

Επαναπροσδιορισμός των εστιακών παραμέτρων των μετασεισμών της Λευκάδας: Σεισμοτεκτονικές προεκτάσεις Relocation of aftershocks of the 2003 Lefkada Sequence: seismotectonic implications

Βασίλειος ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ¹,

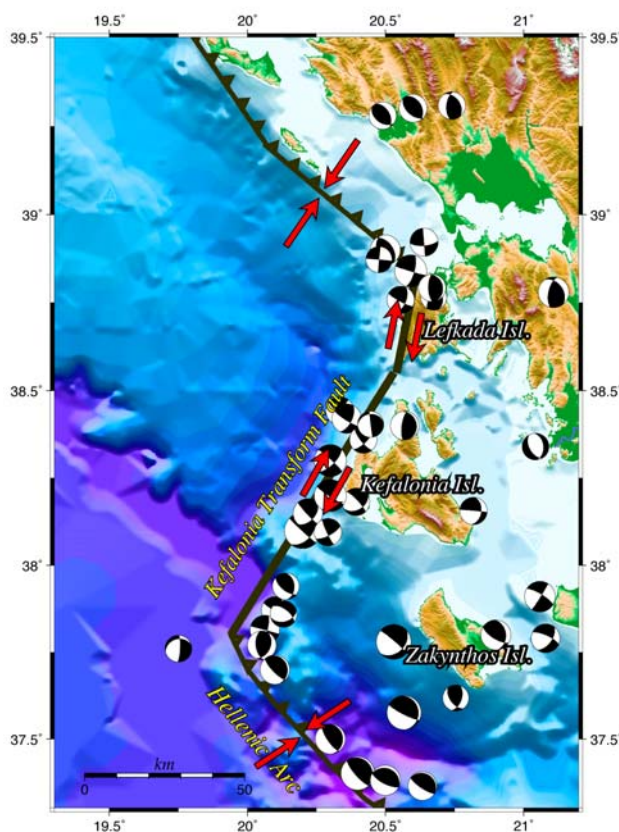
ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Προσδιορίστηκαν με μεγάλη ακρίβεια οι εστιακές συντεταγμένες περίπου 2500 μετασεισμών οι οποίοι καταγράφηκαν από τοπικό ψηφιακό σεισμολογικό δίκτυο που εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στην περιοχή της Λευκάδας μετά τη γένεση του κύριου σεισμού της 14^{ης} Αυγούστου 2003 (M_w 6.2). Οι εστιακές συντεταγμένες και οι χρόνοι γένεσης των σεισμών που είχαν καταγραφεί και από το μόνιμο δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των καμπύλων χρόνων διαδρομής και το νέο προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών που καταγράφηκαν από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατός ο ακριβέστερος προσδιορισμός των εστιακών συντεταγμένων του κύριου σεισμού και των μεγαλύτερων μετασεισμών που έγιναν πριν την εγκατάσταση του τοπικού σεισμολογικού δικτύου. Ο κύριος σεισμός τοποθετείται στο βορειότερο τμήμα της μετασεισμικής ζώνης και η εστία του βρίσκεται σε βάθος περίπου 10 km. Τα τοπικά δεδομένα αποκαλύπτουν ότι η κύρια διάρρηξη συνοδεύτηκε από έντονη σεισμική δραστηριότητα σε δομές οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά στο ρήγμα που προκάλεσε τον κύριο σεισμό. Δώδεκα ή περισσότερες ώρες μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού, η μετασεισμική δραστηριότητα επεκτάθηκε προς τα νότια, σε απόσταση μεγαλύτερη των 60 km φθάνοντας μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς.

ABSTRACT: The focal coordinates of about 2500 aftershocks which recorded by a digital local seismological network, that deployed in the broader epicentral area after the occurrence of the Lefkada main shock (14 August 2003, M_w 6.2), were determined. The calculated by this way focal coordinates and the origin times of the aftershocks recorded by both the local and the regional permanent seismological networks, were used to define the travel time curves of the P-waves and then to relocate the main shock as well as the stronger aftershocks which occurred before the installation of the local network. The main shock is located at the northernmost part of the aftershock zone and its focal depth is about 10 km. The accurately located local events reveal that the main rupture accompanied by activation on nearby faults soon after the occurrence of the main shock. Twelve or more hours after the mainshock, seismic activity expanded southward in a distance larger than 60 km, up to the northwestern coasts of Kefalonia Island.

¹ Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, email: vkarak@geo.auth.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις 14 Αυγούστου 2003, ένας ισχυρός σεισμός με μέγεθος $M=6.2$ έπληξε την πόλη της Λευκάδας καθώς επίσης και το βόρειο και δυτικό τμήμα του νησιού. Από το σεισμό αυτό προκλήθηκαν εκτεταμένες κατολισθήσεις κατά μήκος των απότομων πρανών της βορειοδυτικής ακτής του νησιού αλλά και σε ορισμένες άλλες περιοχές. Προκλήθηκαν επίσης καθιζήσεις σε χώρους όπου υπήρχαν λιμενικά έργα και σε μικρότερη έκταση βλάβες σε κτίρια, τόσο στην πόλη της Λευκάδας όσο και σε χωριά του νησιού.



Σχήμα 1. Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες της περιοχής των κεντρικών Ιονίων Νήσων. Διακρίνονται τα δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης της Κεφαλονιάς και της Λευκάδας, το μέτωπο ηπειρωτικής σύγκρουσης μεταξύ της Απούλιας μικροπλάκας και της ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς και το μέτωπο της κατάδυσης στο βορειοδυτικό τμήμα του Ελληνικού τόξου. Οι διαθέσιμοι αξιόπιστοι μηχανισμοί γένεσης σεισμών που έγιναν στην περιοχή κατά τις τελευταίες τέσσαρες δεκαετίες φαίνονται ως ισεμβαδικές προβολές του κάτω ημισφαιρίου.

Ο κύριος σεισμός έλαβε χώρα στο βόρειο τμήμα της ζώνης δεξιόστροφων ρηγμάτων η οποία εκτείνεται από το χώρο βόρεια της Λευκάδας είναι παράλληλη με τις δυτικές ακτές της Λευκάδας και της Κεφαλονιάς και φθάνει προς τα νότια μέχρι την περιοχή δυτικά της Ζακύνθου (σχήμα 1). Η ζώνη αυτή της οποίας το συνολικό μήκος είναι περίπου 130 km, συνδέει την ζώνη σύγκρουσης μεταξύ της Απούλιας μικροπλάκας και της ηπειρωτικής Ελλάδας (που βρίσκεται προς τα βόρεια), με την περιοχή κατάδυσης κατά μήκος του ελληνικού τόξου που αρχίζει από το χώρο δυτικά της Ζακύνθου και κατευθύνεται προς τα

νότια–νοτιοανατολικά. Κατά μήκος της ζώνης αυτής εκδηλώνεται η εντονότερη σεισμική δραστηριότητα όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά σε όλη τη δυτική Ευρασία. Έχει αναγνωρισθεί (Lounvari et al., 1999, μεταξύ άλλων) ότι η ζώνη αυτή αποτελείται από δύο τμήματα από τα οποία το νότιο είναι το μεγαλύτερο με μήκος περίπου 95 km, έχει διεύθυνση $\sim 35^\circ$ και φιλοξενεί τους μεγαλύτερους σε μέγεθος σεισμούς. Με βάση τα ιστορικά στοιχεία ο μεγαλύτερος σεισμός στο τμήμα αυτό έχει μέγεθος $M=7.4$ (Papazachos and Papazachou 2003). Το βορειότερο τμήμα της, εκτείνεται κατά μήκος των δυτικών ακτών της Λευκάδας, έχει μήκος περίπου 35 km και παρουσιάζει μια μεταβολή της διεύθυνσης ($\varphi=15^\circ$) σε σύγκριση με το νότιο τμήμα. Η σεισμικότητα και εδώ είναι υψηλή, όμως τα μεγέθη των ισχυρότερων σεισμών δεν ξεπερνούν το 6.7, είναι δηλαδή σαφώς μικρότερα από αυτά στο νότιο τμήμα.

