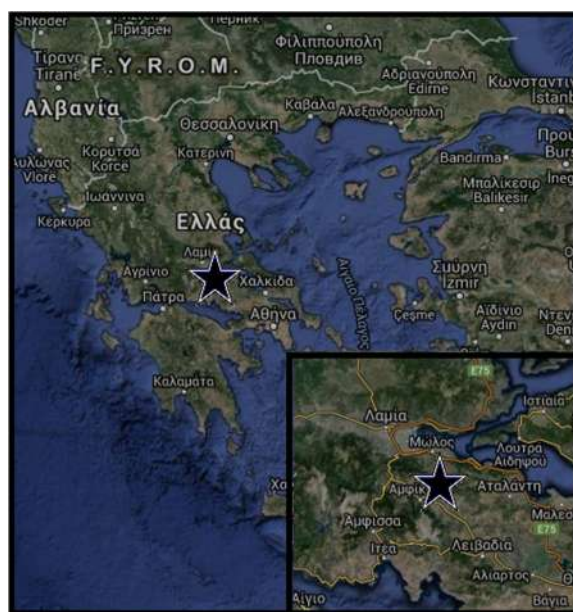




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**Μελέτη της Σεισμικής Διέγερσης στην Περιοχή της
Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$)**



Διπλωματική εργασία
Αγγελής Δημήτριος ΑΕΜ: 4101
Επιβλέπων καθηγητής: Σκορδύλης Εμμανουήλ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Ευχαριστίες	3
1. Μελέτη σεισμικών ακολουθιών	4
1.1 Εισαγωγικές έννοιες και ορισμοί	4
1.2 Χωρική Κατανομή	7
1.3 Κατά Μέγεθος Κατανομή	8
1.4 Χρονική Κατανομή	9
1.5 Χώρο-χρονική Κατανομή	10
2. Εισαγωγή	11
2.1 Στοιχεία του σεισμού	11
2.2 Σεισμικότητα της περιοχής κατά το παρελθόν	14
2.3 Συνοπτικές επιπτώσεις από το σεισμό	16
2.3.1 Επιπτώσεις στην Δρυμαία	17
2.3.2 Επιπτώσεις στο Ρεγκίνιο	18
2.3.3 Επιπτώσεις στον τοπικό οδικό άξονα	19
3. Μελέτη της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας	20
3.1 Δεδομένα παρατήρησης	20
3.2 Χωρική Κατανομή	20
3.2.1 Γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή	21
3.2.2 Εγκάρσια τομή	25
3.2.3 Διαμήκης τομή	26
3.3 Κατά Μέγεθος Κατανομή	27
3.4 Χρονική κατανομή	33
3.5 Χώρο-χρονική κατανομή	36
4. Συμπεράσματα	38
Βιβλιογραφία	39
Ιστοσελίδες	41
Παράρτημα	42

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την μελέτη της σεισμικής ακολουθίας στην περιοχή της Αμφίκλειας έτσι ώστε να προκύψουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τον σεισμογόνο χώρο αλλά και για την ίδια την ακολουθία.

- **Κεφάλαιο 1^ο**

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στην μελέτη των σεισμικών ακολουθιών με περιγραφή βασικών εννοιών, ορισμών αλλά και γεωφυσικών τύπων.

- **Κεφάλαιο 2^ο**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εισαγωγή για τον σεισμό της Αμφίκλειας παραθέτοντας τα στοιχεία του σεισμού, πληροφορίες για την σεισμικότητα της περιοχής κατά το παρελθόν και τις επιπτώσεις του σεισμού στις γύρω περιοχές.

- **Κεφάλαιο 3^ο**

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται και αναλύεται η διαδικασία της μελέτης της σεισμικής ακολουθίας στην περιοχή της Αμφίκλειας καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν.

- **Κεφάλαιο 4^ο**

Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται και παραθέτονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη αυτή.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κατά το έτος 2015.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Εμμανουήλ Σκορδύλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη του.

