.58	1.7	0.08	12	1.5
42	2001	10-Σεπ	11.02.47	40 707	22 740	10.66	1.0	0.05	14	0.8
43	2001	21-Σεπ	00.03.30	40.437	22.140	10.00	1.0	0.00	1.4	1 1
40	2001	21 Σεπ 24-Σεπ	22.56.11	40.771	22.07.0	10.00	1.0	0.04	4.0	22
15	2001	24-Σεπ 28-Σεπ	21.00.11	40.657	22.000	10.74	2.0	0.10	4.0 0.3	0.8
40	2001	20-2211 3-0kt	21.00.07	40.007	22.331	8 45	1.0	0.00	12	1.2
40	2001	5-0KT	14.34.05	40.717	23.127	2 13	2.1	0.11	0.0	1.2
18	2001	5-0kī 7-0kī	10.27.31	10.485	22.000	12.10	1.0	0.10	0.5 4.6	1.0
40	2001	7-0KT	11.00.21	40.405	22.900	0.00	1.0	0.07	4.0 1.2	1.Z 2.Q
	2001		04.50.21	40.505	22.920	13 70	1.5	0.00	0.8	0.7
50	2001		04.50.21	40.590	23.110	12.00	4.J	0.12	0.0	0.7
51	2001		04.51.15	40.597	23.124	12.90	1 0	0.03	0.5	0.4
52	2001		04.51.45	40.590	23.129	12.71	1.0	0.09	0.0	0.0
55	2001		04.52.51	40.590	23.140	12.91	1.7	0.05	0.7	0.0
54 55	2001	8-0KI	04.55.15	40.607	23.144	13.90	1.0	0.10	1.7	1.4
55	2001	8-0KI	05.10.09	40.013	23.102	12.20	1.5	0.03	0.0	0.5
50	2001	8-0KI	05.14.41	40.569	23.132	12.03	3.0	0.11	1.3	1.2
57	2001	8-0KI	05.18.22	40.590	23.170	13.82	2.1	0.11	1.4	1.4
50	2001	8-0KI	05.21.44	40.603	23.131	13.03	2.2	0.11	0.9	0.8
59	2001		05.22.18	40.593	23.133	13.92	2.3	0.01	0.1	0.1
60	2001	8-0KT	05:24:51	40.599	23.138	13.58	1.7	0.07	1.1	0.8
01	2001	8-0KT	05:25:31	40.597	23.142	14.18	2.5	0.10	0.7	0.6
62	2001	8-0KT	05:26:44	40.593	23.110	13.68	4.1	0.16	1.1	1.0
63	2001	8-0KT	05:27:41	40.596	23.132	13.99	2.5	0.05	0.8	0.7
64	2001	8-0KT	05:28:44	40.595	23.164	13.73	2.6	0.10	0.7	0.6
65	2001	8-Окт	05:29:10	40.597	23.121	14.34	1.5	0.03	0.5	0.5
66	2001	8-Окт	05:29:28	40.589	23.145	14.40	3.4	0.11	0.8	0.7
67	2001	8-Окт	05:32:16	40.589	23.126	13.57	3.9	0.12	1.0	0.8
68	2001	8-Окт	05:33:37	40.596	23.122	15.01	2.7	0.07	1.2	0.9
69	2001	8-Окт	05:34:07	40.592	23.139	14.28	1.8	0.02	0.4	0.4
70	2001	8-Окт	05:34:22	40.595	23.127	14.05	2.0	0.01	0.2	0.1
71	2001	8-Окт	05:34:28	40.599	23.126	13.87	1.5	0.04	0.6	0.5