Το δεξιόστροφο ρήγμα της Κεφαλονιάς αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά ως μια κύρια τεκτονική ασυνέχεια από τους Scordilis et al., (1985), οι οποίοι μελέτησαν τη σεισμική ακολουθία του σεισμού με $M=7.0$ που έγινε στις 17 Ιανουαρίου 1983 και βρήκαν ότι η κύρια διάρρηξη ήταν δεξιόστροφη οριζόντιας μετατόπισης. Στο σχήμα 1, μαζί με τα κύρια ενεργά όρια της περιοχής έχουν χαρτογραφηθεί οι διαθέσιμοι μηχανισμοί γένεσης των ισχυρότερων σεισμών που έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες (CMT solutions; Baker et al., 1997). Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι επικρατούν δεξιόστροφες οριζόντιες διαρρήξεις κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεφαλονιάς και της Λευκάδας και ανάστροφες διαρρήξεις στην περιοχή βόρεια και νότια της ζώνης αυτής.

Ο σεισμός του 2003 έγινε κοντά στις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας (σχήμα 2). Αμέσως μετά τη γένεση του κύριου σεισμού εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στην περιοχή δίκτυο επτά ψηφιακών σειсмоγράφων αποτελούμενο από πέντε σεισμόμετρα ευρέως φάσματος (30 sec) και δύο βραχείας περιόδου (1 Hz) τριών συνιστωσών (Karakostas et al., 2004). Η κατανομή των επικέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας μέχρι τις 21 Αυγούστου 2003 με βάση τις καταγραφές στο δίκτυο αυτό και σε ένα μόνιμο σεισμολογικό σταθμό που λειτουργεί στη Λευκάδα, έδειξε μια BBA–NND ζώνη σε συμφωνία με τη διεύθυνση του ενός εκ των δύο επιπέδων του μηχανισμού γένεσης του σεισμού ο οποίος προτάθηκε από το Harvard ($\varphi=18^\circ$, $\theta=60^\circ$, $\lambda=175^\circ$), το οποίο θεωρήθηκε ως το επίπεδο του ρήγματος από τους προαναφερόμενους ερευνητές.

Η μετασεισμική ζώνη στο σύνολό της καταλαμβάνει μια περιοχή μήκους περίπου 60 km από τα βόρεια της Λευκάδας μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς που είναι πολύ μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου ενός σεισμού με μέγεθος $M=6.2$ (Wells and Coppersmith, 1994; Papazachos et al., 2004). Η κατανομή αυτή ερμηνεύθηκε από τους Karakostas et al., (2004) ως αποτέλεσμα διέγερσης της σεισμικότητας στην ευρύτερη περιοχή που οφείλεται στη γένεση του κύριου σεισμού στη Λευκάδα και στην κατανομή των τάσεων Coulomb που αυτός προκάλεσε, ερμηνεία με την οποία συμφωνούν και οι Papadopoulos et al., (2003). Διαφορετική ερμηνεία έχει δοθεί από τους Benetatos et al., (2005, 2007) και Zahradnik et al., (2005) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η κύρια διάρρηξη επεκτάθηκε σε ολόκληρη τη μετασεισμική ζώνη με τη διαδοχική γένεση τριών επί μέρους σεισμών από το βόρειο προς το νότιο τμήμα.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι, με την ανάλυση και επεξεργασία μεγάλου αριθμού μετασεισμών που καταγράφηκαν από το τοπικό δίκτυο και τον προσδιορισμό των εστιακών τους παραμέτρων να γίνει σαφέστερη η εικόνα της εξέλιξης της μετασεισμικής ακολουθίας. Τα δεδομένα αυτά δίνουν επίσης τη δυνατότητα για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των εστιακών συντεταγμένων των μετασεισμών που ακολούθησαν αμέσως μετά τη γένεση του κύριου σεισμού και έχουν καταγραφεί μόνο από τους σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου.

ΕΠΑΝΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΣΤΙΑΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ

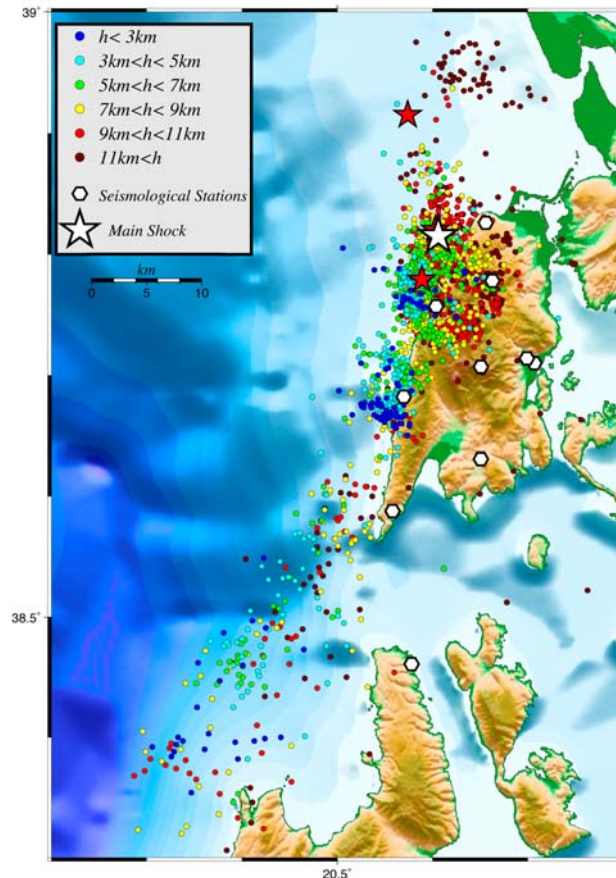
Δεδομένα Τοπικού Δικτύου

Τα δεδομένα των μετασεισμών που καταγράφηκαν από τις 15 μέχρι τις 21 Αυγούστου 2003 χρησιμοποιήθηκαν από τους Karakostas et al., (2004) οι οποίοι καθόρισαν τα βασικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης της μετασεισμικής ακολουθίας. Όμως, ο αριθμός των δεδομένων αυτών δεν ήταν ικανός να δώσει με λεπτομέρεια την πολυπλοκότητα στην εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας, παρά μόνο κάποιες ενδείξεις ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα της περιοχής που ενεργοποιήθηκε, όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη συγκέντρωση των μετασεισμών. Συγκεκριμένα, το εύρος της μετασεισμικής ζώνης στο βόρειο τμήμα είναι μεγαλύτερο από το αναμενόμενο με βάση το μηχανισμό γένεσης του σεισμού ο οποίος απαιτεί ένα ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση περίπου Βορράς–Νότος και σχετικά μεγάλη γωνία κλίσης (CMT solution, Benetatos et al., 2005, 2007, Papadimitriou et al., 2006). Οι ενδείξεις αυτές αποτέλεσαν προβληματισμούς που επιχειρείται να απαντηθούν στην εργασία αυτή με βάση την επεξεργασία των σεισμολογικών δεδομένων των μετασεισμών οι οποίοι καταγράφηκαν από το τοπικό ψηφιακό σεισμολογικό δίκτυο μέχρι τις 15 Σεπτεμβρίου 2003, δηλαδή, για χρονικό διάστημα ενός μήνα μετά από τη γένεση του κύριου σεισμού.

Οι επτά σταθμοί του τοπικού σεισμολογικού δικτύου (σχήμα 2) εγκαταστάθηκαν αρχικά μόνο στο νησί της Λευκάδας, όμως, πολύ γρήγορα και αφού επί τόπου διαπιστώθηκε μετά την επεξεργασία των δεδομένων των πρώτων ημερών ότι η σεισμική δραστηριότητα είναι έντονη και στο θαλάσσιο χώρο νότια της Λευκάδας, ένας από τους σταθμούς αυτούς μεταφέρθηκε και εγκαταστάθηκε στην Κεφαλονιά ώστε να υπάρξει καλύτερη αζιμουθιακή κάλυψη της επικεντρικής περιοχής. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι καταγραφές στο μόνιμο σεισμολογικό σταθμό του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ που λειτουργεί στη Λευκάδα. Η επεξεργασία των καταγραφών έδωσε τη δυνατότητα του προσδιορισμού των εστιακών παραμέτρων 2644 μετασεισμών, για το χρονικό διάστημα που προαναφέρθηκε, τα επίκεντρα των οποίων έχουν χαρτογραφηθεί στο σχήμα 2. Έχουν χρησιμοποιηθεί κύκλοι διαφορετικού χρώματος για να δηλώσουν τα διαφορετικά εστιακά βάθη των μετασεισμών.