Ευχαριστώ τους Wessel and Smith (1995) για την ελεύθερη διάθεση του λογισμικού GMT που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των χαρτών της εργασίας αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην μητέρα μου, η οποία στήριζε πάντα τις επιλογές μου και στην οποία οφείλω όλη την διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

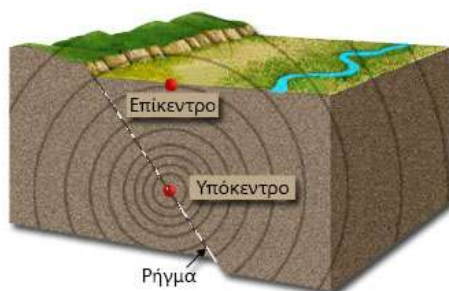
1. Μελέτη σεισμικών ακολουθιών

1.1 Εισαγωγικές έννοιες και ορισμοί

Σεισμοί είναι οι εδαφικές δονήσεις που προκαλούνται κατά την παροδική διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης, και οφείλονται σε δυνάμεις που συνδέονται με εσωγήινα φυσικά αίτια. Οι εδαφικές αυτές δονήσεις διαδίδονται στο εσωτερικό της γης με την μορφή κυμάτων (σεισμικά κύματα) και φτάνουν στην επιφάνεια της, όπου εκεί γίνονται αισθητές, είναι δυνατόν να προκαλούν βλάβες και καταγράφονται σε ειδικά όργανα τα οποία ονομάζονται σειсмоγράφοι.

Οι σεισμοί είτε μεμονωμένοι, είτε ως μέλη ενός συνόλου σεισμών μιας σεισμικής ακολουθίας, γίνονται στην συντριπτική τους πλειοψηφία σε ενεργά ρήγματα και οφείλονται σε ανατροπή της κατάστασης δυναμικής ισορροπίας των πετρωμάτων κάτω από συνθήκες αυξανόμενων τεκτονικών τάσεων. Αρχικά, πριν από την διάρρηξη (ολίσθηση) του ρήγματος, δηλαδή πριν από την εκδήλωση σεισμού, τα πετρώματα γύρω από το ρήγμα βρίσκονται σε κατάσταση ελαστικής παραμόρφωσης υπό την επίδραση ασκούμενων τάσεων. Όταν όμως οι τάσεις που αναπτύσσονται ξεπεράσουν την δύναμη στατικής τριβής ή το όριο αντοχής των πετρωμάτων, παράγοντες οι οποίοι εξαρτώνται από την ποιότητα και από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά τους, τότε προκαλείται διάρρηξη στα πετρώματα ή ολίσθηση πάνω σε προϋπάρχον ρήγμα, δηλαδή πλαστική παραμόρφωση η οποία συνοδεύεται από την εκδήλωση σεισμού.

Το σημείο του ρήγματος από το οποίο ξεκινάει η διάρρηξη ονομάζεται **εστία** του σεισμού ή **υπόκεντρο** ενώ η κατακόρυφη προβολή της πάνω στην επιφάνεια της γης λέγεται **επίκεντρο** του σεισμού (σχήμα 1.1). Ο χώρος ο οποίος ενεργοποιείται όταν εκδηλώνεται ένας σεισμός, ονομάζεται **σεισμογόνος χώρος**, ενώ ο χώρος στον οποίον βρίσκονται οι εστίες του κύριου σεισμού και των μετασεισμών ονομάζεται **μετασεισμικός χώρος** και συμπίπτει περίπου με τον σεισμογόνο. Τέλος, η κατανομή των επικέντρων στην επιφάνεια της γης ορίζει την **μετασεισμική περιοχή**, η οποία συνήθως είναι ελλειπτικού σχήματος με τον μεγάλο ημιάξονα της έλλειψης παράλληλο στην παράταξη του σεισμογόνου ρήγματος.

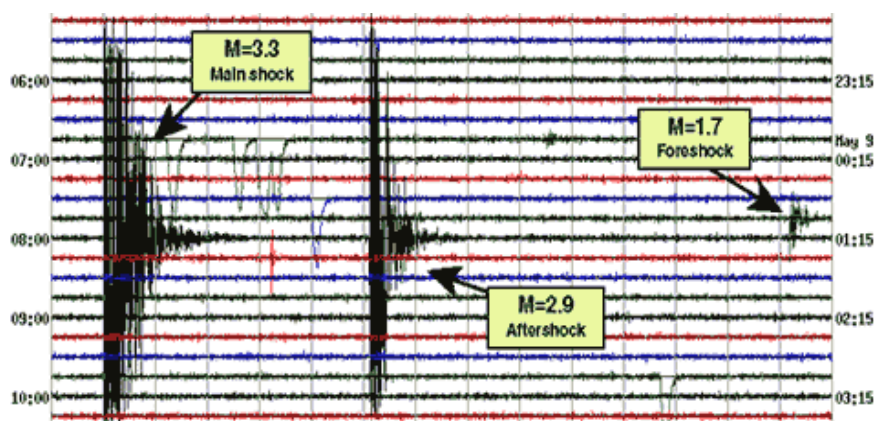


Σχήμα 1.1 Επίκεντρο και υπόκεντρο ενός σεισμού (www.el.wikipedia.org/wiki/Σεισμός)