α/α Ετος Ημερομηνία Χρόνος Συντεαγμένες βάθος Μι No. Err Err Err Km Km 72 2001 8-Okt 05:35:16 40.610 23.156 15.02 2.0 11 1.2 0.9 73 2001 8-Okt 05:36:20 40.588 23.148 13.76 3.1 0.11 1.0 0.8 74 2001 8-Okt 05:42:08 40.582 23.136 13.41 2.9 0.08 1.4 1.0 77 2001 8-Okt 05:44:18 40.585 23.161 13.28 2.0 0.07 0.6 78 2001 8-Okt 05:44:18 40.585 23.161 13.28 2.0 0.00 1.0 0.1 0.1 80 2001 8-Okt 05:47:10 40.592 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 <t< th=""><th></th><th></th><th></th><th></th><th>Εστι</th><th>ακές</th><th>Εστιακό</th><th></th><th>DMS</th><th>ЕВЦ</th><th>ED7</th></t<>					Εστι	ακές	Εστιακό		DMS	ЕВЦ	ED7
Vévernç ϕ (*N) λ (*E)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km)(km) <th< th=""><th>α/α Έ</th><th>τος</th><th>Ημερομηνί</th><th>α Χρόνος</th><th>Συντετα</th><th>αγμένες</th><th>βάθος</th><th>ML</th><th>(sec)</th><th>(km)</th><th>(km)</th></th<>	α/α Έ	τος	Ημερομηνί	α Χρόνος	Συντετα	αγμένες	βάθος	ML	(sec)	(km)	(km)
72 2001 8-Okr 05:33:16 40.610 23.166 15.02 2.2 0.11 1.2 0.9 73 2001 8-Okr 05:33:20 40.588 23.123 13.57 2.1 0.01 0.2 0.2 75 2001 8-Okr 05:42:00 40.582 23.130 12.99 2.2 0.09 1.0 0.9 76 2001 8-Okr 05:44:07 40.590 23.136 13.43 2.9 0.08 1.4 1.0 70 2001 8-Okr 05:44:17 40.692 23.136 14.10 2.2 0.09 1.0 1.0 6.8 0.7 81 2001 8-Okr 05:47:38 40.592 23.125 1.379 1.2 0.01 0.1 0.1 82 2001 8-Okr 05:43:3 40.601 23.132 1.41 1.4 0.1 82 2001 8-Okr 05:50:43 40.602 23.133 1.55 1.				γένεσης	<u>φ (°N)</u>	<u>λ (°E)</u>	(km)		(000)	()	()
73 2001 8-Ort 05:36:20 40:388 23:148 13:78 3:1 0.11 1.0 0.2 0.2 74 2001 8-Ort 05:36:20 40.588 23:123 13:27 21:01 0.2 0.2 0.9 75 2001 8-Ort 05:42:08 40.583 23:161 13:43 2.0 0.07 0.8 0.6 76 2001 8-Ort 05:44:07 40.590 23:136 13:43 2.0 0.07 0.8 0.6 78 2001 8-Ort 05:47:10 40.593 23:18 14:46 1.1 0.05 0.8 0.7 81 2001 8-Ort 05:47:10 40.592 23:12 13:79 1.2 0.10 1.1 0.1 82 2001 8-Ort 05:46:05 40.802 23:132 13:6 1.7 0.0 0.7 84 2001 8-Ort 05:50:54 40.609 23:132 13:57 1	/2	2001	8-Окт	05:35:16	40.610	23.156	15.02	2.2	0.11	1.2	0.9
74 2001 8-Okt 05:36:48 40.591 23.120 12.99 2.2 0.09 1.0 0.9 75 2001 8-Okt 05:42:00 40.582 23.130 12.99 2.2 0.09 1.0 0.9 76 2001 8-Okt 05:42:08 40.583 23.161 13.43 2.0 0.07 0.7 0.6 78 2001 8-Okt 05:44:17 40.600 23.136 14.10 2.2 0.09 1.0 1.0 80 2001 8-Okt 05:47:30 40.592 23.118 14.66 1.1 0.05 0.8 0.7 81 2001 8-Okt 05:47:38 40.592 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.1 82 2001 8-Okt 05:40:34 40.600 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.7 84 2001 8-Okt 05:50:44 40.692 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okt 05:5	73	2001	8-Окт	05:36:20	40.588	23.148	13.78	3.1	0.11	1.0	0.8
75 2001 8-Okt 05:42:00 40.582 23:169 13.41 2.9 0.9 1.0 76 2001 8-Okt 05:42:08 40.583 23:169 13.41 2.9 0.9 1.0 77 2001 8-Okt 05:44:17 40.500 23:136 13.43 2.0 0.07 0.7 0.6 79 2001 8-Okt 05:44:17 40.500 23:136 14.66 1.1 0.05 0.8 0.7 80 2001 8-Okt 05:47:10 40.592 23:125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.1 82 2001 8-Okt 05:47:38 40.592 23:125 13.20 2.0 0.00 1.4 0.7 84 2001 8-Okt 05:50:29 40.582 23:132 14.01 1.9 0.06 1.4 0.7 85 2001 8-Okt 05:50:34 40.600 23:132 15.11 1.7 0.3 0.0 0.9 7 0.6 0.7 0.6 0.7 0.6 0.7	74	2001	8-Окт	05:36:48	40.591	23.123	13.57	2.1	0.01	0.2	0.2
76 2001 8-Orr 05:42:08 40.583 23:169 13.41 2.9 0.08 1.4 1.0 77 2001 8-Orr 05:44:07 40.590 23:136 13.43 2.0 0.07 0.6 78 2001 8-Orr 05:44:17 40.690 23:136 14.10 2.2 0.99 1.0 1.0 80 2001 8-Orr 05:47:10 40.593 23:118 14.66 1.1 1.0 0.7 0.8 81 2001 8-Orr 05:47:38 40.501 23:125 13:79 1.2 0.10 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.7 0.8 0.80 0.7 0.1 0.7 0.8 0.8 0.7 0.1 0.7 0.8 0.8 0.11 1.4 0.7 0.6 0.7 0.6 0.7 0.6 0.7 0.6 0.7 0.6	75	2001	8-Окт	05:42:00	40.582	23.130	12.99	2.2	0.09	1.0	0.9
77 2001 8-Okr 05:44:18 40.590 23.136 13.43 2.0 0.07 0.6 78 2001 8-Okr 05:44:18 40.585 23.161 13.28 2.7 0.07 0.8 0.6 79 2001 8-Okr 05:47:10 40.593 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.7 80 2001 8-Okr 05:47:05 40.592 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.7 81 2001 8-Okr 05:47:05 40.582 23.175 13.20 2.0 0.10 1.1 0.9 82 2001 8-Okr 05:50:43 40.600 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23.132 15.11 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.609 23.139 14.27 2.5 0.8 0.7 0.6 92 2001 8-Okr 05:58:26 40.593 <	76	2001	8-Окт	05:42:08	40.583	23.169	13.41	2.9	0.08	1.4	1.0
78 2001 8-Okr 05:44:18 40.685 23.161 13.28 2.7 0.07 0.8 0.6 79 2001 8-Okr 05:45:17 40.600 23.136 14.10 2.2 0.09 1.0 80 2001 8-Okr 05:47:10 40.592 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.1 81 2001 8-Okr 05:48:05 40.586 23.156 13.58 2.6 0.77 0.7 83 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23.175 13.20 2.0 0.10 1.1 0.9 84 2001 8-Okr 05:50:43 40.600 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.134 13.56 1.7 0.6 0.7 0.6 90 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.162 12.55 0.09 0.7 0.6 91 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.162	77	2001	8-Окт	05:44:07	40.590	23.136	13.43	2.0	0.07	0.7	0.6
79 2001 8-Okr 05:45:17 40.600 23:136 14.10 2.2 0.09 1.0 1.0 80 2001 8-Okr 05:47:10 40.593 23:118 14.66 1.1 0.05 0.8 0.7 81 2001 8-Okr 05:47:38 40.692 23:125 13:79 1.2 0.01 0.1 0.1 82 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23:175 13:20 2.0 0.10 1.1 0.9 85 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23:132 15:11 1.7 0.03 1.0 0.9 86 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23:132 15:11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:7 40.608 23:163 14:27 2.5 0.80 0.7 0.6 90 2001 8-Okr 05:55:7 40.601 23:139 14:27	78	2001	8-Окт	05:44:18	40.585	23.161	13.28	2.7	0.07	0.8	0.6
80 2001 8-Okr 05:47:10 40.593 23.118 14.66 1.1 0.05 0.8 0.7 81 2001 8-Okr 05:47:38 40.592 23.125 13.79 1.2 0.01 0.1 0.1 82 2001 8-Okr 05:49:33 40.601 23.132 14.01 1.9 0.06 1.4 0.7 84 2001 8-Okr 05:50:54 40.600 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 85 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:37 40.609 23.132 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.603 23.161 12.65 1.8 0.4 0.7 0.6 91 2001 8-Okr 06:56:37 40.693 23.162 12.63 <th< td=""><td>79</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:45:17</td><td>40.600</td><td>23.136</td><td>14.10</td><td>2.2</td><td>0.09</td><td>1.0</td><td>1.0</td></th<>	79	2001	8-Окт	05:45:17	40.600	23.136	14.10	2.2	0.09	1.0	1.0
81 2001 8-Okr 05:47:38 40.592 23.125 13.78 2.6 0.07 1.0 0.7 82 2001 8-Okr 05:48:05 40.586 23.156 13.58 2.6 0.07 1.0 0.7 84 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23.175 13.20 2.0 0.10 1.1 0.9 85 2001 8-Okr 05:50:24 40.609 23.133 13.67 1.8 0.08 0.9 0.7 86 2001 8-Okr 05:55:37 40.609 23.132 15.11 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.04 0.7 0.6 92 2001 8-Okr 06:01:59 40.693 23.139 14.27 2.5 0.80 0.6 0.6 92 2001 8-Okr 06:10:41 40.61 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 92 2001 8-Okr 06:3	80	2001	8-Окт	05:47:10	40.593	23.118	14.66	1.1	0.05	0.8	0.7
82 2001 8-Okr 05:48:05 40.586 23:156 13:58 2.6 0.07 1.0 0.7 84 2001 8-Okr 05:49:33 40.601 23:132 14:01 1.9 0.06 1.4 0.7 84 2001 8-Okr 05:50:43 40.600 23:133 13:67 1.8 0.08 0.9 0.7 86 2001 8-Okr 05:50:54 40.600 23:132 15:11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23:132 15:11 1.7 0.03 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23:143 13:56 1.8 0.04 0.7 0.6 91 2001 8-Okr 06:05:58:26 40.593 23:142 14:41 3 2.5 0.08 0.6 0.6 92 2001 8-Okr 06:24:24 40.601 23:147 13:08 <	81	2001	8-Окт	05:47:38	40.592	23.125	13.79	1.2	0.01	0.1	0.1
83 2001 8-Okr 05:49:33 40.601 23:132 14.01 1.9 0.06 1.4 0.7 84 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23:175 13:20 2.0 0.10 1.1 0.9 85 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23:132 15:11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23:132 15:11 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.601 23:143 13:56 1.7 0.12 0.3 0.2 91 2001 8-Okr 06:01:59 23:147 14:13 2.5 0.08 0.7 0.6 92 2001 8-Okr 06:02:42 40.601 23:147 14:13 2.5 0.09 0.7 0.6 92 2001 8-Okr 06:12:41 40.611 23:174 13:30 2.5 0	82	2001	8-Окт	05:48:05	40.586	23.156	13.58	2.6	0.07	1.0	0.7
84 2001 8-Okr 05:50:29 40.582 23.175 13.20 2.0 0.10 1.1 0.9 85 2001 8-Okr 05:50:34 40.600 23.133 13.67 1.8 0.8 0.9 0.7 86 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.133 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.04 0.7 0.6 91 2001 8-Okr 06:01:24 40.611 23.177 13.30 2.5 0.08 0.7 0.6 92 2001 8-Okr 06:24:23 40.611 23.174 13.09 2.5 0.8 0.6 0.6 93 2001 8-Okr 06:24:23 40.617 23.122 13.66	83	2001	8-Окт	05:49:33	40.601	23.132	14.01	1.9	0.06	1.4	0.7
85 2001 8-Okr 05:50:43 40.600 23.133 13.67 1.8 0.08 0.9 0.7 86 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:55:30 40.699 23.124 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.44 0.7 0.6 90 2001 8-Okr 05:55:37 40.601 23.147 14.13 2.5 0.08 0.7 0.6 91 2001 8-Okr 06:10:94 40.589 23.162 12.63 1.7 0.3 1.8 1.4 93 2001 8-Okr 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 94 2001 8-Okr 06:33:35 40.597 23.122 13.66 <th< td=""><td>84</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:50:29</td><td>40.582</td><td>23.175</td><td>13.20</td><td>2.0</td><td>0.10</td><td>1.1</td><td>0.9</td></th<>	84	2001	8-Окт	05:50:29	40.582	23.175	13.20	2.0	0.10	1.1	0.9
86 2001 8-Okr 05:50:54 40.609 23.132 15.11 1.7 0.03 1.0 0.9 87 2001 8-Okr 05:53:08 40.599 23.124 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okr 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.04 0.7 0.6 90 2001 8-Okr 05:58:26 40.593 23.139 14.27 2.5 0.08 0.6 0.6 91 2001 8-Okr 06:01:09 40.589 23.162 12.63 1.7 0.13 1.8 1.4 93 2001 8-Okr 06:12:41 40.611 23.172 13.66 2.3 0.08 0.6 0.5 94 2001 8-Okr 06:24:23 40.597 23.122 13.44 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okr 06:36:10 40.597 23.122 13.43 <td< td=""><td>85</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:50:43</td><td>40.600</td><td>23.133</td><td>13.67</td><td>1.8</td><td>0.08</td><td>0.9</td><td>0.7</td></td<>	85	2001	8-Окт	05:50:43	40.600	23.133	13.67	1.8	0.08	0.9	0.7
87 2001 8-Okt 05:53:08 40.599 23.124 13.57 1.8 0.11 1.4 1.1 88 2001 8-Okt 05:54:02 40.593 23.134 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 90 2001 8-Okt 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.04 0.7 0.6 90 2001 8-Okt 06:00:45 40.601 23.147 14.13 2.5 0.08 0.7 0.6 91 2001 8-Okt 06:01:09 40.612 23.147 13.09 2.5 0.08 0.6 0.6 92 2001 8-Okt 06:26:49 40.597 23.122 13.66 2.3 0.08 0.6 0.5 96 2001 8-Okt 06:33:54 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okt 06:55:29 40.597 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-Okt 06:	86	2001	8-Окт	05:50:54	40.609	23.132	15.11	1.7	0.03	1.0	0.9
88 2001 8-Okt 05:54:02 40.593 23.134 13.56 1.7 0.02 0.3 0.2 89 2001 8-Okt 05:55:37 40.608 23.163 12.56 1.8 0.04 0.7 0.6 90 2001 8-Okt 06:00:45 40.601 23.147 14.13 2.5 0.08 0.7 0.6 91 2001 8-Okt 06:01:09 40.589 23.162 12.63 1.7 0.13 1.8 1.4 92 2001 8-Okt 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 95 2001 8-Okt 06:33:35 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okt 06:55:29 40.593 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-Okt 06:56:36 40.602 23.141 14.11 <td< td=""><td>87</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:53:08</td><td>40.599</td><td>23.124</td><td>13.57</td><td>1.8</td><td>0.11</td><td>1.4</td><td>1.1</td></td<>	87	2001	8-Окт	05:53:08	40.599	23.124	13.57	1.8	0.11	1.4	1.1
89 2001 8-Οκτ 05:55:37 40:608 23:163 12:56 1.8 0.04 0.7 0.6 90 2001 8-Οκτ 05:58:26 40:593 23:139 14:27 2:5 0.08 0.7 0.6 91 2001 8-Οκτ 06:01:09 40:589 23:162 12:63 1.7 0.13 1.8 1.4 93 2001 8-Οκτ 06:12:41 40:611 23:174 13:09 2:5 0.12 1.0 0.8 94 2001 8-Οκτ 06:24:23 40:601 23:122 13:66 2.3 0.08 0.6 0.5 96 2001 8-Οκτ 06:33:35 40:597 23:122 14:43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Οκτ 06:55:29 40:593 23:124 14:78 3:3 0.99 0.6 0.5 98 2001 8-Οκτ 06:56:47 40:605 23:141 14:11 <t< td=""><td>88</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:54:02</td><td>40.593</td><td>23.134</td><td>13.56</td><td>1.7</td><td>0.02</td><td>0.3</td><td>0.2</td></t<>	88	2001	8-Окт	05:54:02	40.593	23.134	13.56	1.7	0.02	0.3	0.2
90 2001 8-Οκτ 05:58:26 40:593 23:139 14:27 2.5 0.08 0.7 0.6 91 2001 8-Οκτ 06:00:45 40:601 23:147 14:13 2.5 0.09 0.7 0.6 92 2001 8-Οκτ 06:01:09 40:589 23:162 12:63 1.7 0.13 1.8 1.4 93 2001 8-Οκτ 06:12:24 40:611 23:174 13:09 2.5 0.08 0.6 0.6 94 2001 8-Οκτ 06:26:49 40:597 23:122 13:66 2.3 0.08 0.6 0.5 96 2001 8-Οκτ 06:52:48 40:593 23:122 14:43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Οκτ 06:55:29 40:593 23:111 13:23 3.2 0.10 0.6 0.5 99 2001 8-Οκτ 06:56:47 40:605 23:143 14:06 <t< td=""><td>89</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>05:55:37</td><td>40.608</td><td>23.163</td><td>12.56</td><td>1.8</td><td>0.04</td><td>0.7</td><td>0.6</td></t<>	89	2001	8-Окт	05:55:37	40.608	23.163	12.56	1.8	0.04	0.7	0.6
91 2001 8-Okt 06:00:45 40.601 23.147 14.13 2.5 0.09 0.7 0.6 92 2001 8-Okt 06:01:09 40.589 23.162 12.63 1.7 0.13 1.8 1.4 93 2001 8-Okt 06:12:41 40.611 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 94 2001 8-Okt 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 95 2001 8-Okt 06:26:49 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okt 06:56:10 40.597 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-Okt 06:56:36 40.606 23.141 14.11 1.7 0.13 1.4 1.1 101 2001 8-Okt 06:56:47 40.605 23.143 14.06 3.7 0.15 1.6 1.2 102 2001 8-Okt 0	90	2001	8-Окт	05:58:26	40.593	23.139	14.27	2.5	0.08	0.7	0.6
92 2001 8-Okt 06:01:09 40.589 23.162 12.63 1.7 0.13 1.8 1.4 93 2001 8-Okt 06:12:41 40.611 23.174 13.09 2.5 0.08 0.6 0.6 94 2001 8-Okt 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 95 2001 8-Okt 06:26:49 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okt 06:36:10 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-Okt 06:55:29 40.599 23.112 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-Okt 06:56:29 40.599 23.114 14.11 1.7 0.13 1.4 1.1 101 2001 8-Okt 06:56:36 40.605 23.143 14.06 3.7 0.15 1.6 1.2 102 2001 8-Okt 0	91	2001	8-Окт	06:00:45	40.601	23.147	14.13	2.5	0.09	0.7	0.6
93 2001 8-OKT 06:12:41 40.611 23.174 13.09 2.5 0.08 0.6 0.6 94 2001 8-OKT 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 95 2001 8-OKT 06:26:49 40.597 23.122 13.66 2.3 0.08 0.6 0.5 96 2001 8-OKT 06:33:35 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-OKT 06:36:10 40.597 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-OKT 06:55:29 40.599 23.111 13.23 3.2 0.10 0.6 0.6 100 2001 8-OKT 06:56:36 40.605 23.143 14.06 3.7 0.15 1.6 1.2 102 2001 8-OKT 06:58:05 40.598 23.115 13.70 2.5 0.80 0.6 0.6 103 2001 8-OKT	92	2001	8-Окт	06:01:09	40.589	23.162	12.63	1.7	0.13	1.8	1.4
94 2001 8-OKT 06:24:23 40.601 23.138 13.85 2.5 0.12 1.0 0.8 95 2001 8-OKT 06:26:49 40.597 23.122 13.66 2.3 0.08 0.6 0.5 96 2001 8-OKT 06:33:35 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-OKT 06:36:10 40.597 23.122 14.43 2.7 0.12 0.9 0.8 97 2001 8-OKT 06:52:48 40.593 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 98 2001 8-OKT 06:56:47 40.605 23.141 14.11 1.7 0.13 1.4 1.1 101 2001 8-OKT 06:56:47 40.602 23.133 13.70 2.5 0.08 0.6 0.6 103 2001 8-OKT 07:04:27 40.588 23.133 13.14 3.0 0.11 1.3 1.0 104 2001 8-OKT	93	2001	8-Окт	06:12:41	40.611	23.174	13.09	2.5	0.08	0.6	0.6
9520018-Οκτ06:26:4940.59723.12213.662.30.080.60.59620018-Οκτ06:33:3540.59723.12214.432.70.120.90.89720018-Οκτ06:36:1040.59723.12813.562.00.050.70.59820018-Οκτ06:52:4840.59323.12414.783.30.090.60.59920018-Οκτ06:55:2940.59923.11113.233.20.100.60.610020018-Οκτ06:56:3640.60623.14114.111.70.131.41.110120018-Οκτ06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-Οκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Οκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Οκτ07:14:0540.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Οκτ07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-Οκτ07:15:1940.58923.12514.551.90.151.61.210720018-Οκτ07:15:1940.59323.12514.562.90.100.70	94	2001	8-Окт	06:24:23	40.601	23.138	13.85	2.5	0.12	1.0	0.8
9620018-Οκτ06:33:3540.59723.12214.432.70.120.90.89720018-Οκτ06:36:1040.59723.12813.562.00.050.70.59820018-Οκτ06:52:4840.59323.12414.783.30.090.60.59920018-Οκτ06:55:2940.59923.11113.233.20.100.60.610020018-Οκτ06:56:3640.60623.14114.111.70.131.41.110120018-Οκτ06:56:4740.60523.14314.063.70.151.61.210220018-Οκτ06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-Οκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Οκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Οκτ07:15:1940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Οκτ07:15:1940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.550.410920018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.550.6110	95	2001	8-Окт	06:26:49	40.597	23.122	13.66	2.3	0.08	0.6	0.5
97 2001 8-Οκτ 06:36:10 40.597 23.128 13.56 2.0 0.05 0.7 0.5 98 2001 8-Οκτ 06:52:48 40.593 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 99 2001 8-Οκτ 06:55:29 40.599 23.111 13.23 3.2 0.10 0.6 0.6 100 2001 8-Οκτ 06:56:36 40.606 23.141 14.11 1.7 0.13 1.4 1.1 101 2001 8-Οκτ 06:56:47 40.605 23.143 14.06 3.7 0.15 1.6 1.2 102 2001 8-Οκτ 06:58:05 40.598 23.115 13.70 2.5 0.08 0.6 0.6 103 2001 8-Οκτ 07:04:13 40.602 23.139 13.86 1.7 0.10 1.1 0.9 104 2001 8-Οκτ 07:14:05 40.592 23.128 13.03 2.6 0.05 0.4 0.3 106 2001 8-Οκτ <	96	2001	8-Окт	06:33:35	40.597	23.122	14.43	2.7	0.12	0.9	0.8
98 2001 8-Οκτ 06:52:48 40.593 23.124 14.78 3.3 0.09 0.6 0.5 99 2001 8-Οκτ 06:55:29 40.599 23.111 13.23 3.2 0.10 0.6 0.6 100 2001 8-Οκτ 06:56:36 40.606 23.141 14.11 1.7 0.13 1.4 1.1 101 2001 8-Οκτ 06:56:47 40.605 23.143 14.06 3.7 0.15 1.6 1.2 102 2001 8-Οκτ 06:58:05 40.598 23.115 13.70 2.5 0.08 0.6 0.6 103 2001 8-Οκτ 07:04:13 40.602 23.139 13.86 1.7 0.10 1.1 0.9 104 2001 8-Οκτ 07:14:05 40.592 23.128 13.03 2.6 0.05 0.4 0.3 106 2001 8-Οκτ 07:15:19 40.588 23.134 14.10	97	2001	8-Окт	06:36:10	40.597	23.128	13.56	2.0	0.05	0.7	0.5
9920018-Οκτ06:55:2940.59923.11113.233.20.100.60.610020018-Οκτ06:56:3640.60623.14114.111.70.131.41.110120018-Οκτ06:56:4740.60523.14314.063.70.151.61.210220018-Οκτ06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-Οκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Οκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Οκτ07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Οκτ07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-Οκτ07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-Οκτ07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-Οκτ07:33:2840.60223.11714.762.80.151.0<	98	2001	8-Окт	06:52:48	40.593	23.124	14.78	3.3	0.09	0.6	0.5
10020018-Οκτ06:56:3640.60623.14114.111.70.131.41.110120018-Οκτ06:56:4740.60523.14314.063.70.151.61.210220018-Οκτ06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-Οκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Οκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Οκτ07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Οκτ07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-Οκτ07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-Οκτ07:25:0540.59123.12514.562.90.100.70.611120018-Οκτ07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-Οκτ07:36:1640.57623.18911.641.40.102.31.811420018-Οκτ07:36:1640.57623.13911.641.40.102.3	99	2001	8-Окт	06:55:29	40.599	23.111	13.23	3.2	0.10	0.6	0.6
10120018-Οκτ06:56:4740.60523.14314.063.70.151.61.210220018-Οκτ06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-Οκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Οκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Οκτ07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Οκτ07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-Οκτ07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-Οκτ07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-Οκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-Οκτ07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-Οκτ07:36:1640.57623.18911.641.40.102.31.811420018-Οκτ07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311520018-Οκτ07:58:3240.59023.15713.612.60.090.9	100	2001	8-Окт	06:56:36	40.606	23.141	14.11	1.7	0.13	1.4	1.1
10220018-OKT06:58:0540.59823.11513.702.50.080.60.610320018-OKT07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-OKT07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-OKT07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-OKT07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-OKT07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-OKT07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:0540.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:36:1640.57623.18911.641.40.102.31.811420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311520018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.9	101	2001	8-Окт	06:56:47	40.605	23.143	14.06	3.7	0.15	1.6	1.2
10320018-Oκτ07:04:1340.60223.13913.861.70.101.10.910420018-Oκτ07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-Oκτ07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-Oκτ07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-Oκτ07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-Oκτ07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-Oκτ07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-Oκτ07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-Oκτ07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-Oκτ07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-Oκτ07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-Oκτ07:58:3240.59023.15713.612.60.090.90.711620018-Oκτ07:58:3240.59023.12513.453.60.110.9	102	2001	8-Окт	06:58:05	40.598	23.115	13.70	2.5	0.08	0.6	0.6
10420018-OKT07:04:2740.58823.13313.143.00.111.31.010520018-OKT07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-OKT07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-OKT07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-OKT07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:0540.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.711620018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.100.8 <td< td=""><td>103</td><td>2001</td><td>8-Окт</td><td>07:04:13</td><td>40.602</td><td>23.139</td><td>13.86</td><td>1.7</td><td>0.10</td><td>1.1</td><td>0.9</td></td<>	103	2001	8-Окт	07:04:13	40.602	23.139	13.86	1.7	0.10	1.1	0.9
10520018-OKT07:11:4940.59223.12813.032.60.050.40.310620018-OKT07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-OKT07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-OKT07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:0540.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.90.711620018-OKT08:01:2540.59023.12513.453.60.110.90.711620018-OKT08:01:2640.58923.13912.991.80.101.0	104	2001	8-Окт	07:04:27	40.588	23.133	13.14	3.0	0.11	1.3	1.0
10620018-OKT07:14:0540.59623.14614.551.90.151.61.210720018-OKT07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-OKT07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311520018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.90.711620018-OKT08:00:2540.59023.12513.453.60.110.90.711620018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.00.811720018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.0	105	2001	8-Окт	07:11:49	40.592	23.128	13.03	2.6	0.05	0.4	0.3
10720018-OKT07:15:1940.58823.13414.103.00.070.50.410820018-OKT07:16:0940.59323.12814.182.90.100.80.610920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-OKT07:36:1640.57623.18911.641.40.102.31.811420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311520018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.90.711620018-OKT08:00:2540.59023.12513.453.60.110.90.711620018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.00.811720018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.00.8	106	2001	8-Окт	07:14:05	40.596	23.146	14.55	1.9	0.15	1.6	1.2
108 2001 8-Οκτ 07:16:09 40.593 23.128 14.18 2.9 0.10 0.8 0.6 109 2001 8-Οκτ 07:25:05 40.592 23.133 13.50 1.8 0.05 0.8 0.6 110 2001 8-Οκτ 07:25:05 40.591 23.125 14.56 2.9 0.10 0.7 0.6 111 2001 8-Οκτ 07:26:32 40.596 23.117 14.76 2.8 0.15 1.0 0.9 112 2001 8-Οκτ 07:36:16 40.576 23.154 14.09 2.2 0.11 0.9 0.7 113 2001 8-Οκτ 07:36:16 40.576 23.189 11.64 1.4 0.10 2.3 1.8 114 2001 8-Οκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25	107	2001	8-Окт	07:15:19	40.588	23.134	14.10	3.0	0.07	0.5	0.4
10920018-OKT07:25:0540.59223.13313.501.80.050.80.611020018-OKT07:25:5440.59123.12514.562.90.100.70.611120018-OKT07:26:3240.59623.11714.762.80.151.00.911220018-OKT07:33:2840.60223.15414.092.20.110.90.711320018-OKT07:36:1640.57623.18911.641.40.102.31.811420018-OKT07:54:5140.60223.13414.442.70.151.51.311520018-OKT07:58:3240.59023.15713.612.60.090.90.711620018-OKT08:00:2540.59023.12513.453.60.110.90.711720018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.00.811820018-OKT08:01:5640.58923.13912.991.80.101.00.8	108	2001	8-Окт	07:16:09	40.593	23.128	14.18	2.9	0.10	0.8	0.6
110 2001 8-Oκτ 07:25:54 40.591 23.125 14.56 2.9 0.10 0.7 0.6 111 2001 8-Oκτ 07:26:32 40.596 23.117 14.76 2.8 0.15 1.0 0.9 112 2001 8-Oκτ 07:33:28 40.602 23.154 14.09 2.2 0.11 0.9 0.7 113 2001 8-Oκτ 07:36:16 40.576 23.189 11.64 1.4 0.10 2.3 1.8 114 2001 8-Oκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Oκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Oκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 116 2001 8-Oκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 117 2001 8-Oκτ	109	2001	8-Окт	07:25:05	40.592	23.133	13.50	1.8	0.05	0.8	0.6
111 2001 8-Οκτ 07:26:32 40.596 23.117 14.76 2.8 0.15 1.0 0.9 112 2001 8-Οκτ 07:33:28 40.602 23.154 14.09 2.2 0.11 0.9 0.7 113 2001 8-Οκτ 07:36:16 40.576 23.189 11.64 1.4 0.10 2.3 1.8 114 2001 8-Οκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8	110	2001	8-Окт	07:25:54	40.591	23.125	14.56	2.9	0.10	0.7	0.6
112 2001 8-Οκτ 07:33:28 40.602 23.154 14.09 2.2 0.11 0.9 0.7 113 2001 8-Οκτ 07:36:16 40.576 23.189 11.64 1.4 0.10 2.3 1.8 114 2001 8-Οκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8-Οκτ 08:04:21 40.507 23.125 12.02 1.2 0.00 1.0 0.8	111	2001	8-Окт	07:26:32	40.596	23.117	14.76	2.8	0.15	1.0	0.9
113 2001 8-Οκτ 07:36:16 40.576 23.189 11.64 1.4 0.10 2.3 1.8 114 2001 8-Οκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8	112	2001	8-Окт	07:33:28	40.602	23.154	14.09	2.2	0.11	0.9	0.7
114 2001 8-Οκτ 07:54:51 40.602 23.134 14.44 2.7 0.15 1.5 1.3 115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8-Οκτ 08:04:21 40.507 23.125 12.92 1.8 0.10 1.0 0.8	113	2001	8-Окт	07:36:16	40.576	23.189	11.64	1.4	0.10	2.3	1.8
115 2001 8-Οκτ 07:58:32 40.590 23.157 13.61 2.6 0.09 0.9 0.7 116 2001 8-Οκτ 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8-Οκτ 08:04:21 40.597 23.125 12.02 1.2 0.00 1.0 0.8	114	2001	8-Окт	07:54:51	40.602	23.134	14.44	2.7	0.15	1.5	1.3
116 2001 8-Окт 08:00:25 40.590 23.125 13.45 3.6 0.11 0.9 0.7 117 2001 8-Окт 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8-Окт 08:04:21 40.597 23.125 13.03 1.2 0.00 1.0 0.8	115	2001	8-Окт	07:58:32	40.590	23.157	13.61	2.6	0.09	0.9	0.7
117 2001 8-Οκτ 08:01:56 40.589 23.139 12.99 1.8 0.10 1.0 0.8 118 2001 8.0κτ 08:04:31 40.507 23.135 13.03 1.3 0.00 1.0 0.8	116	2001	8-Окт	08:00:25	40.590	23.125	13.45	3.6	0.11	0.9	0.7
	117	2001	8-Окт	08:01:56	40.589	23.139	12.99	1.8	0.10	1.0	0.8
	118	2001	8-Окт	08:04:31	40.597	23.125	12.93	1.3	0.09	1.0	0.8
119 2001 8-Окт 08:08:20 40.612 23.133 15.83 2.3 0.10 1.4 1.1	119	2001	8-Окт	08:08:20	40.612	23.133	15.83	2.3	0.10	1.4	1.1