Για τον προσδιορισμό των εστιακών συντεταγμένων των μετασεισμών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα HYPOINVERSE (Klein 2002) και μονοδιάστατο μοντέλο ταχυτήτων των επιμήκων σεισμικών κυμάτων που έχει προταθεί από τους Haslinger et al., (1999), το οποίο στηρίζεται στις καταγραφές σε πυκνό δίκτυο τοπικών ψηφιακών σεισμολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή του Αμβρακικού κόλπου. Με βάση την ίδια εργασία θεωρήθηκε ότι ο

λόγος ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων προς την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων ισούται με 1.80. Για να ληφθούν υπόψη οριζόντιες μεταβολές της ταχύτητας από τις τιμές του προτεινόμενου μοντέλου, υπολογίσθηκαν διορθώσεις στους χρόνους άφιξης κάθε σεισμολογικού σταθμού οι οποίες κυμαίνονται από -0.2 sec μέχρι $+0.2$ sec.



Σχήμα 2. Κατανομή των επικέντρων των μετασεισμών οι οποίοι έγιναν μέχρι τις 15 Σεπτεμβρίου 2003 (μικροί κύκλοι) και καταγράφηκαν από το δίκτυο των ψηφιακών σεισμολογικών σταθμών (εξάγωνα) οι οποίοι εγκαταστάθηκαν και λειτούργησαν στην περιοχή από τις 15 Αυγούστου 2003. Τα επίκεντρα του κύριου σεισμού ($M=6.2$) και των μεγαλύτερων μετασεισμών ($M \geq 5.0$) έχουν χαρτογραφηθεί με αστερίσκους.

Η χωρική κατανομή των επικέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας είναι παρόμοια με αυτή της πρώτης εβδομάδας από τη γένεση του κύριου σεισμού (Karakostas et al., 2004) δείχνοντας ότι δεν υπήρξε δραστηριοποίηση νέων ρηγμάτων στο επόμενο χρονικό διάστημα. Στο θαλάσσιο χώρο βόρεια της Λευκάδας υπάρχει μια συγκέντρωση μετασεισμών η οποία διακρίνεται σαφώς από την κύρια ομάδα των μετασεισμών που καλύπτει το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Σε μικρή απόσταση από την κύρια ομάδα των μετασεισμών και νότια αυτής ακολουθεί μια μικρότερων διαστάσεων συγκέντρωση επικέντρων σαφώς οριοθετημένη. Από το θαλάσσιο χώρο στο νοτιοδυτικό άκρο της Λευκάδας αρχίζει μια δραστηριότητα η οποία κατανέμεται περίπου ομοιόμορφα και φθάνει μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς. Η σεισμική δραστηριότητα στο χώρο της Λευκάδας ακολουθεί τη γενική διεύθυνση των δυτικών ακτογραμμών, ενώ παρατηρείται μια μεταβολή της διεύθυνσης της μετασεισμικής ζώνης που βρίσκεται στο θαλάσσιο χώρο νότια της Λευκάδας προς τα

νοτιοδυτικά. Με τον τρόπο αυτό οριοθετούνται τα δύο τμήματα της ρηξιγενούς ζώνης, της Λευκάδας προς τα βόρεια και της Κεφαλονιάς προς τα νότια.

Δεδομένα Μονίμου Σεισμολογικού Δικτύου

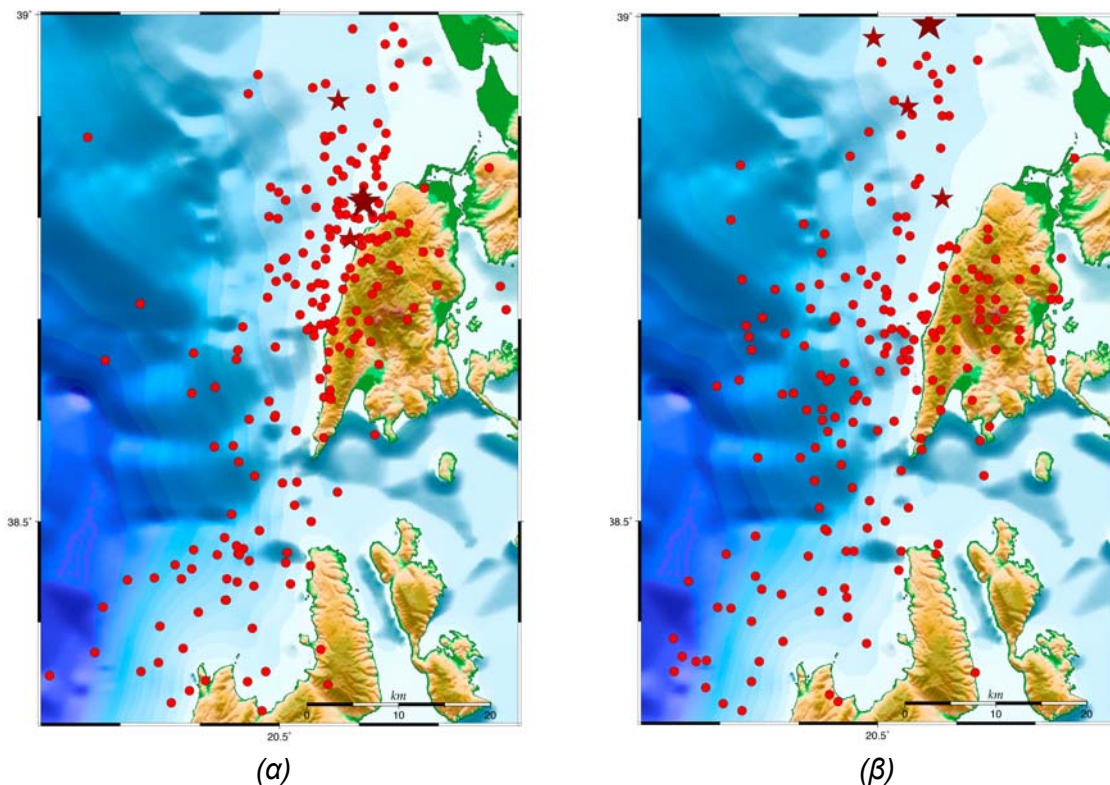
Στη μελέτη μιας μετασεισμικής ακολουθίας είναι εξαιρετικής σημασίας η ακριβής γνώση της χωρικής κατανομής των μετασεισμών που ακολουθούν χρονικά αμέσως μετά τον κύριο σεισμό. Συνήθως οι σεισμοί αυτοί δεν καταγράφονται από πυκνό δίκτυο σειсмоγράφων οι οποίοι να βρίσκονται κοντά στην επικεντρική περιοχή, επειδή τέτοια δίκτυα σπάνια λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο χώρο πριν από τη γένεση ενός ισχυρού σεισμού, αλλά εγκαθίστανται εκεί μετά τη γένεσή του. Για τον ίδιο λόγο παρατηρούνται προβλήματα στον ακριβή προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων του κύριου σεισμού. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών εφαρμόζονται διάφορες μεθοδολογίες ανάλογα με τα δεδομένα τα οποία είναι διαθέσιμα. Η χρήση των υπολογισμένων με ακρίβεια εστιακών συντεταγμένων και χρόνων γένεσης των σεισμών που έχουν καταγραφεί από τους σταθμούς του τοπικού δικτύου και ταυτόχρονα και από τους σεισμολογικούς σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου, είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για τη βελτίωση των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών που έχουν καταγραφεί μόνο από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο.

Με σκοπό τον ακριβέστερο προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Λευκάδας οι οποίοι καταγράφηκαν μόνο από τα μόνιμα σεισμολογικά δίκτυα της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών, συγκεντρώθηκαν όλες οι διαθέσιμες φάσεις από το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (*International Seismological Centre, On-line Bulletin*) για το χρονικό διάστημα από τη γένεση του κύριου σεισμού μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2003. Από σχετικό έλεγχο που έγινε δεν βρέθηκαν προσεισμοί οι οποίοι να προηγήθηκαν του κύριου σεισμού σε χρονικό διάστημα λίγων ημερών πριν από τη γένεσή του. Από τους 460 σεισμούς που συγκεντρώθηκαν οι 132 είχαν καταγραφεί και από τους σταθμούς του τοπικού σεισμολογικού δικτύου και είχαν υπολογιστεί με ακρίβεια οι εστιακές τους παράμετροι. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό ενός κατάλληλου μοντέλου ταχυτήτων και χρονικών διορθώσεων ώστε οι υπολογιζόμενοι χρόνοι διαδρομής να ανταποκρίνονται στους πραγματικούς χρόνους διαδρομής των σεισμικών κυμάτων των σεισμών της μετασεισμικής ακολουθίας οι οποίοι καταγράφονται σε σεισμολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου.