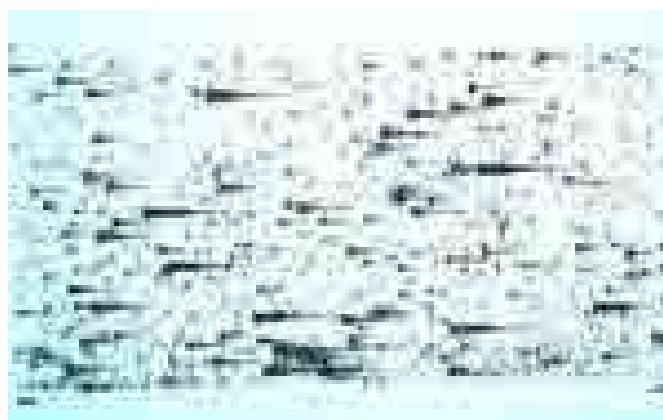
Το σύνολο των σεισμών που γεννιούνται σε περιορισμένο χώρο αλλά και κατά την διάρκεια ορισμένου χρονικού διαστήματος, αποτελεί μία **σεισμική ακολουθία**. Ο σεισμός που έχει μέγεθος σαφώς μεγαλύτερο από κάθε άλλο της ακολουθίας ονομάζεται **κύριος σεισμός**, ενώ οι σεισμοί που προηγούνται και ακολουθούν τον κύριο σεισμό, ονομάζονται **προσεισμοί** και **μετασεισμοί** αντίστοιχα (σχήμα 1.2).

Οι σεισμικές ακολουθίες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Όταν του κύριου σεισμού έπονται λίγοι ή πολλοί μικρότεροι σεισμοί (μετασεισμοί) τότε η ακολουθία ονομάζεται **μετασεισμική**.
- Εάν του κύριου σεισμού προηγούνται μικρότεροι σεισμοί (προσεισμοί) τότε η ακολουθία ονομάζεται **προσεισμική**.
- Όταν πολλοί μικροί σεισμοί, συγκεντρωμένοι σε χώρο και χρόνο, λαμβάνουν χώρα χωρίς κανένας τους να έχει αισθητά μεγαλύτερο μέγεθος από τους υπόλοιπους ώστε να χαρακτηριστεί ως κύριος, τότε οι σεισμοί αυτοί συνθέτουν ένα **σμήνος σεισμών** ή μια **σμηνοακολουθία** ή μια **σμηνοσειρά** (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.2 Καταγραφή προσεισμού, κύριου και μετασεισμού
(www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/8thChapter.pdf)



Σχήμα 1.3 Καταγραφή σμηνοακολουθίας
(www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/8thChapter.pdf)

Οι προσεισμοί ξεκινούν ώρες ή μέχρι και λίγους μήνες πριν από τον κύριο σεισμό παρουσιάζοντας αυξανόμενο ρυθμό, ενώ οι μετασεισμοί μπορεί να διαρκέσουν λίγους έως και πολλούς μήνες μετά τον κύριο σεισμό, ακολουθώντας συνήθως μία φθίνουσα πορεία.

Το πλήθος των μετασεισμών μιας ακολουθίας εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως το μέγεθος του κύριου σεισμού, το εστιακό του βάθος καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τόσο του σεισμικού ρήγματος όσο και γενικότερα της περιοχής όπου εκδηλώνεται η ακολουθία. Έτσι, ακολουθίες με πολλούς μετασεισμούς συμβαίνουν στις κλιτύες των τάφρων, γεγονός που τις συνδέει με την καταβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από τον ηπειρωτικό στις περιοχές αυτές (*Καρακαϊής, 1984*). Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν ο κύριος σεισμός μιας ακολουθίας είναι ιδιαίτερα ισχυρός τότε συνοδεύεται συνήθως και από ισχυρούς μετασεισμούς οι οποίοι, με τη σειρά τους, συνοδεύονται από δικούς τους μετασεισμούς. Έχει παρατηρηθεί ότι ακολουθίες με πολλούς μετασεισμούς συμβαίνουν μόνο σε μικρά βάθη του φλοιού της γης, ενώ οι σεισμοί ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους συνοδεύονται από λίγους ή και καθόλου προσεισμούς και μετασεισμούς (*Papazachos et al., 1967*).