				Εστι	ακές	Εστιακό		DMC	ЕВЦ	ED7
α/α Έ	τος	Ημερομηνία	α Χρόνος	Συντετα	αγμένες	βάθος	M∟	KIVIJ (SPC)	ERN (km)	ERZ (km)
			γένεσης	φ (°N)	λ (°E)	(km)		(000)	(1011)	(((((((((((((((((((((((((((((((((((((((
120	2001	8-Окт	08:21:26	40.595	23.128	14.43	2.9	0.08	0.6	0.5
121	2001	8-Окт	13:47:57	40.600	23.124	14.13	2.1	0.08	0.5	0.5
122	2001	8-Окт	13:49:19	40.596	23.123	14.13	2.1	0.08	0.6	0.5
123	2001	8-Окт	19:00:28	40.593	23.134	13.86	1.6	0.09	0.9	0.7
124	2001	8-Окт	19:04:58	40.595	23.139	13.71	1.8	0.09	0.7	0.7
125	2001	9-Окт	06:59: 5	40.597	23.169	16.21	2.7	0.11	1.0	1.0
126	2001	9-Окт	07:49:42	40.580	23.180	12.78	2.4	0.09	1.6	1.2
127	2001	9-Окт	08:59:30	40.589	23.117	13.52	3.0	0.09	0.9	0.7
128	2001	9-Окт	11:43:15	40.591	23.140	14.16	2.5	0.10	0.8	0.7
129	2001	9-Окт	17:25:31	40.590	23.170	13.90	1.6	0.14	1.5	1.2
130	2001	9-Окт	23:10:20	40.589	23.160	13.12	1.6	0.11	1.2	1.0
131	2001	10-Окт	13:13: 1	40.579	23.154	11.86	2.0	0.12	1.2	1.0
132	2001	10-Окт	15:20:16	40.594	23.133	14.19	2.5	0.13	1.0	0.9
133	2001	10-Окт	15:22:54	40.580	23.168	12.22	1.5	0.04	1.0	0.7
134	2001	11-Окт	16:31:46	40.584	23.152	12.75	3.0	0.10	1.1	0.8
135	2001	12-Окт	18:10:02	40.505	23.566	0.91	3.1	0.16	25.9	21.5
136	2001	14-Окт	09:06:00	40.555	23.582	16.27	2.7	0.15	3.0	6.7
137	2001	19-Окт	09:42:47	40.549	23.384	14.87	2.7	0.16	2.9	4.1
138	2001	25-Окт	16:56:08	40.588	23.146	13.94	1.8	0.12	1.1	0.9
139	2001	31-Окт	15:47:56	40.586	23.132	14.77	2.1	0.10	1.0	0.8
140	2001	13-Νοε	23:05:15	40.845	22.987	14.10	2.1	0.04	1.4	2.3
141	2001	25-Νοε	20:09:46	40.590	23.183	14.48	2.4	0.12	1.0	0.9
142	2001	4-Δεκ	17:03:51	40.693	22.956	6.51	2.1	0.10	0.5	0.9
143	2001	12-Δεκ	23:33:24	40.612	22.925	11.62	3.1	0.08	0.8	0.7
144	2001	13-Δεκ	08:48:35	40.475	22.717	13.11	2.5	0.23	1.8	1.9
145	2001	14-Δεκ	22:39:00	40.791	23.018	13.07	2.1	0.11	0.9	0.9
146	2002	5-lav	11:52:53	40.754	23.117	7.87	1.8	0.08	1.6	2.0
147	2002	17-lαv	06:35:56	40.781	22.945	14.28	2.2	0.11	0.9	1.1
148	2002	19-lαv	15:32:02	40.610	22.769	2.42	1.6	0.12	0.9	1.3
149	2002	22-lav	22:02:06	40.503	23.538	18.63	2.6	0.16	5.8	10.7
150	2002	25-lav	14:45:11	40.814	23.089	17.94	2.0	0.07	1.0	1.2
151	2002	22-Φεβ	22:31:18	40.689	23.125	5.49	1.3	0.09	0.8	0.8
152	2002	24-Φεβ	09:31:13	40.929	22.967	19.65	2.5	0.11	2.1	3.0
153	2002	24-Φεβ	21:50:57	40.575	23.257	16.70	2.3	0.13	2.0	2.0
154	2002	28-Φεβ	09:35:51	40.693	22.935	7.96	1.5	0.07	1.1	1.1
155	2002	1-Μαο	11:49:15	40.702	22,930	6.58	1.6	0.07	1.1	1.3
156	2002	1-Μαο	13:23:47	40.448	23.017	11.64	1.6	0.02	1.2	0.6
157	2002	6-Μαρ	13:17:27	40.467	23.005	8.12	1.7	0.15	1.9	1.7
158	2002	6-Μαρ	13:17:57	40.424	23.069	5.81	1.9	0.05	0.8	1.8
159	2002	7-Μαρ	08:08:12	40 748	22 719	19 28	2.8	0.18	2.0	23
160	2002	13-Mao	10.16.19	40 565	22 976	9.09	17	0.15	3.6	27
161	2002	18-Mao	10.42.02	40 609	23 004	12 90	1.5	0.06	0.3	0.3
162	2002	6-Απο	20:31:29	40 597	23 105	10 53	1.6	0.20	1.3	12
163	2002	10-Απο	11.01.57	40 781	23 049	0 70	1.6	0.10	1.5	14
164	2002	13-Δπο	08.10.41	40 702	23 132	10 27	3.0	0.10	0.7	0.6
165	2002	13-Δπο	08.13.31	40 707	23 132	10.27	21	0.10	0.7	0.0
166	2002	13-Δπο	08.20.53	40 707	23 122	9.55	16	0.10	0.6	0.7
167	2002	13-Δπο	09:35:51	40 702	23 135	9.91	14	0.00	0.0	0.1
107	2002	io-Aip	55.55.51	10.102	20.100	0.00	1.7	0.01	0.1	0.1

α/α ΄	Ετος	Ημερομηνία	α Χρόνος γένεσης	Εστι Συντετα φ (°N)	ακές xγμένες λ (°E)	Εστιακό βάθος (km)	M∟	RMS (sec)	ERH (km)	ERZ (km)
168	2002	13-Απρ	13:52:41	40.710	23.126	10.02	2.2	0.11	0.8	0.7
169	2002	13-Απρ	17:46:06	40.699	23.139	10.63	2.3	0.10	0.9	0.7
170	2002	13-Απρ	21: 6:01	40.706	23.125	9.64	1.7	0.10	0.7	0.6
171	2002	15-Απρ	05:19:56	40.712	23.150	11.06	1.8	0.20	3.8	2.8
172	2002	16-Απρ	11:11:39	40.682	23.169	8.01	2.7	0.11	1.9	2.7

Στο σχήμα 3.13 δίνεται το ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών του τοπικού μεγέθους M_L . Ο μέσος όρος των τιμών των μεγεθών είναι 2.1, λίγοι σεισμοί υπάρχουν με μέγεθος πάνω από 4, ενώ οι περισσότεροι κυμαίνονται μεταξύ του διαστήματος από 1.5 έως 3.



Σχήμα 3.13. Ιστόγραμμα συχνότητας των τιμών του M_L , των 172 σεισμών του τοπικού δικτύου.