Με σκοπό την κατασκευή των καμπύλων χρόνων διαδρομής και στη συνέχεια τον προσδιορισμό του μοντέλου ταχυτήτων, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα *HYPOINVERSE* το οποίο δίνει τη δυνατότητα να υπολογισθούν οι επικεντρικές αποστάσεις των σεισμολογικών σταθμών από την εστία ενός σεισμού όταν αυτή είναι γνωστή με ακρίβεια. Όμως, ο χρόνος διαδρομής που υπολογίζεται από το πρόγραμμα αυτό δεν είναι η διαφορά του χρόνου άφιξης από τον γνωστό χρόνο άφιξης από τα τοπικά δεδομένα αλλά από το χρόνο γένεσης που το πρόγραμμα υπολογίζει ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέσο σφάλμα. Στην εργασία αυτή οι χρόνοι διαδρομής υπολογίστηκαν ως οι διαφορές του γνωστού από τα τοπικά δεδομένα χρόνου γένεσης από τους χρόνους άφιξης των σεισμικών κυμάτων σε κάθε σεισμολογικό σταθμό και σε συνδυασμό με τις επικεντρικές αποστάσεις χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των καμπύλων χρόνων διαδρομής. Το μοντέλο ταχυτήτων που προέκυψε με βάση τις καμπύλες χρόνων διαδρομής που υπολογίστηκαν με τον τρόπο αυτό είναι

παρόμοιο, αλλά όχι τόσο λεπτομερές όσο αυτό που έχει προταθεί από τους Haslinger et al., (1999). Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί το τελευταίο και για την επεξεργασία των δεδομένων που έχουν καταγραφεί από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο.

Ακολούθησε ο προσδιορισμός των χρονικών διορθώσεων σε κάθε σεισμολογικό σταθμό ο οποίος είναι απαραίτητος για να ληφθούν υπόψη οι αποκλίσεις της πραγματικής ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων από αυτές του μοντέλου για διάφορες αποστάσεις και για διαφορετικά αζιμούθια γύρω από την επικεντρική περιοχή. Ως χρονικό υπόλοιπο κάθε φάσης θεωρήθηκε η διαφορά του υπολογιζόμενου με βάση το μοντέλο ταχυτήτων χρόνου διαδρομής από τον πραγματικό χρόνο διαδρομής ο οποίος υπολογίστηκε με αφαίρεση του χρόνου γένεσης του σεισμού, όπως αυτός προκύπτει από τα τοπικά δεδομένα, από το χρόνο άφιξης του κύματος στο σεισμολογικό σταθμό. Ως τελική τιμή της χρονικής διόρθωσης για κάθε σεισμολογικό σταθμό λήφθηκε η μέση τιμή όλων των διαθέσιμων δεδομένων.

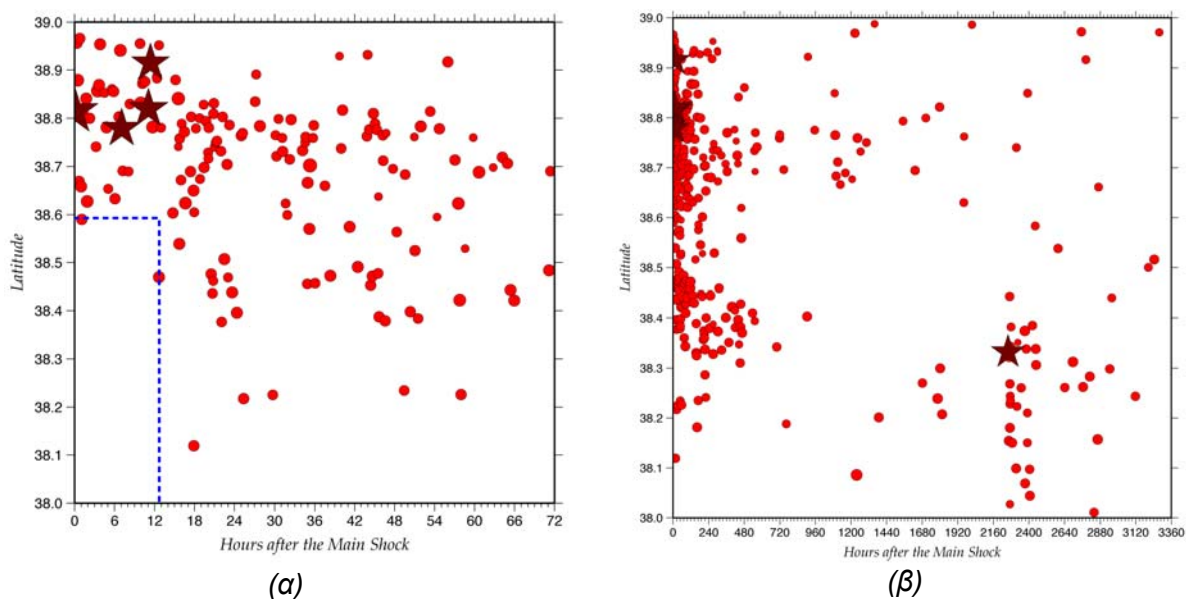


Σχήμα 3. Η κατανομή των epicέντρων των μετασεισμών που καταγράφηκαν από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο στην Ελλάδα και σε γειτονικές χώρες, όπως επαναπροσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία (α) με τη χρήση κατάλληλου μοντέλου ταχυτήτων και χρονικών διορθώσεων στους χρόνους άφιξης για κάθε σεισμολογικό σταθμό και (β) όπως αυτά έχουν δημοσιευθεί μετά την επεξεργασία όλων των διαθέσιμων δεδομένων από το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (ISC).

Στο σχήμα 3α έχουν χαρτογραφηθεί τα epicέντρα των σεισμών όπως προσδιορίστηκαν μετά την επεξεργασία που έγινε με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγούμενα και χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των εστιακών τους παραμέτρων τουλάχιστον επτά φάσεις σε σταθμούς του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου. Έχουν χρησιμοποιηθεί αστερίσκοι για να παραστήσουν τα epicέντρα των σεισμών με μέγεθος $M > 5.0$ και κύκλοι για τα

επίκεντρα των σεισμών μικρότερου μεγέθους. Στο σχήμα 3β έχουν χαρτογραφηθεί τα επίκεντρα των ίδιων σεισμών όπως αυτά προσδιορίστηκαν από το ISC. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, οι μεγαλύτεροι σε μέγεθος σεισμοί έχουν μετατοπισθεί προς τα νότια. Ο κύριος σεισμός προσδιορίζεται κοντά στις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας σε επίκεντρο πολύ κοντά και λίγο ανατολικότερα από αυτό που έχει προταθεί και από τους Papadopoulos et al., (2003) με βάση τα δεδομένα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Το εύρος της μετασεισμικής ζώνης, μετά την επεξεργασία στην παρούσα εργασία, εμφανίζεται αρκετά μικρότερο σε σύγκριση με τη χωρική κατανομή των δεδομένων του ISC και η μετασεισμική ζώνη στο σύνολό της είναι μετατοπισμένη προς τα ανατολικά πιο κοντά στις ακτές της Λευκάδας και της ΒΔ Κεφαλονιάς. Όμως, παρά τη βελτίωση αυτή είναι φανερό από τη σύγκριση της κατανομής των επικέντρων με αυτά που προκύπτουν από τα τοπικά δεδομένα (σχήμα 2) ότι ένας αριθμός σεισμών βρίσκεται μακριά από την επικεντρική περιοχή. Οι διαφορές αυτές θα πρέπει να αποδοθούν σε σφάλματα στην ανάγνωση των φάσεων σε σεισμολογικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται σχετικά μακριά από τον εστιακό χώρο με αποτέλεσμα να είναι ασθενής η άφιξη των επιμήκων σεισμικών κυμάτων σε αυτούς και ακόμα δυσκολότερη η διάκριση του χρόνου άφιξης των εγκαρσίων κυμάτων. Πιθανή βελτίωση των εστιακών παραμέτρων των σεισμών με χρήση των δεδομένων του μόνιμου σεισμολογικού δικτύου μπορεί να γίνει μόνο με νέα προσεκτική ανάγνωση των χρόνων άφιξης, ώστε να αποφεύγεται να χρησιμοποιούνται δεδομένα τα οποία δεν είναι αξιόπιστα.