Κατά τη μελέτη μιας σεισμικής ακολουθίας εξετάζονται:

1. Η χωρική κατανομή των εστιών των σεισμών.
2. Η κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών.
3. Η χρονική κατανομή των σεισμών.
4. Η χώρο-χρονική κατανομή των σεισμών.

Η εξέταση των παραπάνω παραμέτρων μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα που σχετίζονται τόσο με τον σεισμογόνο χώρο της ακολουθίας όσο και με την ομαλή (ή μη) εξέλιξή της. Στην ομαλή εξέλιξη δεν αναμένουμε την γένεση άλλου σεισμού ανάλογου ή και μεγαλύτερου μεγέθους από τον κύριο σεισμό, ενώ στην ακολουθία που δεν εξελίσσεται ομαλά είναι δυνατή η εκδήλωση σεισμού ανάλογου ή και μεγαλύτερου μεγέθους.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι πολύ σημαντικό είναι η ακολουθία να μελετάται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε το ταχύτερο δυνατόν μετά την εκδήλωση ενός ισχυρού σεισμού να μπορεί να «αποκρυπτογραφηθεί» η ταυτότητά της ακολουθίας, δίνοντάς μας έτσι στοιχεία με επιστημονική αλλά και πρακτική σημασία.

1.2 Χωρική Κατανομή

Οι επιφανειακές διαρρήξεις που δημιουργούνται μετά από ένα ισχυρό σεισμό αποτελούν μια σημαντική πηγή πληροφοριών, καθώς από αυτές μπορούμε να αντλήσουμε σημαντικά στοιχεία σχετικά με την γεωμετρία του ρήγματος που τον προκάλεσε. Στην περίπτωση όμως που ο σεισμός δεν προκαλεί επιφανειακές διαρρήξεις (δεν είναι αρκετά ισχυρός) ή είναι υποθαλάσσιος, τότε στρεφόμαστε στην μελέτη της χωρικής κατανομής της μετασεισμικής ακολουθίας, μελέτη η οποία μπορεί να μας δώσει στοιχεία τόσο για τις πραγματικές διαστάσεις του σειсмоγόνου χώρου (μήκος, πλάτος, αζιμούθιο), όσο και του ίδιου του σεισμικού ρήγματος που προκάλεσε τον σεισμό. Τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, καθώς συσχετίζοντάς τα με το μέγεθος του κύριου σεισμού της ακολουθίας, μπορούμε να οδηγηθούμε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξή της.

Ο συσχετισμός αυτός γίνεται με μαθηματικές σχέσεις οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο της διάρρηξης και που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού με τις παραμέτρους του ρήγματος. Τέτοιες σχέσεις που συνδέουν το μέγεθος του σεισμού, M , με το πραγματικό μήκος ρήγματος, L (σε km), την πραγματική μετατόπιση, u (σε cm), το πραγματικό πλάτος, w (σε km) και την επιφάνεια της μετασεισμικής περιοχής, S (σε km²), είναι οι εξής:

- **για ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης** με $6.0 \leq M \leq 8.0$

$$\log L = 0.59M - 2.30$$

$$\log u = 0.68M - 2.59$$

$$\log w = 0.23M - 0.49$$

$$\log S = 0.82M - 2.79$$

- **για ρήγματα κλίσης σε ηπειρωτικές περιοχές** με $6.0 \leq M \leq 7.5$

$$\log L = 0.50M - 1.86 \tag{1}$$

$$\log u = 0.72M - 2.82$$

$$\log w = 0.28M - 0.70$$

$$\log S = 0.78M - 2.56$$

- **για ρήγματα κλίσης σε περιοχές λιθοσφαιρικής κατάδυσης** με $6.7 \leq M \leq 9.3$

$$\log L = 0.55M - 2.19$$

$$\log u = 0.64M - 2.56$$

$$\log w = 0.31M - 0.63$$

$$\log S = 0.86M - 2.82$$

(Papazachos et al., 2004)