4.ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σημαντικός αριθμός εργασιών που αφορούν τη σεισμοτεκτονική εικόνα της ευρύτερη περιοχής του νομού Θεσσαλονίκης έχει πραγματοποιηθεί με βάση τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών (Mercier et al., 1983; Σκορδύλης, 1985; Hatzfeld et al., 1986/87; P.M. Hatzidimitriou et al., 1991). Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παράμετροι των μηχανισμών γένεσης (παράταξη, κλίση, γωνία ολίσθησης) των σεισμών οι οποίοι καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο, που λειτούργησε κατά την περίοδο Ιούλιος 2001, Απρίλιος του 2002. Ο καθορισμός των μηχανισμών γένεσης έγινε για την περιοχή που οριοθετείται από τις συντεταγμένες 40.41° N - 41°N και 22.66°E - 23.25°E. Η ίδια περιοχή είχε χρησιμοποιηθεί για την εύρεση των εστιακών παραμέτρων των τοπικών σεισμών που μετρήθηκαν από το τοπικό δίκτυο έτσι όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο. Η μέθοδος η οποία εφαρμόσθηκε για την εύρεσή τους, είναι αυτή των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων, όπως καταγράφηκαν στους σταθμούς του τοπικού δικτύου.

Οι σταθμοί του τοπικού δικτύου δίνονται στον Πίνακα 2.1. Εκτός από τις πρώτες αποκλίσεις των P κυμάτων οι οποίες καταγράφηκαν από τους σταθμούς του τοπικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες πρώτες αποκλίσεις των P κυμάτων που καταγράφηκαν από σταθμούς του μόνιμου δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής. Αυτό έγινε με σκοπό να εμπλουτιστεί ο αριθμός των πρώτων αποκλίσεων που χρησιμοποιήσαμε για τον ακριβή προσδιορισμό των μηχανισμών γένεσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν που καταγράφηκαν από όπου σιμειώθηκαν οι πρώτες αποκλίσεις των επιμήκων κυμάτων που καταγράφηκαν οι πρώτες αποκλίσεις των εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., από όπου σημειώθηκαν οι πρώτες αποκλίσεις των επιμήκων κυμάτων που καταγράφηκαν από τους σταθμούς του δίνονται στον Πίνακα 4.1. Δεν χρησιμοποιήθηκαν σταθμοί οι οποίοι βρίσκονταν σε μεγαλύτερες αποστάσεις (σταθμοί μόνιμου δικτύου Γιουγκοσλαβίας, Βουλγαρίας και Ρουμανίας) γιατί οι ο λόγος σήματος προς θόρυβο σε αυτούς ήταν πολύ υψηλός. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν οι πιο κοντινοί σταθμοί στην περιοχή ενδιαφέροντας οι οποίοι και μας παρείχαν καθαρότερες κυματομορφές από τους υπόλοιπους σταθμούς του Πίνακα 3.2.

Κωδική	Θέση σταθμού	Γεωγραφικές συντεταγμένες		Υψόμετρο
ονομασία				
σταθμού		φ° (N)	λ° (Ε)	(Ш)
THE	Θεσσαλονίκη	40.632	23.592	70
SOH	Σοχός	40.820	23.35	670
KNT	Κεντρικό	41.162	22.898	380
GRG	Γρίβα	40.957	22.401	560
SRS	Σέρρες	41.117	23.592	400
PAIG	Παλιούρι	39.927	23.680	140
LIT	Λιτόχωρο	40.101	22.490	480
OUR	Ουρανούπολη	40.334	23.982	60
XOR	Ξορύχτι	39.366	23.192	500
AOS	Αλόννησος	39.170	23.880	200
AGG	Άγιος Γεώργιος	39.022	22.330	540
ALN	Αλεξανδρούπολη	40.885	26.046	110
LOS	Λήμνος	39.933	25.081	460
KZN	Κοζάνη	40.307	21.771	900
FNA	Φλώρινα	40.784	21.382	750
IGT	Ηγουμενίτσα	39.533	20.333	320

Πίνακας 4.1. Σταθμοί του μόνιμου δικτύου του Εργαστηρίου Γεωφυσικής Α.Π.Θ που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης.

4.2. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ

4.2.1. Γεωμετρία του ρήγματος

Ο μηχανισμός γένεσης ενός σεισμού καθορίζεται με τον προσδιορισμό του είδους των τάσεων επικρατούν στην εστιακή περιοχή, της διεύθυνσης και της κλίσης του επιπέδου του ρήγματος που προκάλεσε το σεισμό και του είδους της διάρρηξης (διεύθυνσης ή κλίσης, δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη, κανονική ή ανάστροφη). Κατά τη γένεση ενός σεισμού λαμβάνει χώρα σχετική ολίσθηση μεταξύ των επιφανειών του ρήγματος. Οι επιφάνειες αυτές λέγονται επιφάνειες ολίσθησης και περιλαμβάνουν την εστία του σεισμού. Το επίπεδο το οποίο εφάπτεται της επιφάνειας διάρρηξης στην εστία του σεισμού ή συμπίπτει μ' αυτή λέγεται επίπεδο του ρήγματος. Η διεύθυνση ή παράταξη (strike) του επιπέδου ορίζεται από την τομή του

με το οριζόντιο επίπεδο που περνάει από την εστία. Ως διεύθυνση κλίσης του, ορίζεται η τομή του επιπέδου του ρήγματος με το κατακόρυφο επίπεδο το κάθετο στη διεύθυνση (παράταξη) του επιπέδου του ρήγματος στην εστία. Η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση του επιπέδου του ρήγματος με τη διεύθυνση Βορρά-Νότου λέγεται αζιμούθιο του επιπέδου του ρήγματος, ενώ η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση της κλίσης του επιπέδου του ρήγματος με το οριζόντιο επίπεδο λέγεται κλίση του επιπέδου αυτού.

Κάθε ρήγμα, γωρίζει τον όγκο των πετρωμάτων που ολισθαίνει σε δύο τεμάχη. Πάνω τέμαχος ονομάζεται το τέμαχος του οποίου το κέντρο βάρους βρίσκεται πλησιέστερα στην επιφάνεια της Γης από ότι το κέντρο βάρους του άλλου τεμάχους το οποίο ονομάζεται κάτω τέμαχος. Στο σχήμα 4.1 δίνεται η γεωμετρία ενός ρήγματος όπως περιγράφηκε παραπάνω. Όπου δ, είναι η γωνία κλίσης (dip angle) και φ είναι το αζιμούθιο. Το τρισορθογώνιο σύστημα αξόνων αποτελεί έναν τρόπο μελέτης της γεωμετρίας ενός ρήγματος. Σύμφωνα μ' αυτό το τρισορθογώνιο σύστημα που φαίνεται στο σχήμα 4.1, ο άξονας x_1 , ταυτίζεται με την παράταξη του ρήγματος, ο x₃ σχεδιάζεται πάντα κάθετα με φορά προς τα πάνω και ο x₂ είναι πάντα κάθετος στους άλλους δύο. Η γωνία κλίσης δ, μετριέται από τον -x2 άξονα, όπως παρατηρείται από το σχήμα 4.1, γι' αυτό και είναι μικρότερη ή ίση των 90°. Το αζιμούθιο μετριέται από το βορρά και σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, μέχρι τον x_1 άξονα και παίρνει τιμές από 0° έως 360°. Το \hat{n} διάνυσμα χαρακτηρίζει το επίπεδο του ρήγματος. Το διάνυσμα \hat{d} , ορίζεται ως διάνυσμα ολίσθησης, (slip vector), και δείχνει την κατεύθυνση της κίνησης στο επίπεδο του ρήγματος. Δηλαδή έχει διεύθυνση την διεύθυνση ολίσθησης, φορά τη φορά της κίνησης του πάνω τεμάχους και μέτρο το μέσο πλάτος της σχετικής μετατόπισης των δύο τεμαχών. Η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα κίνησης με την προβολή του πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ορίζει τη γωνία ολίσθησης (slip angle) του διανύσματος της κίνησης. Η γωνία ολίσθησης συμβολίζεται με λ και δίνεται στο σχήμα 4.1.

Όταν το διάνυσμα ολίσθησης \hat{d} έχει τη διεύθυνση (παράταξη) του επιπέδου του ρήγματος η διάρρηξη λέγεται διάρρηξη παράταξης (strike slip). Στην περίπτωση αυτή τα δύο τεμάχη του ρήγματος ολισθαίνουν οριζόντια το ένα σε σχέση με το άλλο και είναι λ=0 ή λ=π. Όταν το λ=0° κάθε τέμαχος του ρήγματος φαίνεται να κινείται από τα δεξιά προς τα αριστερά και η διάρρηξη λέγεται αριστερόστροφη. Όταν λ=180° η διάρρηξη λέγεται δεξιόστροφη και κάθε τέμαχος του ρήγματος φαίνεται να κινείται από τα αριστερά προς τα δεξιά.



Σχήμα 4.1. Γεωμετρία του ρήγματος που χρησιμοποιείται για την μελέτη των σεισμών. Το διάνυσμα, **n̂**, χωρίζει το επάνω τέμαχος του ρήγματος από το κάτω. Το διάνυσμα ολίσθησης, **d̂**, περιγράφει την κίνηση του άνω τέμαχους του ρήγματος σε σχέση με το κάτω. Διακρίνονται επίσης η γωνία ολίσθησης, λ, η κλίση, δ και το αζιμούθιο φ.

Η διάρρηξη χαρακτηρίζεται κανονική διάρρηξη ή διάρρηξη βαρύτητας (normal faulting) όταν το πάνω τέμαχος του ρήγματος βυθίζεται σε σχέση με το πάνω τέμαχος. Η γωνία ολίσθησης, στην περίπτωση της κανονικής διάρρηξης, έχει τιμές το διάστημα $-\pi \le \lambda \le 0$. Οι κανονικές διαρρήξεις (κανονικά ρήγματα) δημιουργούνται σε περιοχές όπου η μέγιστη τάση εφελκυσμού, Τ, είναι οριζόντια και η μέγιστη συμπιεστική τάση είναι κατακόρυφη. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν επικρατεί διάρρηξη κλίσης και το πάνω τέμαχος του ρήγματος ανυψώνεται σε σχέση με το κάτω τέμαχος, η διάρρηξη λέγεται ανάστροφη διάρρηξη (thrust faulting δ≤45°, reverse faulting δ>45°). Η γωνία ολίσθησης στην ανάστροφη διάρρηξη έχει τιμές στο διάστημα $0 \le \lambda \le \pi$. Οι ανάστροφες διαρρήξεις (ανάστροφα ρήγματα) δημιουργούνται σε περιοχές όπου η μέγιστη συμπιεστική τάση, Ρ, είναι οριζόντια και η μέγιστη εφελκυστική τάση, Τ, είναι κατακόρυφη. Στο σχήμα 4.2 φαίνονται όλοι οι τύποι διάρρηξης που αναπτύχθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 4.2. Βασικά είδη ρηγμάτων. Η διάρρηζη παράταζης μπορεί να είναι είτε αριστερόστροφη είτε δεζιόστροφη. Διακρίνονται το ανάστροφο και κανονικό ρήγμα.

4.2.2. Πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων και τρόπος ακτινοβολίας τους στην εστία ενός σεισμού

σεισμογράμματα τα οποία Τα έχουν καταγραφεί σε διάφορους σεισμολογικούς σταθμούς και σε διάφορες επικεντρικές αποστάσεις καθώς και τα αζιμούθια των σταθμών ως προς την εστία του σεισμού χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της γεωμετρίας των διαρρήξεων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, η οποία είναι γνωστή ως μηχανισμός γένεσης. Η πιο απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης είναι η φορά της πρώτης κίνησης των σεισμικών κυμάτων. Η φορά της πρώτης κίνησης, που οφείλεται στα επιμήκη κύματα κύματα Ρ ορισμένου σεισμού δεν είναι ίδια σε όλους τους σταθμούς. Ορισμένοι σταθμοί γράφουν την πρώτη κίνηση ως αραίωση, D, ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί γράφουν την πρώτη κίνηση ως συμπίεση C.

Το επίπεδο του ρήγματος και το βοηθητικό επίπεδο είναι κάθετα μεταξύ τους και σχηματίζουν τέσσερα τεταρτημόρια, δύο τεταρτημόρια συμπιέσεων και δύο αραιώσεων. Τα P κύματα αναχωρούν από την εστία του σεισμού κατά τις διευθύνσεις που βρίσκονται στις δύο κατακορυφήν στερεές γωνίες οι οποίες σχηματίζονται από το επίπεδο του ρήγματος και το βοηθητικό επίπεδο. Οι σεισμολογικοί σταθμοί όπου φθάνουν οι πρώτες κινήσεις των P κυμάτων γράφουν τις πρώτες αυτές κινήσεις ως συμπιέσεις στις δύο κατακορυφήν γωνίες, ενώ οι σταθμοί που φτάνουν οι πρώτες κινήσεις των κυμάτων P που αναχωρούν από την εστία στις δύο άλλες κατακορυφήν γωνίες, γράφουν αυτές ως αραιώσεις. Στο σχήμα 4.3 φαίνονται οι πρώτες κινήσεις των P κυμάτων, τα τέσσερα τεταρτημόρια των συμπιέσεων και αραιώσεων καθώς και το κύριο και βοηθητικό επίπεδο του ρήγματος.



Σχήμα 4.3. Πρώτες αποκλίσεις των επιμήκων (P) σεισμικών κυμάτων που καταγράφονται από τα σεισμόμετρα που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις από το σεισμό. Τα δύο επίπεδα ορίζουν περιοχές συμπίεσης και αραίωσης. Το ένα επίπεδο είναι το κύριο επίπεδο του ρήγματος και το άλλο είναι το βοηθητικό επίπεδο. Οι πρώτες αποκλίσεις των επιμήκων κυμάτων δεν καθορίζουν πιο από τα δύο επίπεδα είναι το κύριο επίπεδο.

Γνωρίζοντας λοιπόν την κατανομή των συμπιέσεων και αραιώσεων μπορούμε να προσδιορίσουμε δύο επίπεδα (το βοηθητικό και το κύριο επίπεδο του ρήγματος) τα οποία χωρίζουν τις συμπιέσεις και τις αραιώσεις όπως προαναφέρθηκε. Δημιουργείται όμως ένα πρόβλημα. Οι πρώτες κινήσεις των Ρ κυμάτων δεν καθορίζουν πιο από τα δύο επίπεδα είναι το κύριο. Όμως πρόσθετες πληροφορίες όπως γεωλογικές και γεωδαιτικές, όπως η γνώση των τάσεων που επικρατούν σε μια περιοχή ή τα προϋπάρχοντα ρήγματα που υπάρχουν σε μια περιοχή, μπορούν να δώσουν πληροφορίες για το επίπεδο ενός ρήγματος.