Σχήμα 4. Χωροχρονική μελέτη της κατανομής των επικέντρων των σεισμών της μετασεισμικής ακολουθίας κατά τη διεύθυνση Βορράς – Νότος για χρονικό διάστημα (α) τριών ημερών και (β) τεσσάρων περίπου μηνών μετά τη γένεση του κύριου σεισμού. Η σεισμική δραστηριότητα τις πρώτες ώρες μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού περιορίζεται στο βόρειο τμήμα και επεκτάθηκε νότια από το γεωγραφικό πλάτος των 38.6° Β μετά από 12 ή περισσότερες. Στο νότιο τμήμα, τρεις περίπου μήνες μετά τη γένεση του κύριου σεισμού έγινε σεισμός με μέγεθος $M=5.3$ ο οποίος συνοδεύτηκε από τη δική του μετασεισμική ακολουθία.

Έχει ήδη τονισθεί ότι οι μετασεισμοί που γίνονται τις πρώτες ώρες μετά τη γένεση του κύριου σεισμού είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για τον καθορισμό των βασικών ιδιοτήτων της μετασεισμικής ακολουθίας. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα της χωροχρονικής κατανομής των επικέντρων των μετασεισμών κατά μήκος μιας γραμμής διεύθυνσης B-N για τις τρεις πρώτες μέρες από τη γένεση του κύριου σεισμού. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, τις πρώτες δώδεκα ώρες η μετασεισμική δραστηριότητα είναι συγκεντρωμένη βόρεια από το γεωγραφικό πλάτος των 38.6°, ενώ στον ίδιο χώρο και στο ίδιο χρονικό διάστημα έγιναν όλοι οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της ακολουθίας. Μόνο μετά από 12 έως 18 ώρες αρχίζει μια σαφής δραστηριότητα νότια από τις 38.6° η οποία φθάνει μέχρι τις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς. Τα επίκεντρα τριών σεισμών, οι οποίοι έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα των πρώτων 12 ωρών, τα οποία σύμφωνα με τον κατάλογο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών βρίσκονται νοτιότερα από τις 38.6°, έχουν προσδιορισθεί με τη χρήση τεσσάρων ή πέντε φάσεων P- κυμάτων. Στην επεξεργασία που γίνεται εδώ, με την προσθήκη μιας ακόμα φάσης από σεισμολογικό σταθμό της Ιταλίας τοποθετούνται βορειότερα. Ο πρώτος σεισμός του οποίου το επίκεντρο προσδιορίστηκε νότια από τις 38.6° στην παρούσα εργασία, έγινε στις 17:55 UTC και για τον υπολογισμό των εστιακών του παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες αφίξεις σε επτά σεισμολογικούς σταθμούς.

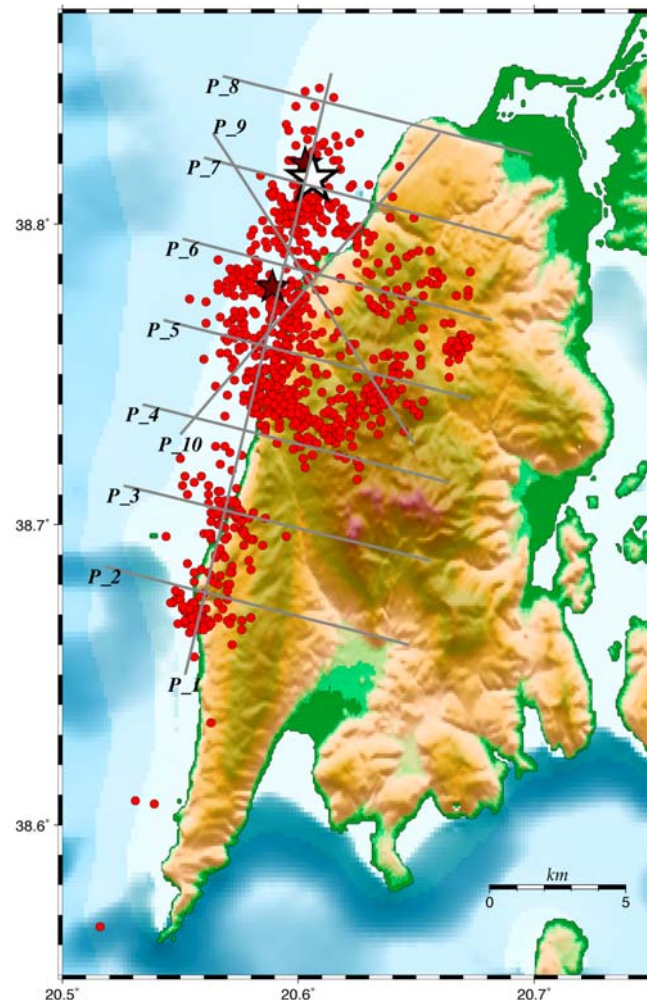
Στο σχήμα 4β παρουσιάζεται η χωροχρονική κατανομή των επικέντρων των σεισμών για το χρονικό διάστημα μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2003. Τις πρώτες 25 περίπου ημέρες η σεισμική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα έντονη τόσο στο βόρειο τμήμα της όσο και στην περιοχή που επεκτάθηκε προς τα νότια. Στη συνέχεια η μετασεισμική δραστηριότητα περιορίζεται αισθητά μέχρι τις 16 Νοεμβρίου 2003 όπου στο νοτιότερο τμήμα της μετασεισμικής περιοχής έγινε σεισμός με μέγεθος $M=5.3$ ο οποίος συνοδεύτηκε από τη δική του μετασεισμική ακολουθία. Στο βόρειο τμήμα δεν παρατηρήθηκε κάποια νέα έξαρση της σεισμικής δραστηριότητας.

ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ

Η χωρική κατανομή των επικέντρων των μετασεισμών με βάση τα δεδομένα του τοπικού ψηφιακού σεισμολογικού δικτύου (σχήμα 2) δείχνει ότι η μετασεισμική ζώνη διακρίνεται σε επιμέρους συγκεντρώσεις σεισμών. Το γεγονός ότι ο κύριος σεισμός, οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί και ο μεγαλύτερος αριθμός των μετασεισμών έγινε στο βόρειο τμήμα, σε συνδυασμό με την κατανομή των μακροσεισμικών εντάσεων (Papadopoulos et al., 2003; Parathanasiou et al., 2005) και τη μελέτη της χωροχρονικής μεταβολής των επικέντρων η οποία δείχνει ότι η σεισμική ακολουθία ξεκίνησε από βόρεια και αργότερα επεκτάθηκε προς τα νότια, μας οδηγεί στο να διερευνήσουμε τις λεπτομέρειες της κύριας διάρρηξης στο βόρειο τμήμα της μετασεισμικής ζώνης.

Στο σχήμα 5 έχει γίνει χαρτογράφηση των επικέντρων των σεισμών όπως αυτά προσδιορίστηκαν από τις καταγραφές στο τοπικό ψηφιακό σεισμολογικό δίκτυο. Έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο τα επίκεντρα των σεισμών με σφάλμα στο χρόνο γένεσης $RMS < 0.2$ sec, σφάλμα στον προσδιορισμό του επικέντρου $ERH < 1.0$ km και σφάλμα στον προσδιορισμό του εστιακού βάθους $ERZ < 1.0$ km. Στον ίδιο χάρτη με αστερίσκους έχουν χαρτογραφηθεί τα επίκεντρα του κύριου σεισμού και των ισχυρότερων μετασεισμών, όπως υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία. Ο χάρτης αυτός δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης

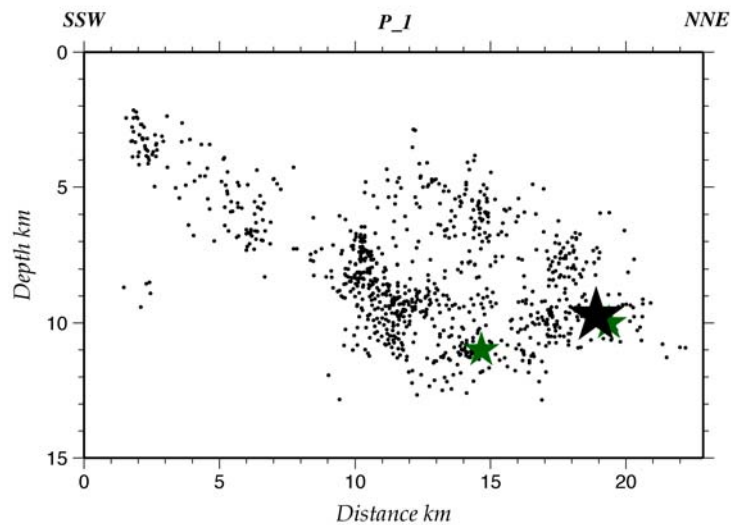
της κατανομής της μετασεισμικής δραστηριότητας με λεπτομέρεια. Οι μετασεισμοί κατανέμονται κατά μήκος τεσσάρων ευδιάκριτων ομάδων. Ο κύριος σεισμός φαίνεται ότι συνδέεται με τη σεισμική ζώνη διεύθυνσης BBA-NNΔ σε συμφωνία με το μηχανισμό γένεσης που έχει προταθεί (CMT solution, Benetatos et al., 2005, 2007, Zahradnik et al., 2005, Paradimitriou et al., 2006). Η δεύτερη ομάδα επικέντρων βρίσκεται νότια-νοτιοδυτικά της πρώτης, ακολουθώντας την ίδια διεύθυνση με αυτή. Από το χώρο του επικέντρου του κύριου σεισμού και με κατεύθυνση προς τα νοτιοανατολικά, ακολουθώντας τη διεύθυνση μορφολογικών χαρακτηριστικών του αναγλύφου, εκτείνεται μία άλλη ομάδα μετασεισμών η οποία φθάνει μέχρι το κεντρικό τμήμα της βόρειας Λευκάδας εκεί που βρίσκεται το χωριό Λαζαράτα. Από τη θέση αυτή και με διεύθυνση προς τα νοτιοδυτικά, εκτείνεται μια άλλη ομάδα σεισμών η οποία στο άλλο άκρο της συνδέεται με το νότιο τμήμα της ομάδας επικέντρων στην οποία ανήκει και ο κύριος σεισμός.



Σχήμα 5. Κατανομή των επικέντρων των σεισμών που έχουν προσδιορισθεί με μεγάλη ακρίβεια ($RMS < 0.2$ sec, $ERH < 1.0$, $ERZ < 1.0$ km) με τη χρήση των τοπικών δεδομένων (μικροί κύκλοι). Έχουν επίσης χαρτογραφηθεί τα επίκεντρα του κύριου σεισμού και των μεγαλύτερων μετασεισμών (αστερίσκοι). Κατά μήκος των γραμμών που φαίνονται στο χάρτη έγιναν τομές για να μελετηθεί η κατανομή των εστιακών βαθών των σεισμών.

Για τη διερεύνηση της κατανομής των εστιακών βαθών των σεισμών έγιναν αρκετές τομές παράλληλα και κάθετα στις διευθύνσεις των χωρικών συγκεντρώσεων των μετασεισμών. Η τομή P_1 με διεύθυνση NND–BBA παράλληλα προς τις δυτικές ακτές της Λευκάδας και προς τη διεύθυνση της μεγαλύτερης συγκέντρωσης των μετασεισμών (σχήμα 6), δείχνει σαφώς δύο συγκεντρώσεις σεισμικών εστιών. Η πρώτη από αυτές είναι η μεγαλύτερη, βρίσκεται προς τα βόρεια, τα εστιακά βάθη των μετασεισμών κυμαίνονται από 3 km μέχρι 12 km και το μήκος της είναι περίπου 15 km. Η εστία του κύριου σεισμού βρίσκεται στο βορειότερο και κατώτερο τμήμα της ζώνης αυτής, δείχνοντας ότι η διάρρηξη είναι μονοκατευθυντική, ξεκίνησε στο βόρειο άκρο και προχώρησε προς τα νότια–νοτιοδυτικά.

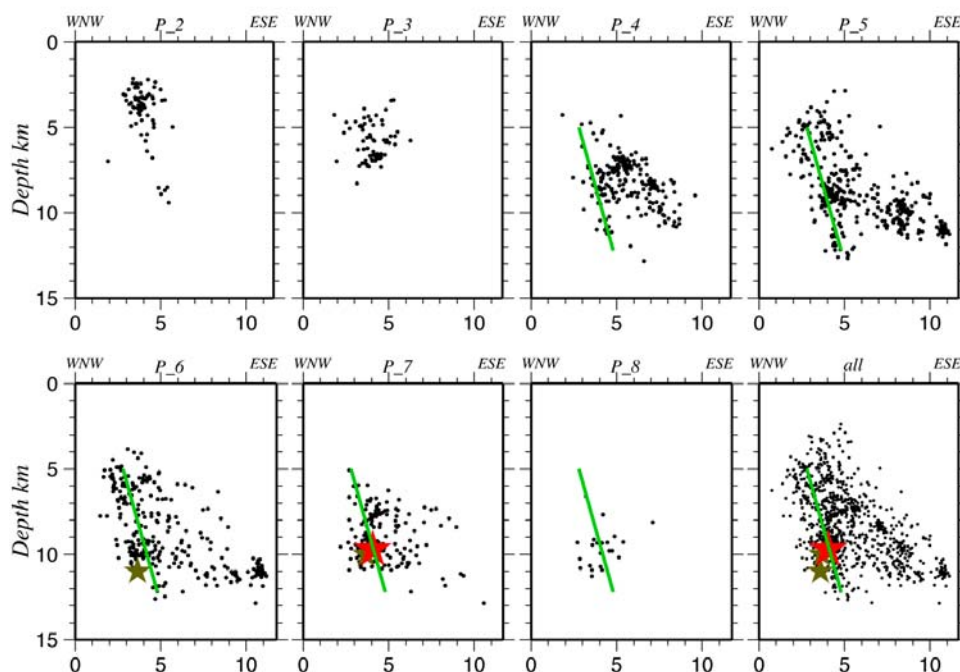
Στην ίδια τομή και νότια της πρώτης συγκέντρωσης σεισμών προσδιορίζεται μια άλλη μικρότερη ζώνη της οποίας οι διαστάσεις είναι περίπου 6 km σε μήκος και περίπου 3 km σε πλάτος. Τα εστιακά βάθη κυμαίνονται από 3 km μέχρι 7 km, ενώ παρατηρείται μια βαθμιαία αύξηση αυτών από τα νότια προς τα βόρεια. Η ζώνη αυτή είναι σαφώς διαχωρισμένη από την προηγούμενη ομάδα σεισμών και όπως φαίνεται και από το χάρτη των επικέντρων του σχήματος 2, δεν αλλάζει αν χρησιμοποιηθούν οι εστίες όλων των μετασεισμών που προσδιορίστηκαν στην παρούσα εργασία και όχι μόνο αυτών με τα μικρότερα σφάλματα.



Σχήμα 6. Τομή παράλληλη προς την κύρια διεύθυνση της μετασεισμικής ζώνης. Διακρίνονται δύο ομάδες σεισμών. Ο κύριος σεισμός καταλαμβάνει το κατώτερο τμήμα της ομάδας με τις μεγαλύτερες διαστάσεις που βρίσκεται προς τα βόρεια-βορειοανατολικά.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται τομές οι οποίες έχουν γίνει σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση της σεισμικής ζώνης η οποία περιγράφηκε προηγούμενα. Οι πρώτες επτά τομές του σχήματος αυτού (P_2 έως P_8) περιλαμβάνουν τις εστίες των σεισμών οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση 2 km δεξιά και αριστερά κάθε γραμμής όπως αυτές έχουν χαραχθεί στο χάρτη του σχήματος 5. Οι τομές P_2 και P_3 περιέχουν κυρίως τις εστίες των σεισμών της νότιας ομάδας, ενώ οι επόμενες πέντε (P_4 έως P_8) περιλαμβάνουν τις εστίες των σεισμών που ανήκουν στην ομάδα στην οποία βρίσκεται ο κύριος σεισμός και αυτές των άλλων δύο ομάδων σεισμών οι οποίες έχουν αναγνωρισθεί προς τα ανατολικά. Στο ΔΒΔ τμήμα των τομών P_4, P_5 και P_6 η πυκνότητα των σεισμικών εστιών είναι αυξημένη και