Η μελέτη της χωρικής κατανομής μιας σεισμικής ακολουθίας γίνεται με την ανάλυση των στοιχείων που προκύπτουν από:

- την γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή των επικέντρων των σεισμών-μελών της η οποία είναι στην ουσία η δημιουργία ενός χάρτη της περιοχής όπου εκδηλώθηκε η ακολουθία, πάνω στον οποίο απεικονίζονται τα επίκεντρα των σεισμών αυτών.
- την εγκάρσια τομή του εστιακού χώρου της ακολουθίας, κατά την οποία προβάλλονται οι εστίες των σεισμών της ακολουθίας πάνω σε κατακόρυφο επίπεδο, κάθετο στην παράταξη του σεισμικού ρήγματος. Η τομή αυτή αναδεικνύει την διεύθυνση και την γωνία κλίσης του σεισμικού ρήγματος.
- και την διαμήκη τομή του σεισμογόνου χώρου της ακολουθίας κατά την οποία προβάλλονται οι εστίες των σεισμών της ακολουθίας πάνω σε κατακόρυφο επίπεδο παράλληλο με την παράταξη του σεισμικού ρήγματος. Η τομή αυτή δίνει με καλή προσέγγιση το μήκος και το πλάτος του σεισμικού ρήγματος.

1.3 Κατά Μέγεθος Κατανομή

Η κατά μέγεθος κατανομή μιας σεισμικής ακολουθίας εκφράζεται με την μαθηματική σχέση των Gutenberg-Richter (1944):

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

όπου N είναι το συσσωρευτικό πλήθος των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του M και a, b παράμετροι.

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το μέγεθος των σεισμών τόσο μειώνεται εκθετικά η συχνότητά τους. Η παράμετρος a εξαρτάται από την χρονική περίοδο των παρατηρήσεων, από την σεισμικότητα και την έκταση της περιοχής έρευνας. Η παράμετρος b περιγράφει το βαθμό της ομοιογένειας των υλικών και την κατάσταση των τάσεων που επικρατούν στην εστιακή περιοχή (Mogi 1963, Scholz 1968, Gibowicz 1973) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα σεισμικότητας (Allen et al. 1965, Karnik 1969) αλλά και σε προβλήματα που συνδέονται με την πρόγνωση των σεισμών (Suyehiro 1966, Wyss and Lee 1973, Papazachos 1975).

Συνεπώς εάν από την κατά μέγεθος κατανομή μιας σεισμικής ακολουθίας προκύψει ότι η τιμή της παραμέτρου b είναι υψηλή σε σχέση με την τυπική τιμή της παραμέτρου για την περιοχή μελέτης, τότε αυτό αποτελεί ένδειξη ομαλής εξέλιξης της ακολουθίας. Αντίθετα, εάν προκύψει τιμή της παραμέτρου b σχετικά χαμηλή, τότε αυτό αποτελεί ένδειξη συσσωρευμένων τάσεων, οι οποίες πιθανόν να οδηγήσουν, αργά ή γρήγορα, σε γένεση νέου ισχυρού σεισμού στην περιοχή.

1.4 Χρονική Κατανομή

Ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τον τρόπο εξέλιξης μίας ακολουθίας μπορούν να προκύψουν και από την μελέτη της χρονικής της κατανομής.

Η συχνότητα εκδήλωσης των σεισμών μιας ακολουθίας μεταβάλλεται όπως αυτή εξελίσσεται. Η συχνότητα των μετασεισμών, δηλαδή ο αριθμός των σεισμών στη μονάδα του χρόνου (π.χ. σε μια μέρα), μιας κανονικά εξελισσόμενης ακολουθίας ελαττώνεται με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση (Mogi 1962):

$$\log n = n_1 - h \log t \quad (4)$$

όπου n η συχνότητα, t ο χρόνος με αρχή το χρόνο γένεσης του κύριου σεισμού. Οι παράμετροι n_1 ($n_1 = \log n_0$) και h , υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων από τα διαθέσιμα στοιχεία. Καθορίζονται επίσης και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.