Η κατανομή των συμπιέσεων και των αραιώσεων, που αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να ερμηνευθεί με την υπόθεση ότι η γένεση των σεισμών οφείλεται σε ένα «διπλό ζεύγος δυνάμεων»(Παπαζάχος, 1990). Το ένα ζεύγος δυνάμεων ενεργεί παράλληλα προς το διάνυσμα μετάθεσης (άξονας xx', σχήμα 4.4α) και το δεύτερο ζεύγος δυνάμεων ενεργεί στις δύο πλευρές του βοηθητικού επιπέδου (άξονας yy', σχήμα 4.4α). Το σύστημα των τεσσάρων αυτών δυνάμεων είναι ισοδύναμο με το σύστημα τεσσάρων δυνάμεων, από τις οποίες οι δύο είναι συμπιεστικές και διχοτομούν τις δύο κατακορυφήν γωνίες των αξόνων xx' και yy', ενώ οι άλλες δύο είναι δυνάμεις εφελκυσμού και διχοτομούν τις άλλες δύο κατακορυφήν γωνίες των αξόνων χα' και των εγκάρσιων την αζιμουθιακή μεταβολή των πλατών των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων αντίστοιχα, που οφείλονται σε δύο ζεύγη δυνάμεων ή στο ισοδύναμο σύστημα των τεσσάρων δυνάμεων που διχοτομούν τις γωνίες των αξόνων αυτών του ρήγματος και του βοηθητικού επιπέδου η πρώτη κίνηση των επιμήκων κυμάτων αναχωρεί από την εστία ως συμπίεση (+), ενώ στις δύο άλλες κατακορυφήν γωνίες των αχώρη αναχωρεί ως αραίωση (-).





Σχήμα 4.4. Επίδραση ζεύγους δυνάμεων στην εστία (Α), το ισοδύναμο με αυτά σύστημα δυνάμεων (Β). Τότε η αζιμουθιακή κατανομή πλατών των Ρ κυμάτων και των S κυμάτων δίνεται στα (Γ) και (Δ).

4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Είναι απαραίτητο πριν τον υπολογισμό των μηχανισμών γένεσης να γίνει αναφορά στα ρήγματα που υπάρχουν στην υπό μελέτη περιοχή, διότι οι μηχανισμοί γένεσης θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των γραμμών διάρρηξης. Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μία αναφορά στα σημαντικότερα ρήγματα που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Επίσης, στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε χαρτογράφηση όλων των επικέντρων των σεισμών όπως υπολογίστηκαν από το τοπικό δίκτυο. Για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των προϋπαρχόντων ρηγμάτων και των επικέντρων που υπολογίστηκαν από τα καινούρια δεδομένα, έγινε χαρτογράφηση των ρηγμάτων μαζί με τα επίκεντρα που δίνεται στο σχήμα 4.5.

Η κωδική ονομασία του κάθε ρήγματος δίνεται πάνω στο χάρτη. Έτσι, από τα ανατολικά προς τα δυτικά απεικονίζεται το ρήγμα της Αγίας Παρασκευής (Ag. P. F.) και στο κέντρο οι ρηξιγενείς γραμμές Πυλαίας-Πανοράματος (P-P. F.) και Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη (As-Ch. F). Νότια της λίμνης Λαγκαδά είναι το ρήγμα Λαγκαδά-Αγίου Βασιλείου και προς τα βορειοανατολικά της λίμνης απεικονίζεται το ρήγμα Ασσήρου-Ανάλυψης (As-An. F). Στη νότια πλευρά από την πόλη της Θεσσαλονίκης διακρίνεται το ρήγμα του Ανθεμούντα. Με πορτοκαλί χρώμα παριστάνονται τα προϋπάρχοντα κύρια ρήγματα (Tranos et al., 2003), με μαύρες συνεχείς γραμμές είναι οι προεκτάσεις των ρηγμάτων αυτών (Tranos, 1998) και με μαύρες διακεκομμένες γραμμές συμβολίζονται οι υποθετικές προεκτάσεις των ρηγμάτων αυτών. Επίσης στο χάρτη δίνονται και οι ισοϋψείς καμπύλες, για να γίνεται πιο κατανοητή η μορφολογία της περιοχής.

Παρατηρήθηκε ότι οι γραμμές διάρρηξης ακολουθούν τη μορφολογία και βρίσκονται σε συμφωνία με την κατανομή των επικέντρων της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή που έγινε η σεισμική ακολουθία του 2001 (8 Οκτωβρίου, με μέγεθος μεγαλύτερου σεισμού M=4.5), βρίσκεται το ρήγμα Πυλαίας-Πανοράματος και η προς τα ανατολικά ρηξιγενής γραμμή που αποτελεί πρέκτασή του (στο χάρτη συμβολίζεται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή). Το ρήγμα αυτό έχει διεύθυνση Α-Δ έως ΔΒΔ-ΑΝΑ, όπως δηλαδή και η διεύθυνση των επικέντρων των σεισμών στην περιοχή αυτή (σχ. 4.5). Γενικά στην υπόλοιπη περιοχή παρατηρείται μία διεύθυνση των επικέντρων ΒΔ-ΝΑ, που συμφωνεί με τη διεύθυνση των ρηγμάτων Ασσήρου-Ανάληψης (As-An F.), Λαγυνών-Αγίου Βασιλείου (L-AV F.) και Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη.



Σχήμα 4.5. Απεικόνιση των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Με πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται τα κύρια ρήγματα (Tranos et al., 2003), με μαύρη συνεχή γραμμή (Tranos, 1998) και με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι προεκτάσεις των κύριων ρηγμάτων. Όπου AEDF είναι το ρήγμα του Ανθεμούντα, με P-P F. απεικονίζεται το ρήγμα Πανοράματος-Πυλαίας και με A-Ch F. το ρήγμα Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη. Οι ρηζιγενείς γραμμές Λαγυνά-Ασβεστοχώρι, Ασσήρου-Αναλήψεως και Αγίας Παρασκευής απεικονίζονται ως L-AV F., As-An F. και Ag P. F., αντίστοιχα. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται τα επίκεντρα (Tranos, 1998) των σεισμών που υπολογίσθηκαν από το τοπικό δίκτυο. Παρατηρείται μία συμφωνία μεταξύ της παράταξης των ρηγμάτων και των επικέντρων.

4.3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΓΕΝΕΣΗΣ

Με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος FPFIT (P. Reasenberg and D. Openheimer, U.S. Geological Survey 345 Middlefield Road Menlo Park, California), προσδιορίστηκαν 46 μηχανισμοί γένεσης. Οι μηχανισμοί αυτοί υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων και ικανοποιούσαν τις παρακάτω συνθήκες:

- Για κάθε σεισμό υπήρχαν τουλάχιστον πέντε σταθμοί που να έχουν καταγράψει καθαρά την πρώτη κίνηση των P κυμάτων.
- Τα δύο ορικά επίπεδα, το επίπεδο διάρρηξης και το βοηθητικό επίπεδο, προσδιορίστηκαν με σχετικά καλή ακρίβεια.

Οι 46 μηχανισμοί γένεσης παρουσιάζονται στο παράρτημα Β της παρούσας διατριβής. Όλοι οι μηχανισμοί, όπως παρατηρήθηκε, αναφέρονται σε κανονικά ρήγματα. Δεν παρατηρήθηκε για κανέναν σεισμό ανάστροφη διάρρηξη. Επιβεβαιώθηκε έτσι η άποψη ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται από τη ύπαρξη κανονικών ρηγμάτων και βρίσκεται σε πεδίο τάσεων εφελκυσμού (Papazachos et al. 1980, Carver and Bollinger 1981, Soufleris et al. 1982,1983, D. Hatzfeld et al. 1986/87, P.M. Hatzidimitriou et al. 1991).

Για τον προσδιορισμό των μηχανισμών των 172 σεισμών που καταγράφηκαν από το δίκτυο, εφαρμόστηκε η μέθοδος της στερεογραφικής προβολής της εστιακής σφαίρας. Για τη στερεογραφική προβολή χρησιμοποιείται το δίκτυο Schmit, όπου γίνεται προβολή κάτω ημισφαιρίου. Κάθε μηχανισμός γένεσης περιλαμβάνει δύο συνεχείς γραμμές οι οποίες συμβολίζουν τις προβολές των ορικών επιπέδων. Οι περιοχές συμπίεσης απεικονίζονται με ανοικτούς κύκλους και αποτελούν προβολές των θέσεων των σταθμών που έγραψαν την πρώτη απόκλιση των Ρ κυμάτων σε συμπίεση ενώ με τρίγωνα απεικονίζονται οι περιοχές αραίωσης, δηλαδή αποτελούν προβολές των θέσεων των σταθμών που έγραψαν την πρώτη απόκλιση των Ρ κυμάτων σε αραίωση . Επίσης αναφέρεται και το όνομα του κάθε σταθμού στον οποίο φτάνουν τα επιμήκη σεισμικά κύματα είτε με προς τα πάνω κίνηση (συμπίεση), είτε με προς τα κάτω κίνηση (αραίωση). Τα σύμβολα P και T απεικονίζουν τους άξονες συμπίεσης και εφελκυσμού αντίστοιχα. Ο κύκλος μικρότερης διαμέτρου ο
οποίος φαίνεται δίπλα στο μηχανισμό γένεσης δείχνει την θέση των P και T αξόνων, η οποία ανταποκρίνεται στον μηχανισμό γένεσης που υιοθετήθηκε.

Στον πίνακα 4.2 δίνονται οι παράμετροι των μηχανισμών γένεσης σεισμών της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Στην δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη δίνονται το έτος η ημερομηνία και ο χρόνος γένεσης του σεισμού, αντίστοιχα. Οι εστιακές συντεταγμένες και το εστιακό βάθος του κάθε σεισμού δίνονται στην πέμπτη, έκτη και έβδομη στήλη και στην όγδοη στήλη δίνεται το μέγεθος κάθε σεισμού όπως υπολογίστηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Οι παράμετροι των μηχανισμών γένεσης που υπολογίστηκαν, δηλαδή η παράταξη, ξ, η κλίση, δ και η γωνία ολίσθησης, λ, δίνονται αντίστοιχα στην ένατη, δέκατη και ενδέκατη στήλη. Στις τελευταίες τέσσερις στήλες παρουσιάζονται το αζιμούθιο και οι κλίσεις των αξόνων συμπίεσης (P), δωδέκατη και δέκατη τρίτη στήλη, και εφελκυσμού (T), δέκατη τέταρτη και δέκατη πέμπτη στήλη, όπως προέκυψαν από τους μηχανισμούς γένεσης.

Πίνακας 4.2. Παράμετροι των μηχανισμών γένεσης που υπολογίστηκαν για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Δίνονται η ημερομηνία του κάθε σεισμού, ο χρόνος γένεσης, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου, το βάθος και το μέγεθος του σεισμού, η παράταζη, ζ, η κλίση, δ και η γωνία ολίσθησης, λ.

α/α Έτος		Ημερομηνία	Χρόνος Γένεσης	Εστιακές ; Συντεταγμένες ; φ(°N) λ(°E)		Εστιακό βάθος (km)	ML	$M_{L} = \xi(\circ) \delta($		λ(°)	Ρ άξονας Αζιμούθιο Κλίση		Τ άξονας Αζιμούθιο Κλίση	
1	2001	l 22-Ιουλ	15:21:15	40.737	22.72 9	16.55	2.6	80	68	-98	350	56	170	34
2	2001	l 10-Αυγ	21:49:39	40.673	23.376	18.41	3.7	102	60	-74	48	70	180	14
3	2001	l 11-Αυγ	18:44:49	40.662	23.435	17.82	3.1	128	52	-30	38	64	218	26
4	2001	1 21-Αυγ	06:01:22	40.720	23.125	4.12	2.3	132	58	-30	98	42	4	4
5	2001	l 28-Αυγ	23:58:30	40.889	22.835	15.07	2.2	90	50	-98	360	65	180	25
6	2001	l 3-Σεπ	10:04:16	40.679	23.080	10.32	2.3	132	56	-30	42	62	222	28
7	2001	l 15-Σεπ	17:47:13	40.813	22.995	11.23	2.7	130	48	-35	142	52	357	33
8	2001	15-Σεπ	20:09:52	40.816	23.001	12.43	2.4	132	44	-30	111	49	3	15
9	2001	28-Σεπ	21:06:37	40.657	22.991	10.50	2.0	114	60	-44	78	51	173	4
10	2001	l 8-Οκτ	04:50:21	40.596	23.116	13.70	4.5	70	34	-124	20	65	200	25
11	2001	l 8-Οκτ	05:25:31	40.597	23.143	14.18	2.5	110	50	-98	258	68	6	7
12	2001	l 8-Οκτ	05:26:44	40.593	23.116	13.68	4.1	74	42	-122	323	72	181	14
13	2001	l 8-Οκτ	05:28:44	40.595	23.164	13.73	2.6	82	60	-102	360	72	180	18
14	2001	l 8-Οκτ	05:29:28	40.589	23.145	14.40	3.4	90	36	-100	302	70	195	6
15	2001	l 8-Οκτ	05:32:16	40.589	23.126	13.57	3.9	88	54	-114	247	69	355	7
16	2001	l 8-Οκτ	05:36:20	40.588	23.148	13.78	3.1	64	42	-120	260	69	166	2
17	2001	l 8-Οκτ	06:52:48	40.593	23.124	14.78	3.3	56	50	-118	360	67	180	23
18	2001	l 8-Οκτ	06:55:29	40.599	23.111	13.23	3.2	90	46	-104	20	67	200	23
19	2001	l 8-Οκτ	07:04:27	40.588	23.133	13.14	3.0	110	46	-58	335	81	200	7