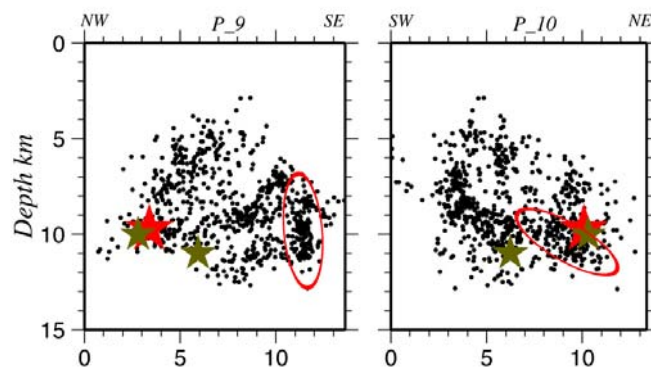
ορίζεται μία ζώνη η οποία βυθίζεται προς τα ANA με μεγάλη γωνία κλίσης. Η τελευταία τομή του σχήματος 7 περιλαμβάνει τα δεδομένα όλων των προηγούμενων τομών του ίδιου σχήματος. Παρατηρείται και εδώ παρόμοια κατανομή των σεισμικών εστιών. Η εστία του κύριου σεισμού καταλαμβάνει το βαθύτερο τμήμα της ζώνης που αναγνωρίστηκε στις προηγούμενες τομές. Σε αρκετές από τις τομές φαίνεται να υπάρχει μία ζώνη σεισμών ανατολικότερα της προηγούμενης η οποία βυθίζεται με μικρότερη γωνία κλίσης επίσης προς τα ανατολικά. Όμως, συνδυασμός της εικόνας αυτής με το χάρτη των επικέντρων του σχήματος 5 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το αποτέλεσμα αυτό δεν αποδίδει την πραγματικότητα αλλά είναι αποτέλεσμα της προβολής στο ίδιο επίπεδο σεισμικών εστιών οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικές δομές.



Σχήμα 7. Τομές κάθετες στη διεύθυνση κατανομής των επικέντρων της μετασεισμικής ακολουθίας, κατά μήκος των γραμμών που έχουν χαραχθεί στο χάρτη του σχήματος 5. Στην τελευταία τομή φαίνονται οι εστίες όλων των σεισμών του χάρτη ενώ στις προηγούμενες οι εστίες των σεισμών που βρίσκονται 2 km δεξιά και αριστερά της αντίστοιχης γραμμής.

Αναγνώριση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δομών οι οποίες συνδέονται με τη σεισμική δραστηριότητα στο βορειοανατολικό τμήμα της μετασεισμικής ζώνης μπορεί να γίνει μόνο με τομές κάθετες στην κύρια διεύθυνση της χωρικής κατανομής των επικέντρων. Στο σχήμα 8 η τομή P_9 έχει γίνει παράλληλα προς τη διεύθυνση που ορίζει η γραμμή αυτή στο σχήμα 5, δηλαδή, κάθετα στη διεύθυνση της σεισμικής ζώνης η οποία βρίσκεται στο νοτιοανατολικότερο τμήμα της τομής. Οι εστίες των σεισμών που βρίσκονται στο εσωτερικό της έλλειψης, δείχνουν ότι η ζώνη αυτή είναι αρκετά στενή, σχεδόν κατακόρυφη με κλίση μάλλον προς τα νοτιοανατολικά. Η επόμενη τομή, P_10, έχει γίνει κάθετα προς τη διεύθυνση της συγκέντρωσης επικέντρων η οποία εκτείνεται από τη θέση του επικέντρου του κύριου σεισμού προς τα νοτιοανατολικά. Η έλλειψη στο σχήμα αυτό συμπεριλαμβάνει τους σεισμούς

που ανήκουν σε αυτή τη σεισμική ζώνη και συνδέονται πιθανότατα με μία δομή μικρής γωνίας κλίσης.



Σχήμα 8. Τομές κάθετες στη διεύθυνση κατανομής των epicέντρων των δύο ομάδων σεισμών που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του βόρειου τμήματος της σεισμικής ακολουθίας. Με τις ελλείψεις περιλαμβάνονται οι εστίες των δύο αυτών συγκεντρώσεων μετασεισμών.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των εστιακών συντεταγμένων των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας της 14^{ης} Αυγούστου 2003, οι οποίοι καταγράφηκαν από τοπικό ψηφιακό σεισμολογικό δίκτυο το οποίο εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στη Λευκάδα και στη Βόρεια Κεφαλονιά από την επόμενη ημέρα μετά τη γένεση του κύριου σεισμού έδωσε τη δυνατότητα της λεπτομερούς χωροχρονικής εξέλιξης της ακολουθίας αυτής. Η σεισμική δραστηριότητα στο σύνολό της εκτείνεται σε μία ζώνη από τα βόρεια της Λευκάδας μέχρι της βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς, παράλληλης προς τη γενική διεύθυνση των ακτογραμμών των δύο νησιών και κατά μήκος της δεξιόστροφης ζώνης διάρρηξης Κεφαλονιάς Λευκάδας. Το συνολικό μήκος της ζώνης αυτής είναι περισσότερο από 60 km, δηλαδή, τρεις έως τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το μήκος ενός ρήγματος το οποίο συνδέεται με σεισμό μεγέθους $M=6.2$.

Οι ακριβείς εστιακές συντεταγμένες των σεισμών οι οποίοι είχαν καταγραφεί τόσο από το τοπικό όσο και από το μόνιμο σεισμολογικό δίκτυο έδωσαν τη δυνατότητα του προσδιορισμού ενός κατάλληλου μοντέλου ταχυτήτων των σεισμικών κυμάτων στο φλοιό και στο ανώτερο τμήμα του μανδύα και υπολογισμού αντίστοιχων χρονικών διορθώσεων του χρόνου διαδρομής των σεισμικών κυμάτων για κάθε σεισμολογικό σταθμό. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τον επαναπροσδιορισμό των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών που είχαν καταγραφεί μόνο από το δίκτυο των μόνιμων σεισμολογικών σταθμών. Με τον τρόπο αυτό αποκαλύφθηκε ότι η σεισμική δραστηριότητα ξεκίνησε με τον κύριο σεισμό στο θαλάσσιο χώρο έξω από τις βορειοδυτικές ακτές της Λευκάδας. Για χρονικό διάστημα δώδεκα ωρών ή και περισσότερο η σεισμική δραστηριότητα ήταν περιορισμένη στη βόρεια περιοχή. Στον ίδιο χώρο και στο ίδιο χρονικό διάστημα έγιναν οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί της σεισμικής ακολουθίας. Μετά από το χρόνο αυτό η σεισμική δραστηριότητα επεκτάθηκε προς τα νότια χωρίς τη γένεση ισχυρού σεισμού. Τόσο στη βόρεια όσο και στη νότια περιοχή η συχνότητα γένεσης των μετασεισμών περιορίστηκε σημαντικά 25 ημέρες μετά την έναρξη της σεισμικής ακολουθίας. Όμως, στη νότια περιοχή και στο νοτιότατο άκρο

της ζώνης που είχε διαμορφωθεί ακολούθησε στις 16 Νοεμβρίου 2003 σεισμός με μέγεθος $M=5.3$ ο οποίος συνοδεύτηκε από τη δική του μετασεισμική ακολουθία.

Οι ακριβέστερα υπολογισμένες εστιακές συντεταγμένες των σεισμών που έγιναν στο βόρειο τμήμα της μετασεισμικής ζώνης, δείχνουν επίσης μια πολυπλοκότητα στη δραστηριοποίηση του ιστού των ενεργών δομών. Αναγνωρίστηκαν τέσσερις επί μέρους ζώνες μετασεισμών στο χώρο αυτό, αλλά είναι πιθανό να υπάρχουν και άλλες μικρότερες. Η πρώτη από αυτές, έχει διεύθυνση BBA-NNΔ σε συμφωνία με τους μηχανισμούς γένεσης που έχουν προταθεί για τον κύριο σεισμό. Η εστία του κύριου σεισμού βρίσκεται στο βόρειο άκρο της ζώνης αυτής δείχνοντας ότι η διάρρηξη διαδόθηκε προς το νότο. Μια ζώνη παρόμοιας διεύθυνσης αλλά πολύ μικρότερων διαστάσεων και με επιφανειακότερα εστιακά βάθη βρίσκεται νοτιότερα της προηγούμενης. Δύο ακόμα ζώνες εκτείνονται στα ανατολικά της σεισμικής ζώνης η οποία συνδέεται με τον κύριο σεισμό και ακολουθούν μορφολογικά χαρακτηριστικά του αναγλύφου. Οι δύο τελευταίες ζώνες συναντώνται κοντά στο χωριό Λαζαράτα στο οποίο παρατηρήθηκε αυξημένη τιμή των μακροσεισμικών εντάσεων σε σύγκριση με τα γειτονικά χωριά.