Για να μπορέσουμε να παρακολουθήσουμε το πώς εξελίσσεται μία ακολουθία με τον χρόνο, θα πρέπει πρώτα να αποκαλύψουμε την «ταυτότητα» της ακολουθίας, δηλαδή, να βρούμε την αντιπροσωπευτική χρονική κατανομή που έχει η συγκεκριμένη ακολουθία όταν αυτή εξελίσσεται ομαλά. Τα δεδομένα των πρώτων 48 ωρών επαρκούν ώστε να μας δώσουν μία τυπική εικόνα της μετασεισμικής ακολουθίας. Χρησιμοποιώντας λοιπόν ως οδηγό την χρονική κατανομή των πρώτων 48 ωρών, μπορούμε, εξετάζοντας την εξέλιξη της ακολουθίας με τις μέρες, να δούμε κατά πόσο αυτή εξακολουθεί να βρίσκεται μέσα στα όρια που καθορίστηκαν (διάστημα εμπιστοσύνης 95%) από τα δεδομένα του πρώτου 48ώρου. Εάν ναι τότε η εξέλιξη της σεισμικής ακολουθίας χαρακτηρίζεται ως ομαλή, ενώ αντίθετα αν εκδηλώνονται περισσότεροι από τους προβλεπόμενους μετασεισμοί (πάνω από το άνω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης) αυτό θα αποτελεί ένδειξη μη ομαλής εξέλιξης της ακολουθίας η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε εκδήλωση ενός νέου ισχυρού σεισμού στην διεγερθείσα περιοχή.

1.5 Χώρο-χρονική Κατανομή

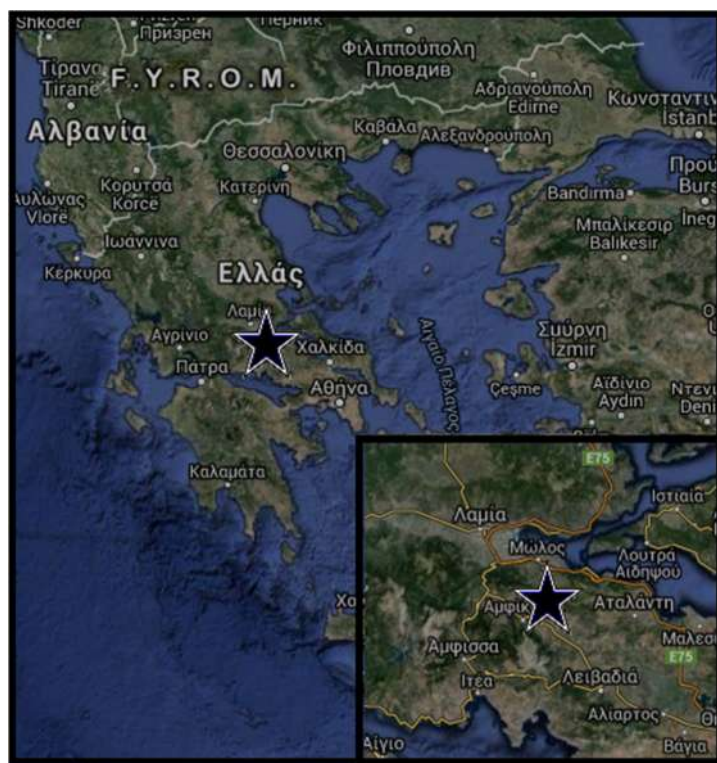
Η χώρο-χρονική κατανομή είναι εξίσου σημαντική γιατί προσδιορίζει το πώς μία σεισμική ακολουθία εξελίσσεται πάνω στο σεισμογόνο ρήγμα σε συνάρτηση με το χρόνο από τον κύριο σεισμό. Έτσι στην περίπτωση της **μονο-κατευθυντικής διάρρηξης (unilateral)** η εστία του κύριου σεισμού βρίσκεται στο ένα άκρο του ρήγματος και η μετασεισμική δράση επεκτείνεται αμέσως στο άλλο άκρο του ρήγματος όπου γίνεται, συνήθως, ο μεγαλύτερος μετασεισμός. Ενώ στην περίπτωση της **δι-κατευθυντικής διάρρηξης (bilateral)** ο κύριος σεισμός έχει την εστία του στο μέσο του ρήγματος και η μετασεισμική δράση επεκτείνεται και προς τα δύο άκρα του ρήγματος, κοντά στο ένα από τα οποία, γίνεται, συνήθως, ο μεγαλύτερος μετασεισμός (Karakaisis et al. 1985).

2. Εισαγωγή

2.1 Στοιχεία του σεισμού

Στις 7 Αυγούστου 2013, ώρα 09:06 (UTC), ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους $M=5.2$, έλαβε χώρα στην περιοχή του νομού Φθιώτιδος, κεντρική Ελλάδα (σχήμα 2.1).