a/a	Έτος Ημερομηνία Χρόνος Γένεσης		Εστιακές Συντεταγμένες φ(°N) λ(°E)		Εστιακό βάθος (km)	ML	ξ (°)	(°) δ(°) λ(°)		Ρ άξονας Αζιμούθιο Κλίση		Τ άξονας Αζιμούθιο Κλίση		
20	2001	8-Οκτ	07:15:19	40.588	23.134	14.10	3.0	104	52	-98	346	60	166	30
21	2001	8-Οκτ	07:16:09	40.593	23.128	14.18	2.9	76	60	-104	6	71	186	19
22	2001	8-Οκτ	07:25:54	40.591	23.125	14.56	2.9	96	38	-92	308	67	206	5
23	2001	8-Οκτ	07:26:32	40.596	23.117	14.76	2.8	96	54	-118	352	60	172	30
24	2001	8-Οκτ	08:00:25	40.590	23.126	13.45	3.6	82	60	-112	307	81	187	5
25	2001	8-Οκτ	08:21:26	40.595	23.128	14.43	2.9	96	50	-100	20	72	200	18
26	2001	8-Οκτ	13:47:57	40.600	23.124	14.13	2.1	110	36	-90	322	79	199	6
27	2001	8-Οκτ	13:49:19	40.596	23.123	14.13	2.1	100	52	-102	360	70	180	20
28	2001	8-Οκτ	19:00:28	40.593	23.134	13.86	1.6	90	40	-106	360	70	180	20
29	2001	9-Οκτ	06:59:05	40.597	23.169	16.21	2.7	90	40	-108	20	71	200	19
30	2001	11-Οκτ	16:31:46	40.584	23.152	12.75	3.0	110	38	-80	301	53	211	1
31	2001	14-Οκτ	09:06:00	40.555	23.582	16.27	2.7	90	56	-136	20	69	200	21
32	2001	25-Νοε	20:09:46	40.590	23.183	14.48	2.4	110	42	-90	126	51	7	21
33	2001	4-Δεκ	17:03:51	40.693	22.956	6.51	2.1	138	36	-30	36	66	147	10
34	2001	13-Δεκ	08:48:35	40.475	22.717	13.11	2.5	76	58	-64	115	50	2	18
35	2001	14-Δεκ	22:39:00	40.791	23.018	13.07	2.1	132	40	-30	156	52	11	33
36	2002	2 17-Ιαν	06:35:56	40.781	22.945	14.28	2.2	148	20	-30	240	78	12	8
37	2002	2 24-Φεβ	09:31:13	40.929	22.967	19.65	2.5	92	38	-104	64	63	176	11
38	2002	2 24-Φεβ	21:50:00	40.575	23.257	16.70	2.3	106	60	-62	271	57	170	7
39	2002	2 7-Μαρ	08:08:12	40.748	22.719	19.28	2.8	54	60	-128	10	78	190	12
40	2002	2 18-Μαρ	10:42:02	40.609	23.005	12.90	1.5	100	24	-98	69	57	170	7
41	2002	2 13-Απρ	08:10:41	40.702	23.132	10.27	3.0	106	60	-52	343	73	195	14
42	2002	2 13-Απρ	08:13:34	40.707	23.133	10.55	3.0	98	60	-100	71	60	176	9
43	2002	2 13-Απρ	13:52:41	40.710	23.127	10.02	2.2	110	60	-56	16	60	196	30
44	2002	2 13-Απρ	17:46:06	40.699	23.139	10.63	2.3	128	60	-30	76	48	169	2
45	2002	2 13-Απρ	21:06:01	40.706	23.126	9.64	1.7	112	60	-40	89	47	180	1
46	2002	2 16-Απρ	11:11:39	40.682	23.169	8.01	2.7	124	60	-38	237	66	4	15

Στο σχήμα 4.6, χαρτογραφήθηκαν οι 46 μηχανισμοί γένεσης μαζί με τα επίκεντρα όλων των μικρών σεισμών (Μ≤4.5) που έγιναν στην περιοχή κατά τη διάρκεια λειτουργίας του τοπικού δικτύου. Στο πλαίσιο δίνεται ο μέσος μηχανισμός γένεσης της κύριας σεισμικής ακολουθίας του 2001. Ο χώρος των αραιώσεων συμβολίζεται με λευκό χρώμα ενώ των συμπιέσεων με μαύρο χρώμα. Πάνω στον ίδιο χάρτη φαίνονται και οι θέσεις των γεωλογικών ρηγμάτων της περιοχής. Παρατηρήθηκε ότι οι διευθύνσεις των μηχανισμών γένεσης βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις διευθύνσεις των ρηγμάτων που παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια της Γης. Οι αριθμοί που απεικονίζονται στο χάρτη δηλώνουν τη χρονική σειρά γένεσης των σεισμών για τους οποίους υπολογίστηκαν οι μηχανισμοί γένεσης και αντιστοιχούν στην αρίθμηση του Πίνακα 4.2.

Διαπιστώνεται ότι στη Μυγδονία λεκάνη οι μηχανισμοί γένεσης παρουσιάζουν γενική διεύθυνση Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ και αντιπροσωπεύουν κανονικές διαρρήξεις. Ειδικότερα στην περιοχή του Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη, όπου σημειώθηκε η σεισμική ακολουθία στις 8 Οκτωβρίου του 2001, παρατηρούνται μηχανισμοί γένεσης με διεύθυνση Α-Δ (σχήμα 4.6, Πίνακας 4.2, Μηχανισμοί Γένεσης: 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 28, 29, 30, 38) και με μέσο όρο αζιμούθιου επιπέδου διάρρηξης περί τις 90°. Οι διευθύνσεις αυτών των μηχανισμών γένεσης φαίνεται να ακολουθούν τη διεύθυνση του ρήγματος Πανοράματος-Πυλαίας (P-P F, σχήμα 4.5). Επίσης διαπιστώθηκαν και μηχανισμοί γένεσης με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (σχήμα 4.6, Πίνακας 4.2, Μηχανισμοί γένεσης: 11, 25, 27) οι οποίοι συμφωνούν με την παράταξη του ρήγματος Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη (A-ChF, σχήμα 4.5).

Στην λίμνη Βόλβη, κυριαρχούν τα κανονικά ρήγματα καθώς και κανονικά ρήγματα με αριστερόστροφη συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης. Τα ρήγματα Γερακαρούς-Στίβου (G-SF, σχήμα 4.5) και Αγίας Παρασκευής τα οποία έχουν διεύθυνση ABA-ΔΝΔ συμφωνούν με τους μηχανισμούς γένεσης που βρέθηκαν στην περιοχή αυτή.

Στην λίμνη Λαγκαδά και πιο βορειοδυτικά από αυτή, οι μηχανισμοί γένεσης παρουσιάζουν την ίδια διεύθυνση, ΒΔ-ΝΑ και αντιπροσωπεύουν κανονικές διαρρήξεις με δεξιόστροφη συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης (σχήμα 4.6, Πίνακας 4.2, Μηχανισμοί γένεσης: 4, 7, 8, 35, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46). Η διεύθυνση αυτή συμφωνεί με την κύρια διεύθυνση του ρήγματος που υπάρχει στην περιοχή αυτή (Ασσήρου-Ανάληψης) και κλίνει προς τα νότια. Επίσης, στην περιοχή αυτή υπάρχει το ρήγμα Λαγυνά-Αγίου Βασιλείου (L-AVF, σχήμα 4.5), το οποίο έχει κλίση προς το βορρά και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, με την οποία συμφωνούν οι μηχανισμοί γένεσης. (σχήμα 4.6, Πίνακας 4.2, Μηχανισμοί γένεσης: 6, 36).

4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΑΣΕΩΝ

Μετά την επεξεργασία των μηχανισμών γένεσης έγινε τοποθέτηση των διανυσμάτων των τάσεων εφελκυσμού στο χάρτη. Όλοι οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών που υπολογίστηκαν έδειξαν κανονικές διαρρήξεις. Για το λόγο αυτό οι τάσεις στην περιοχή είναι εφελκυστικές. Επίσης αφού τα ρήγματα είναι κανονικά η διεύθυνση του Τ άξονα είναι οριζόντια. Στο σχήμα 4.7 παρουσιάζονται οι άξονες εφελκυσμού (T), όπως προέκυψαν από τους μηχανισμούς γένεσης που αναφέρονται στον Πίνακα 4.2, όπου δίνονται και η κλίση και το αζιμούθιο του T άξονα για τον κάθε σεισμό.

Από τη μελέτη των μηχανισμών γένεσης των σεισμών διαπιστώθηκε ότι σε όλη την περιοχή της Μυγδονίας λεκάνης επιδρά ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων με διεύθυνση Βορρά-Νότου αν και κατά τόπους παρατηρείται στους μηχανισμούς σημαντική συνιστώσα οριζόντιας μετατόπισης. Στην περιοχή όπου σημειώθηκε η σεισμική ακολουθία του 2001 κυριαρχούν εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση Β-Ν και BBA-NNΔ. Οι τάσεις αυτές συμφωνούν με τις ρηξιγενείς γραμμές Πανοράματος-Πυλαίας και Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη οι οποίες έχουν παράταξη Α-Δ και ΔΒΔ-ΑΝΑ προς τα δυτικά της περιοχής. Οι Τ-άξονες δηλαδή, παρατάσσονται κάθετα στην παράταξη των ρηγμάτων.



Σχήμα 4.6. Μηχανισμοί γένεσης σεισμών οι οποίοι σημειώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης την περίοδο Ιουλίου 2000 Απριλίου 2002. Ο χώρος των αραιώσεων συμβολίζεται με λευκό χρώμα ενώ των συμπιέσεων με μαύρο χρώμα. Κάθε αριθμός που απεικονίζεται στο χάρτη αντιστοιχεί χρονική σειρά γένεσης των σεισμών και αντιστοιχούν στην αρίθμηση του Πίνακα 4.2. Στο πλαίσιο δίνεται ο μέσος μηχανισμός γένεσης της κύριας σεισμικής ακολουθίας του 200, με διεύθυνση Α-Δ και γωνία κλίσης του επιπέδου διάρρηζης 50°.

Στην περιοχή της λίμνης Βόλβης, όπου υπάρχουν οι ρηξιγενείς γραμμές Γερακαρούς-Στίβου και Αγίας Παρασκευής, ο εφελκυσμός τείνει να αποκτήσει γενική διεύθυνση Β-Ν μέχρι ΒΑ-ΝΔ. Δηλαδή οι Τ-άξονες ταυτίζονται με τα κανονικά ρήγματα που έχουν παράταξη ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Στο χώρο της λίμνης Λαγκαδά και βορειοδυτικά αυτής, η διεύθυνση του εφελκυσμού είναι κάθετη στα ρήγματα Λαγκαδά-Αγίου Βασιλείου και Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη, δηλαδή διανύσματα τα των τάσεων έχουν προσανατολισμό B-N και BA-NΔ. Οι διευθύνσεις των τάσεων εφελκυσμού μπορούν να συνδυαστούν με τη μορφολογία που εμφανίζει το βύθισμα της Μυγδονίας λεκάνης. Σε όλο το μήκος της λεκάνης οι Τ- άξονες παρατάσσονται κάθετα στην ανάπτυξή της (BA-NΔ παράταξη στο BΔ τμήμα, B-N παράταξη στο κεντρικό τμήμα και πάλι ΒΑ-ΝΔ παράταξη στο ΝΑ τμήμα). Ο εφελκυσμός που παρατηρείται συνδέεται με την εξέλιξη του βυθίσματος της λεκάνης το οποίο παρομοιάζεται με ${f S}$ (Mercier, 1983).



Σχήμα 4.7. Απεικόνιση των εφελκυστικών τάσεων ανά περιοχή, όπως προέκυψαν από τους μηχανισμούς γένεσης που αναφέρονται στον Πίνακα 4.2. Στο πλαίσιο δίνεται η μέση διεύθυνση των εφελκυστικών τάσεων της κύριας σεισμικής ακολουθίας του 2001, η οποία είναι BBA-NNA με κλίση 13°.

Για καλύτερη κατανόηση της γεωμετρίας των ρηγμάτων με το βάθος, κατασκευάστηκε τομή με διεύθυνση BBA-NNΔ (σχ. 4.8, A-A') στην υπό μελέτη περιοχή. Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν όλα τα επίκεντρα των σεισμών που συνέβησαν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του τοπικού δικτύου. Για την χάραξη της τομής εφαρμόσθηκε η μεθοδολογία της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων στα επίκεντρα της κύριας σεισμικής ακολουθίας. Η κλίση της ευθείας βρέθηκε ίση με 100°, οπότε η τομή σχεδιάστηκε κάθετα στην διεύθυνση αυτή, δηλαδή στις 10° διεύθυνση από το βορρά.



Σχήμα 4.8. Κατακόρυφη τομή ΑΑ', BBA-NNΔ διεύθυνσης στην περιοχή της Μυγδονίας λεκάνη η οποία ταυτίζεται με την επιφανειακή γεωμετρία των ρηγμάτων. Δίνονται όλα τα επίκεντρα των σεισμών που έγιναν στην περιοχή. Η τομή σχεδιάστηκε κάθετα στην διεύθυνση των επικέντρων των σεισμών της κύριας σεισμικής ακολουθίας.

Στο σχήμα 4.9 ορίζεται η χωρική κατανομή των επικέντρων που προέκυψε από την κατακόρυφη τομή AA'. Στο πάνω μέρος του σχήματος απεικονίζονται οι θέσεις των ρηγμάτων, που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5, πάνω στην τομή AA'. Οι εστίες των σεισμών ακολουθούν επιφάνειες ρηγμάτων τα οποία εμφανίζουν παράταξη από ΔΒΔ-ΑΝΑ μέχρι και Α-Δ. Στην περιοχή που βρίσκεται κάτω από τα ρήγματα Πυλαίας-Πανοράματος και Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση εστιών από ότι στα ανατολικότερα όπου υπάρχει μεγαλύτερη διασπορά. Έτσι εκεί που παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση εστιών (στα 10-15 km βάθος και στα 15-35 km απόσταση), θεωρήθηκε ότι αυτές ταυτίζονται με τις επιφανειακές εκδηλώσεις των κύριων ρηγμάτων της περιογής (Πυλαίας-Πανοράματος (P-P F.), Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη (As-Ch F.), Λαγυνών-Άγιου Βασιλείου (L-AV F.) και Ασσήρου-Αναλήψεως), γι' αυτό και σχεδιάστηκαν οι αντίστοιχες γραμμές (σχ. 4.9). Οι κατανομές των εστιών που βρίσκονται σε απόσταση 40-60 km, παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Παρ' όλα αυτά όμως εκφράζουν κάποια γραμμικότητα γι' αυτό και θεωρήθηκε ότι πιθανώς κάποια ρήγματα διέρχονται από τα σημεία αυτά. Για να υπολογιστούν οι κλίσεις των ρηγμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι γωνίες κλίσεις των μηχανισμών γένεσης που δίνονται στον Πίνακα 4.2. Για το ρήγμα Πυλαίας – Πανοράματος βρέθηκε ένας μέσος όρος κλίσης 50°, όπως και για τα άλλα δύο ρήγματα, δηλαδή του Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη και Λαγυνά-Άγιου Βασιλείου. Για το ρήγμα Ασσήρου-Αναλήψεως, το οποίο όπως φαίνεται και από το χάρτη του σχήματος 4.5 έχει πιο μεγάλη κλίση, υπολογίστηκε 55° μέσος όρος γωνίας κλίσης. Οι κλίσεις των ρηγμάτων που βρέθηκαν διευκόλυναν στον σχεδιασμό των γραμμών διάρρηξης στο σχήμα της κατακόρυφης τομής.

Συγκεκριμένα, η κύρια σεισμική ακολουθία του 2001, συγκεντρώνεται στη βάση του σεισμογόνου χώρου, δηλαδή περίπου στα 13-14 km και πιθανά αποτελεί δραστηριοποίηση δύο ρηξιγενών γραμμών με ίδια διεύθυνση κλίσης, προς το βορρά. Συγκεκριμένα η ακολουθία αυτή φαίνεται να προκαλείται στη διασταύρωση της ρηξιγενούς γραμμής Ανθεμούντα και της ρηξιγενούς γραμμής που αποτελεί την προς τα ανατολικά συνέχεια της γραμμής Πυλαίας-Πανοράματος (με γωνία κλίσης 50°, όπως υπολογίστηκε από τη μέση τιμή των γωνιών κλίσης των μηχανισμών γένεσης της περιοχής αυτής), η οποία φαίνεται και στις παρατάξεις των μηχανισμών.

Λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των επικέντρων χαράχθηκαν τα ρήγματα, Λαγυνών-Αγίου Βασιλείου (L-AV F.), το οποίο έχει κλίση προς τα BΔ και το ρήγμα της Ασσήρου (Assiros F.) με κλίση 55° προς τα NΔ. Τα δύο αυτά ρήγματα είναι αντιθετικά, κάτι που αναμένεται στην περιοχή αυτή αφού το πεδίο που επικρατεί είναι εφελκυστικό και έχει οδηγήσει στη δημιουργία λεκάνης. Η κλίση του ρήγματος υπολογίστηκε με βάση το μέσο όρο των γωνιών κλίσης των μηχανισμών γένεσης της περιοχής. Ανατολικά του ρήγματος της Ασσήρου παρατηρήθηκαν γραμμικές κατανομές επικέντρων οι οποίες θεωρήθηκαν ίχνη πιθανών ρηγμάτων τα οποία και σχεδιάστηκαν με διακεκομμένες γραμμές. Τα ρήγματα αυτά φαίνονται να έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίνουν προς τα ΒΑ, εκτός από αυτό που βρίσκεται ανατολικότερα σε απόσταση περίπου 55 km και κλίνει προς τα ΝΔ. Δυτικά του ρήγματος του Ανθεμούντα παρατηρείται ένα ακόμα ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, το οποίο σύμφωνα με την κατανομή των εστιών φαίνεται να παρουσιάζει μεγάλη κλίση προς τα BBA.



Απόσταση km

Σχήμα 4.9. Κατακόρυφη τομή με διεύθυνση BBΔ-NNA, η οποία δείχνει την κατανομή των επικέντρων σε συνδυασμό με τη γεωμετρία των ρηγμάτων Πυλαία-Πανόραμα (P-P F.), Ασβεστοχώρι-Χορτιάτης (As-Ch F.), Λαγυνά-Άγιος Βασίλειος (L-AV F.) και Ασσήρου-Αναλήψεως. Επίσης λήφθηκε υπόψη και η προέκταση και γεωμετρία του κανονικό ρήγματος αποκόλλησης του Ανθεμούντα.

4.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Υπολογίστηκαν 46 μηχανισμοί γένεσης για τους 172 σεισμούς που έγιναν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του τοπικού δικτύου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Όλοι οι μηχανισμοί γένεσης έδειξαν κανονική διάρρηξη. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες (Papazachos et al. 1979, Mercier et al. 1983, Σκορδύλης 1985, Hatzfeld et al. 1986/87, Hatzidimitriou et al. 1991), που έχουν γίνει και αφορούν μηχανισμούς γένεσης σεισμών για την περιοχή.

Αποδείχθηκε ότι οι διευθύνσεις των μηχανισμών γένεσης έρχονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις διευθύνσεις των επιφανειακών εκδηλώσεων των ρηγμάτων στις περιοχές των επικέντρων των σεισμών. Στην περιοχή που εμφανίζονται οι γραμμές διάρρηξης Ασβεστοχωρίου - Χορτιάτη και Πυλαίας – Πανοράματος οι μηχανισμοί γένεσης έχουν διεύθυνση Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ, όπως είναι δηλαδή και η παράταξη των ρηγμάτων στην περιοχή αυτή. Ο μέσος όρος κλίσης του επιπέδου διάρρηξης είναι 50° και ο μέσος όρος του αζιμούθιου είναι περίπου 90° (σχ. 4.7).

Στην περιοχή κοντά στη λίμνη Λαγκαδά οι μηχανισμοί γένεσης υπολογίστηκαν με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, όπως και η διεύθυνση που έχουν τα ρήγματα της Ασσήρου –Ανάληψης (κλίση προς τα ΝΑ) και Λαγυνών – Αγίου Βασιλείου (κλίση προς τα ΒΔ). Η μέση διεύθυνση που υπολογίστηκε από τους μηχανισμούς γένεσης στην περιοχή αυτή είναι 110° και η μέση κλίση του επιπέδου διάρρηξης είναι 50° (για το ρήγμα Λαγυνά – Άγιος Βασίλειος) και 55° (για ο ρήγμα Ασσήρου – Ανάληψης (σχ. 4.7).

Στο ανατολικό τμήμα επειδή τα δεδομένα των σεισμών δεν ήταν αρκετά υπολογίστηκαν μόνο δύο μηχανισμοί γένεσης με διεύθυνση ABA-ΔNΔ, όπως και η παράταξη του ρήγματος της Αγίας Παρασκευής. Η κλίση που υπολογίστηκε ήταν στις 55° (σχ. 4.7).

Οι τάσεις εφελκυσμού, Τ, βρέθηκαν να έχουν διεύθυνση B-N και BBA-NNΔ στην περιοχή όπου σημειώθηκε η σεισμική ακολουθία του 2001. Οι διευθύνσεις αυτές είναι κάθετες στην παράταξη των ρηγμάτων Ασβεστοχωρίου – Χορτιάτη και Πυλαίας – Πανοράματος. Υπολογίστηκε ένας μέσος όρος κλίσης των μεγίστων αξόνων τάσης, Τ, ίσος με 13° (σχ. 4.8).

Στην περιοχή της λίμνης Λαγκαδά ο άξονες Τ παρατάσσονται κάθετα στην ανάπτυξη της λεκάνης με ΒΑ-ΝΔ παράταξη και κλίση στις 18°. Προς τα ανατολικά οι άξονες εφελκυσμού έχουν παράταξη που είναι κάθετη στη γραμμή διάρρηξης της Αγίας Παρασκευής, δηλαδή ABA-ΔΝΔ και μέσο όρο κλίσης 20° (σχ. 4.8). Γενικά σε όλο το μήκος της λεκάνης οι Τ- άξονες παρατάσσονται κάθετα στην ανάπτυξή της (BA-ΝΔ παράταξη στο BΔ τμήμα, B-N παράταξη στο κεντρικό τμήμα και πάλι BA-ΝΔ παράταξη στο NA τμήμα).

Στο σχήμα 4.9 έγινε μία κατακόρυφη τομή με διεύθυνση BBA-NNΔ στις 10°. Η τομή αυτή έδειξε ότι η σεισμική ακολουθία προκαλείται στη διασταύρωση της ρηξιγενούς γραμμής Ανθεμούντα και της προέκτασης, προς τα ανατολικά, της ρηξιγενούς γραμμής Πυλαίας-Πανοράματος. Για τις υπόλοιπες περιοχές επειδή υπάρχει διασπορά των εστιών των σεισμών, χαράχθηκαν πιθανά ρήγματα, με διεύθυνση BΔ-NA και κλίση προς τα BA και BΔ-NA διεύθυνση με κλίση BBA (στην περιοχή δυτικά του ρήγματος του Ανθεμούντα).

<u>5. ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</u>

Η γνώση των βασικών παραμέτρων των εστιών των σεισμών για μία περιοχή αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την παραπέρα σεισμολογική μελέτη της περιοχής αυτής. Η πόλη της Θεσσαλονίκης και οι περιοχές γύρω από αυτή, ανήκουν στη Σερβομακεδονική ζώνη που αποτελεί μία από τις ενεργές σεισμικές ζώνες της Βόρειας Ελλάδας (Papazachos et al., 1979). Για το λόγο αυτό έγινε εγκατάσταση τοπικού δικτύου στην περιοχή της Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο 2001 και λειτούργησε μέχρι τον Απρίλιο του 2002. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, από τους σταθμούς του δικτύου που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή, καταγράφηκε ένας αριθμός σεισμών, που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία της διατριβής αυτής.

Αρχικά, έγινε ανάλυση των κυματομορφών των σεισμών της περιοχής τη χρονική περίοδο που ήταν εγκατεστημένο το δίκτυο. Προσδιορίστηκαν, δηλαδή, για κάθε σεισμό, οι χρόνοι άφιξης των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων και μετρήθηκε το πλάτος και οι διάρκειες των κυματομορφών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών.

Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων, βρέθηκε ένα νέο μοντέλο δομής ταχυτήτων του φλοιού της περιοχής. Το προτεινόμενο μοντέλο, περιγράφει τη μεταβολή ταχύτητας διάδοσης των επιμήκων κυμάτων με το βάθος και αποτελείται από εννέα στρώματα και ημιχώρο (Πίνακας 2.6).

Αφού έγινε αποδεκτό το μοντέλο που εφαρμόσθηκε, υπολογίσθηκαν τα μέσα χρονικά υπόλοιπα, για κάθε σταθμό (Πίνακας 2.9). Έγιναν διαδοχικές διορθώσεις έως ότου το μέσο σφάλμα των χρονικών υπολοίπων σε όλους τους σταθμούς ήταν μικρότερο του 0.03 sec.

Για να περιγραφεί τελείως ένα μοντέλο φλοιού, είναι απαραίτητη και η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας των S κυμάτων με το βάθος. Υπολογίστηκε, επομένως, ο λόγος ταχυτήτων διάδοσης των επιμήκων (P) κυμάτων προς την ταχύτητα διάδοσης των S (εγκαρσίων) κυμάτων, V_p/V_s, και βρέθηκε ίση με 1.76.

Στη συνέχεια με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος HYPO71 (Lee and Lahr 1975) και με δεδομένα τους χρόνους άφιξης των P και S κυμάτων των σεισμών στους διάφορους σταθμούς του τοπικού δικτύου, προσδιορίστηκαν οι βασικές παράμετροι των 172 σεισμών που έγιναν από τις 12 Ιουλίου 2001, έως και τις 25 Απριλίου 2002 (Πίνακας 2.11). Το μέσο εστιακό βάθος των σεισμών της περιοχής βρέθηκε ίσο με 11.97 km. Οι εστιακές παράμετροι που υπολογίστηκαν για τους σεισμούς του τοπικού δικτύου χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη ενός ακριβέστερου καταλόγου ο οποίος περιλάμβανε σεισμούς από τη 1 Ιανουαρίου 1981 έως και τον Σεπτέμβριο του 2002. Τα δεδομένα του καταλόγου αυτού συλλέχθηκαν από τα δελτία του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου (ISC) και από τα δελτία του Σεισμολογικού Σταθμού του Τομέα Γεωφυσικής.

Βρέθηκαν οι κοινοί σεισμοί των πειραμάτων του δικτύου που εγκαταστάθηκε στη Θεσσαλονίκη από τον Ιούνιο 2001 μέχρι και τον Απρίλιο του 2002, των Hatzfeld et al., 1986/87, των Hatzidimitriou et al. 1991, και των Papazachos et al. 2000, τους σεισμούς του καταλόγου. Οι κοινές λύσεις (χρόνος γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες επικέντρου και εστιακό βάθος), των πειραμάτων θεωρήθηκαν ως εκρήξεις (δηλαδή ως αξιόπιστες λύσεις) και χρησιμοποιήθηκαν για τους 58 κοινούς σεισμούς., ως εστιακές παράμετροι.

Χρησιμοποιώντας τους 58 αυτούς σεισμούς και εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία των καμπύλων χρόνων διαδρομής υπολογίστηκε ένα μοντέλο δομής φλοιού για την περιοχή. Το προτεινόμενο μοντέλο (Πίνακας 3.4) αποτελείται από 10 στρώματα και βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με το μοντέλο που προτάθηκε με τη χρησιμοποίηση των δεδομένων του τοπικού δικτύου.

Για την ακριβέστερη περιγραφή του μοντέλου έγινε ο προσδιορισμός του λόγου ταχυτήτων V_p/V_s. Ο λόγος αυτός βρέθηκε ίσος με 1.78. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα μέσα χρονικά υπόλοιπα των σταθμών καταγραφής (Πίνακας 3.5).

Με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος ΗΥΡΟ71, προσδιορίστηκαν όλες οι εστιακές παράμετροι όλων των σεισμών του καταλόγου (2538), έχοντας ως δεδομένο το προτεινόμενο μοντέλο και τους χρόνους άφιξης των επιμήκων (P) και εγκαρσίων (S) κυμάτων. Το μέσο εστιακό βάθος όλων των σεισμών βρέθηκε ίσο με 8.7 km.

Για τον υπολογισμό των μεγεθών των σεισμών που καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα υπολογισμού μεγεθών του Σεισμολογικού Σταθμού του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. Οι επικεντρικές αποστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν με βάση το σταθμό της Θεσσαλονίκης. Τα μεγέθη υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις σχέσεις που ισχύουν για τον υπολογισμό του μεγέθους από τα εδαφικά πλάτη, Α (σχέσεις 3.8, α, β), και από τη διάρκεια ,D, (σχέσεις 3.9 α, β, γ). Επειδή η διαφορά στον υπολογισμό των μεγεθών M_α και M_d, ήταν πολύ μικρή χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο μέγεθος. Ο μέσος όρος των τιμών των μεγεθών ήταν 2.1. Από τους 172 σεισμούς που καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο υπολογίστηκαν με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος FPFIT 46 μηχανισμοί γένεσης σεισμών, των οποίων οι κλίσεις και οι διευθύνσεις δίνονται στον πίνακα 4.2. Όλοι οι μηχανισμοί γένεσης έδειξαν κανονική διάρρηξη. Επομένως οι τάσεις που επικρατούν στην περιοχή είναι εφελκυστικές, με τους Τ άξονες να έχουν διευθύνσεις Β-Ν και μικρές κλίσεις. Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενες έρευνες που έγιναν πάνω σε μηχανισμούς γένεσης σεισμών για την περιοχή της Θεσσαλονίκης (Papazachos et al. 1979, Mercier et al. 1983, Σκορδύλης 1985, Hatzfeld et al. 1986/87, Hatzidimitriou et al. 1991).

Η περιοχή χωρίζεται σε δύο ομάδες, ανάλογα με τη σεισμικότητα που επικρατεί:

α) Στην περιοχή που εμφανίζονται τα ρήγματα Ασβεστοχωρίου-Χορτιάτη και Πυλαίας-Πανοράματος, όπου σημειώθηκε η σεισμική ακολουθία, στις 8 Οκτωβρίου 2001, με μέγεθος κύριου σεισμού M=4.5. Οι μηχανισμοί γένεσης έχουν διεύθυνση Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ με μέσο όρο κλίσης 50° και μέσο όρο αζιμούθιου επιπέδου διάρρηξης περίπου 90° (σχ. 4.7). Οι διευθύνσεις αυτές έρχονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις διευθύνσεις των επιφανειακών εκδηλώσεων των ρηγμάτων στις περιοχές των επικέντρων. Οι άξονες Τ βρέθηκαν να έχουν διεύθυνση Β-Ν και BBA-ΝΝΔ με κλίσεις πολύ μικρές (13°) (σχ. 4.8).