Αυτή η χωροχρονική εξέλιξη βρίσκεται σε συμφωνία με την ερμηνεία που έχει δοθεί από τους Karakostas et al., (2004) οι οποίοι μελέτησαν την κατανομή της μεταβολής των τάσεων Coulomb που προκάλεσε ο κύριος σεισμός στη γύρω περιοχή. Ο κύριος σεισμός συνδέεται με τη διάρρηξη μήκους περίπου 15 km στο βόρειο τμήμα της μετασεισμικής ζώνης. Κατά τη διεύθυνση της διάρρηξης και σε χώρους με θετική μεταβολή της τάσης προκλήθηκε διέγερση της σεισμικής δραστηριότητας με σημαντικότερη τη γένεση του σεισμού μεγέθους $M=5.3$ στις 11 Νοεμβρίου 2003. Η αναγνώριση ότι ο χώρος αυτός αποτελεί περιοχή αυξημένης σεισμικής επικινδυνότητας ενισχύεται και από τη γένεση του ισχυρού σεισμού με μέγεθος $M=5.7$ στις 25 Μαρτίου 2007 κοντά στις βορειοδυτικές ακτές της Κεφαλονιάς, ο οποίος συνοδεύτηκε από έντονη μετασεισμική δραστηριότητα. Σε χώρο θετικών μεταβολών των τάσεων Coulomb βρίσκεται και μια μικρή ομάδα σεισμών βόρεια από τη Λευκάδα.

Για πρώτη φορά στην παρούσα εργασία καθορίστηκαν οι ζώνες των μετασεισμών που βρίσκονται πολύ κοντά στην κύρια διάρρηξη αλλά είναι σαφώς διακεκριμένες από αυτή. Όπως και σε άλλες μετασεισμικές ακολουθίες του ελληνικού χώρου οι οποίες μελετήθηκαν με χρήση δεδομένων τοπικού σεισμολογικού δικτύου (όπως ο σεισμός της Κοζάνης Γρεβενών, $M=6.6$, 13 Μαΐου 1995, Hatzfeld et al., (1997)) έτσι και στην παρούσα περίπτωση, η μετασεισμική δραστηριότητα επεκτάθηκε σε γειτονικούς χώρους. Παρόλα αυτά, η ακρίβεια στον υπολογισμό των εστιακών συντεταγμένων των σεισμών που έγιναν τις πρώτες ώρες μετά τον κύριο σεισμό δεν επιτρέπει να διακρίνουμε πότε άρχισε αυτή η δραστηριότητα. Από την εγκατάσταση του τοπικού σεισμολογικού δικτύου και μετά η διέγερση των γειτονικών της κύριας διάρρηξης δομών είχε πλέον εκδηλωθεί.

Η διέγερση της σεισμικής δραστηριότητας στις πολύ κοντινές στην κύρια διάρρηξη δομές δεν φαίνεται να ευνοείται από την κατανομή των μεταβολών των τάσεων Coulomb (Karakostas et al., 2004). Αυτό οφείλεται πιθανώς στο ότι για τον προσδιορισμό της κατανομής των μεταβολών της τάσης έχει ληφθεί υπόψη ομοιόμορφη κατανομή της ολίσθησης πάνω στην επιφάνεια του ρήγματος που προκάλεσε τον κύριο σεισμό. Είναι όμως γνωστό ότι η διερεύνηση πιθανής διέγερσης της σεισμικής δραστηριότητας στην περίπτωση αυτή απαιτεί τη γνώση της λεπτομερούς κατανομής της ολίσθησης κατά την κύρια διάρρηξη.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το πρόγραμμα GMT (Wessel and Smith, 1998) χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των σχημάτων. Δημοσίευση του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ, αριθμός 732.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baker, C., Hatzfeld, D., Lyon–Caen, H., Papadimitriou, E., and Rigo, A., (1997). “Earthquake mechanisms of the Adriatic Sea and western Greece: implications for the oceanic subduction – continental collision transition”, *Geophys. J. Intern.*, 131, pp. 559–594.
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Roumelioti, Z., Stavrakakis, G., Drakatos, G and Latoussakis, I., (2005), “The 14 August 2003 Lefkada Island (Greece) earthquake: Focal mechanisms of the mainshock and of the aftershock sequence”, *J. Seismology*, 9, pp. 171–190.
- Benetatos, C., Dreger, D. and Kiratzi, A., (2007), “Complex and segmented rupture associated with the 14 August 2003 M_w 6.2 Lefkada, Ionian Islands, earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 97, pp. 35–51.
- Haslinger, F., Kissling, E., Ansorge, J., Hatzfeld, D., Papadimitriou, E., Karakostas, V., Makropoulos, K., Kahle, H.–G. and Peter, Y., (1999), “3D crustal structure from local earthquake tomography around the gulf of Arta (Ionian region, NW Greece)”, *Tectonophysics*, 304, pp. 201–218.
- Hatzfeld, D., Karakostas, V., Ziazia, M., Selvaggi, G., Leborgne, S., Berge, C., Guiguet, R., Paul, A., Voidomatis, Ph., Diagourtas, D., Kassaras, I., Koutsikos, I., Makropoulos, K., Azzara, R., Di Bona, M., Bacchechi, S., Bernard, P., and Papaioannou, Ch., (1996), “The Kozani – Grevena (Greece) earthquake of May 13, 1995, revisited from a detailed seismological study”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87 (2), pp. 463–473.
- International Seismological Centre, *On–line Bulletin*, <http://www.isc.ac.uk>, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2001.
- Karakostas, V. G., Papadimitriou, E. E. and Papazachos, C. B., (2004), “Properties of the 2003 Lefkada, Ionian Islands, Greece, earthquake seismic sequence and seismicity triggering”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, pp. 1976–1981.
- Klein, F. W., (2002), “User’s Guide to HYPOINVERSE–2000, a Fortran Program to Solve Earthquake Locations and Magnitudes”, *U. S. Geol. Surv. Open File Report 02–171 Version 1.0*.
- Louvari, E., Kiratzi, A. A. and Papazachos, B. C., (1999), “The Cephalonia Transform Fault and its extension to western Lefkada Island (Greece)”, *Tectonophysics*, 308, pp. 223–236.
- Papadimitriou, P., Kaviris, G., and Makropoulos, K., (2006), “The M_w =6.3 2003 Lefkada earthquake (Greece) and induced stress transfer changes”, *Tectonophysics*, 423, pp. 7–30.
- Papadopoulos, G., Karastathis, V.K., Ganas, A., Pavlides, S., Fokaefs, A. and Orfanogiannaki, K., (2003), “The Lefkada, Ionian Sea (Greece), shock (M_w 6.2) of 14 August 2003: Evidence for the characteristic earthquake from seismicity and ground failures”, *Earth Planets Space*, **55**, pp. 713–718.
- Papathanassiou, G., Pavlides, S. and Ganas, A., (2005), The 2003 Lefkada earthquake: Field observations and preliminary microzonation map based on liquefaction potential index for the town of Lefkada”, *Engin. Geology*, 82, pp. 12–31.
- Papazachos, B. C., and Papazachou, C., (2003), “The earthquakes of Greece”, Ziti Publ., Thessaloniki, Greece, pp. 317.

- Papazachos, B. C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C. B. and Karakaisis, G. F., (2004), "Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes", *10th Congr. Hellenic Geol. Soc., Thessaloniki, Greece, 14–17 April 2004*, pp. 539–540.
- Scordilis, E. M., Karakaisis, G. F., Karakostas, B. G., Panagiotopoulos, D. G., Comninakis, P. E. and Papazachos, B. C., (1985), "Evidence for transform faulting in the Ionian Sea: The Cephalonia Island earthquake sequence", *Pure Appl. Geophys.*, 123, pp. 388–397.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, pp. 974–1002.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F., (1998), New, improved version of the Generic Mapping Tools Released. *EOS Trans. AGU*, 79, 579.
- Zahradník, J., Serpetsidaki, A., Sokos, E. and Tselentis, A., (2005), "Iterative deconvolution of regional waveforms and a double–event interpretation of the 2003 Lefkada earthquake, Greece", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, pp. 159–172.