β) Στην περιοχή κοντά στη λίμνη Λαγκαδά υπάρχουν δύο ρήγματα. Στα βόρεια της λίμνης το ρήγμα Ασσήρου-Ανάληψης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΝΑ και νοτιότερα το ρήγμα Λαγηνών-Αγίου Βασιλείου με ίδια διεύθυνση και κλίση προς τα ΒΔ. Τα δύο ρήγματα αυτά είναι αντιθετικά και ανταποκρίνονται στον εφελκυσμό που επικρατεί στην περιοχή. Τις ίδιες διευθύνσεις δίνουν και οι μηχανισμοί γένεσης. Η μέση διεύθυνση υπολογίστηκε ίση με 110° και ο μέσος όρος κλίσης υπολογίστηκε στις 50° (για το ρήγμα Λαγυνά-Άγιος Βασίλειος) και στις 55° για το ρήγμα Ασσήρου-Ανάληψης (σχ. 4.7). Οι άξονες Τ παρατάσσονται κάθετα στην ανάπτυξη της λεκάνης με ΒΔ-ΝΔ παράταξη και κλίση περίπου στις 18° (σχ. 4.8).

Στο ανατολικό τμήμα υπολογίστηκαν δύο μηχανισμοί γένεσης με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ (στις 110°) και κλίση στις 55° (σχ. 4.7). Η διεύθυνση αυτή συμφωνεί με την ABA-ΔΝΔ παράταξη του ρήγματος Αγίας Παρασκευής. Οι Τ άξονες έχουν παράταξη ΝΑ, με μέση κλίση 20° (σχ. 4.8)

Για καλύτερη κατανόηση της γεωμετρίας των ρηγμάτων με το βάθος κατασκευάστηκε τομή με διεύθυνση BBA-NNΔ στις 10°. Η κατανομή των εστιών των σεισμών που προέκυψε από την τομή (σχ. 4.9), σε συνδυασμό με τη γεωμετρία των ρηγμάτων της περιοχής, έδειξε ότι η σεισμική ακολουθία προκαλείται στη διασταύρωση της ρηξιγενούς γραμμής Ανθεμούντα και της προέκτασης, προς τα ανατολικά, της ρηξιγενούς γραμμής Πυλαίας-Πανοράματος. Για τις υπόλοιπες περιοχές επειδή υπάρχει διασπορά των εστιών των σεισμών, χαράχθηκαν πιθανά ρήγματα, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα BA (αυτά που βρίσκονται προς τα ΝΔ) και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση με κλίση BBA (στην περιοχή δυτικά του ρήγματος του Ανθεμούντα).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arsovski, M. 1961. Bemerkungen zur tectonischen entwicklung des Pelagonischen horst-antiklinoriums und seine stellung im rahmen der alpidischen structur von Makedonien. Bull. Inst. Geol. Rep. Mac., Skopje, 8, 65-90.
- Βακαλόπουλος, Α.Α. 1983. Ιστορία της Θεσσαλονίκης 316 π.Χ.-1983. 453 σελ., Θεσσαλονίκη.
- Βαμβακάρης Δ. Β. 2001. Μελέτη της ενεργού τεκτονικής και της παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μυγδονίας (Β. Ελλάδα) με την συνδυαστική χρήση σεισμικών και νεοτεκτονικών δεδομένων. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1 – 67.
- Βαρναλίδης, Σπ. 1978. Αναμνηστικόν σημείωμα (Ενθύμησης) περί του σεισμού της Θεσσαλονίκης του έτους 1759. *Μακεδονικά*, **18**, Θεσσαλονίκη.
- Carver, D. and G. A. Bollinger, 1981. Aftershocks of the June 20, 1978, Greece earthquake: A multimode faulting sequence. *Tectonophysics*, **73**, 343 363,
- Comninakis, P. E. and B. C. Papazachos 1979. Properties of the main seismic zone in Northern Greece and surrounding area. *Proceedings of Research Conference on Intra-Continental Earthquakes*.
- Crosson, R. 1976. Crustal structure modeling of earthquake data. 1. Simultaneous least squares estimation of hypocenter and velocity parameters. J. Geophysics Res., 81, 3036-3046.
- Fountoulis, D. 1980. Etude neotectonique et seismotectonique du Bassin de Langada (Macedoine, Greece). These 3eme Cycle, Univ. Paris, Sud.
- FPFIT: P. Reasenberg and D. Openheimer, U.S. Geological Survey 345 Middlefield Road Menlo Park, California.
- Hatzfeld, D., Christodoulou A. A., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. and Hatzidimitriou, P. M. 1986/87.A microearthquake study of the Mygdonian

graben (northern Greece). *Earth and Planetarry Science Letters*, **81**, 379 – 396.

- Hatzidimitriou P.M., Hatzfeld D., Scordilis E.M., Papadimitriou E.E. and A.A Christodoulou 1991. Seismotectonic evidence of an active normal fault beneath Thessaloniki (Greece). *Terra Motae*, 648-654.
- Καβύρης Ι. Γ. 2003. Μελέτη ιδιοτήτων των σεισμικών πηγών ανατολικού Κορινθιακού κόλπου. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Καποδηστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Kiratzi, A. A., Scordilis, E. M., Theodoulidis, N. P. and B. C Papazachos. 1984. Properties of the earthquake foci and of the propagation medium of seismic waves which define the earthquake damage in the area of Greece. Proceedings of the Conference *Earthquakes and Structures, Athens, 20-24 February 1984,* 262-274.
- Kiratzi, A. A. and B. C. Papazachos 1984. Magnitude scales for earthquakes in Greece. Bulletin Seismological Society America, 74, 969-985.
- Kiratzi, A. A. and B. C. Papazachos 1986. Magnitude determination from ground amplitudes recorded by short period seismographs in Greece. *Annales Geophysicae*, 4, 71-78.
- Kockel, F., Mollat, H. and H. W. Walther 1971. Geologie des Serbo-Mazedonischen massivs und seines Mesozoischen rahmens (Nordgriecheland). *Geol. Jb.*, **89**, 529-551.
- Kockel, F., Mollat, H. and H. W. Walther 1977. Erleuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowisseschaften und Rohstoffe, Hannover, 119pp.
- Λέτσας, Ν. Α. 1963. Ιστορία της Θεσσαλονίκης. 491-492, Θεσσαλονίκη.

- Lee, W. H. K. and J. C. Lahr 1975. A computer program for the determining hypocenter, magnitude and first motion pettern of local earthquakes. U. S. Geol. Surv. Open File Report, 75-311.
- Makris, J. 1976. A dynamic model of the Hellenic arc deduced from geophysical data. *Tectonophysics*, **36**, 339-346.
- Makris, J. 1977. Geophysical investigation of the Hellenides. *Geophys. Einzelschr.*, *Hamburger*, **34**, pp. 124.
- Makris, J. L.1978a. The crust and upper mantle of the Aegean region from deep seismic soundings. 1978a. *Tectonophysics*, **46**, 269-284.
- Mercier, J. L. 1968. Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). Ann. Geol. Pays Hell., 20, 1-792p.
- Mercier, J. L. 1977. Principal results of a neotectonic study of the Aegean arc and its localization within the Eastern Mediterranean. In: Proceedings of the VI Colloquium on the Geology of the Aegean region, Edited by G. Kallergis, Athens, 3, 1281-1291.
- Mercier J. L. 1981. Extensional-compress ional tectonics associated with the Aegean Arc: comparison with the Andean Cordillera of south Peru-north Bolivia. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A300, 337-355.
- Mercier, J.L., Carey-Gailhardis, E., Mouyaris, N., Simeakis, K., Roundoyannis, T. and , C. Anghelidhis 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. and E. Carey-Gaihardis 1989. Regional state of stress and characteristic fault kinematics instabilities shown by aftershock sequences: the aftershock sequences of the 1978 Thessaloniki (Greece) and 1980 Campani-Lucania (Italia) earthquakes as examples. *Earth and Planetary Science Letters*, **92**, 247 – 264.

Μουντράκης, Δ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. Univ. studio Press, Θεσσαλονίκη.

- Mountrakis, D., Psilovikos, A. and B. C. Papazachos 1983. The geotectonic regime of the Thessaloniki earthquakes, In: The Thessaloniki, Nothern Greece, Earthquake of June 20, 1978 and its Seismic Sequence, (ed: Papazachos, B. C. & Carydis, P. G.), *Tech. Chamb. Of Greece*: 11-27.
- Mountrakis, D., Kilias, A., Pavlides, S., Koufos, G., Vavliakis, E., Psilovikos, A., Sotiriadis, L., Astaras, Th., Tranos, M. & Spyropoulos. 1992. Neotectonic mapping of the northern Greece: problems and results, in: Neotectonics-Recent Advances, eds: Morner N-A., Owen L.A., Stewart, I., and Vita-Finzi, C., Abstract volume, *Quaternary Research Association*, Cambridge, 42.
- Oncescu, M.C. 1982 Velocity structure of the Vrancea region, Romania. *Tectonophysics*, **90**, 117-122.
- Παναγιωτόπουλος, Δ. Γ. 1984. Καμπύλες χρόνων διαδρομής και δομή του φλοιού στον νότιο Βαλκανικό χώρο. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1 – 173.
- Papastamatiou, D. J., 1978. The 1978 Chalkidiki earthquakes in N. Greece, a preliminary field report and discussion, Dames & Moore Technical note.
- Papazachos, B. C., Comninakis, P.E. and J.K Drakopoulos 1966. Preliminary results of an investigation of the crustal structure in southeastern Europe. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 56, 1241-1263.
- Papazachos, B. C. and P. E. Comninakis 1971. Geophysical and Tectonic Features of the Aegean Arc. *Journal of geophysical Research*, 76, 8517-8533.
- Papazachos B. C. 1974. On certain aftershock and foreshock parameters in the area of Greece. An. Geophysica, 27, 497-515.
- Papazachos, B., Mountrakis, D., Psilovikos, A. and G. Leventakis 1979a. Surface fault traces and fault plane solutions of the May – June 1978 major shocks in the Thessaloniki area, Greece. *Tectonophysics*, **53**, 171-183.

- Papazachos, B. C., A. Mountrakis, A. Psilovikos and G. Leventakis, 1979b. Focal properties of the 1978 earthquakes in Thessaloniki area. *Bulg. Geophys. J.*, 6(1), 72-80.
- Papazachos, B. C. 1980. Seismicity rates and long term earthquake prediction in the Aegean area. *Quaterniones Geo-daesiae*, **3**, 171-190.
- Papazachos, B. C., Tsapanos, T. M. and D. G. Panagiotopoulos 1982. A premonitory pattern of earthquakes in Northern Greece. *Nature*, **296**, 232 235.
- Παπαζάχος, Β. 1990. Εισαγωγή στη Σεισμολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος, Β. Κ. 1993. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική. Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Papazachos, C. and Nolet, G. 1997. *P* and *S*. Deep velocity structure of the Hellenic area obtained by robust nonlinear inversion of travel times. *Journal of Geophysical Research*, **102**, 8349 8367
- Papazachos, C. B. 1998. Crustal *P* and *S* velocity structure of the Serbomacedonian Massif (Northern Greece) obtained by non-linear inversion of traveltimes. *Geophys. J. Int.*, 134, 25 39.
- Papazachos, C. B. and E. M. Skordilis 1998. Crustal structure of the Rhodope and surrounding area obtained by non-linear inversion of P and S travel times and its tectonic implications. *Acta Vulcanologica*, **10(2)**, 339 – 345.
- Papazachos, C. B., Soupios P., Savvaidis A., Z. Roumelioti 2000. Identification of small-scale active faults near metropolitan areas: an example from the Asvestochori fault near Thessaloniki, *Proc. Of the XXXII ESC General* assemply, Lisbon, Portugal, 15-20 September 2000, 221-225.

Pavlidis, S.B. and A.A Kilias 1987. Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (SE Chalkidiki, nothern Greece). *Annales Tectinicae*, Vol. I, n.2, 9-104.

- Pavlides, S., Mountrakis, D., Kilias, A. and M. Tranos. 1990. The role of strike slip movements in the extensional area of the northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. In: M. Active and Recent Strike-slip Tectonics. (Ed: Bocalleti & A. Nur), Ann. Tectonicae, 4, 2, 196-211.
- Psilovikos, A., and L. Sotiriadis. 1983. The neotectonic graben complex of the Serbomacedonian massif at the area of Premygdonian basin, in northern Greece. *Clausthaler, Geol. Abh.* 44, 21-52.

Σκορδύλης, Μ. Κ. 1985. Μικροσεισμική μελέτη της Σερβομακεδονικής Ζώνης και των γύρω περιοχών. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1–250.

- Scordilis, E., Karakaisis, G., Papadimitriou, E. and B. Margaris, 1989. Microseismicity study of the Servomacedonian zone and the surrounding area. *Geologica Rhodopica*, 1, 79 – 83.
- Scordilis, E., Theodoulidis, N., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D. and D. Hatzfeld, 1989. Microearthquake study and near-field seismic wave attenuation in the Mygdonian graben, North Greece. *Geologica Rhodopica*, 1, 84–92.
- Soufleris, C. and G. S. Steward 1981. A source study of the Thessaloniki (Northern Greece) 1978 earthquake sequence. *Geophys. J. R. astr. Soc*, **67**, 343 358.
- Soufleris, C., Jackson, J. A., King G. C. P., Spencer C. P. and C. H. Scholz 1982. The 1978 earthquake sequence near Thessaloniki (northern Greece). *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 68, 429 – 458.
- Soufleris, C., Jackson, J. A., King, G. C. P., and C. P. Spencer 1983. Thessaloniki 1978 earthquakes: Localy recorded aftershocs. The Thessaloniki, northern Greece earthquake of June 20 1978 and its seismic sequence, Papazachos, B. C. and Carydis, P. G. editors, Thessaloniki, 159-185.

- Stiros, S. C. and A. Drakos 2000. Geodetic constrains on the fault pattern of the 1978 Thessaloniki (Northern Greece) earthquake ($M_s = 6.4$). *Geophys. J. Int.*, **143**, 679 – 688.
- Svoronos, N. G. 1951. Salonique et Cavalla (1689-1792). Inventair des Corrspodances des Consuls de France au Levant, 154pp.
- Τρανός Μ. Δ. 1998. Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας και του Βορείου Αιγαίου. Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 1 – 349.
- Tranos, M. D., Kilias, A. A. and D. M., Mountrakis 1999. Geometry and kinematics of the Tertiary post-metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS), Nothern Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, Vol. 33, 5-16.
- Tranos, M. D., Papadimitriou E.E. and A.A Kilias 2003. Thessaliniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): The western extension of the 1978 Thessloniki earthquake fault (Nothern Greece) and seismic hazard assessment. *Journal of structural* geology.
- Uhrhammer, R. and E. Collins 1990. Synthesis Wood-Anderson seismograms from broadband digital records. *Bull. Seism. Soc. A.*, **80**, 702-716.