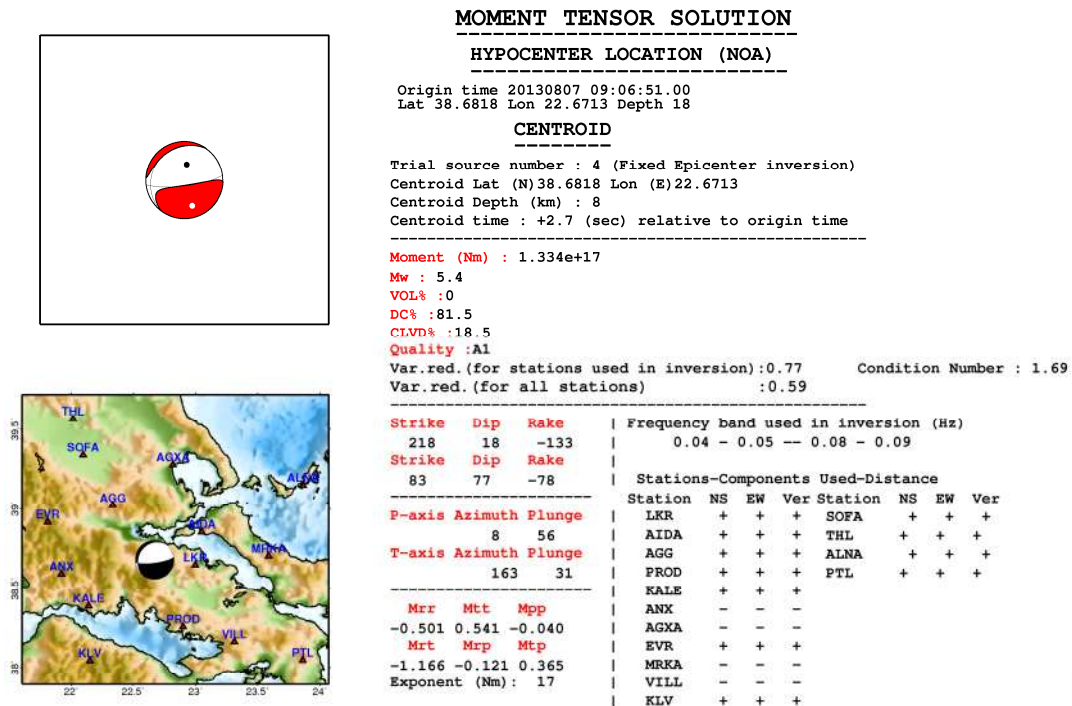
Ο σεισμός αυτός έπληξε την ευρύτερη περιοχή του νομού και ιδίως τα χωριά Δρυμαία και Ρεγκίνιο, προκαλώντας σημαντικές βλάβες σε κτήρια, αλλά και καταπτώσεις βράχων στους οδικούς άξονες. Παρόλο που η γεωγραφική έκταση των καταστροφών που προκλήθηκαν από το σεισμό ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη, αυτός έγινε αισθητός μέχρι την Αθήνα, περίπου 120Km ΝΑ από το επίκεντρο.



Σχήμα 2.1 Η θέση του επικέντρου του σεισμού της Αμφίκλειας, $M=5.2$, 7 Αυγούστου 2013

Του κύριου σεισμού προηγήθηκε προσεισμική δραστηριότητα που διήρκεσε περίπου ένα μήνα, ενώ ο μεγαλύτερος προσεισμός εκδηλώθηκε στις 09:02 (UTC) και είχε μέγεθος $M=4.2$. Κατά την διάρκεια της μετασεισμικής δραστηριότητας και μέχρι τις 5/10 εκδηλώθηκαν 217 μετασεισμοί με $M \geq 2.7$ εκ των οποίων 10 με $M \geq 4.0$, ενώ ο ισχυρότερος μετασεισμός είχε μέγεθος $M=4.9$ και εκδηλώθηκε στις 16/9 15:01 (UTC).

Ο σεισμός ήταν επιφανειακός, το επίκεντρο του τοποθετείται στο βουνό Καλλίδρομο ανατολικά της Αμφίκλειας και οφείλεται σε κανονικό ρήγμα, ΑΒΑ – ΔΝΔ παράταξης. Σύμφωνα με τον μηχανισμό γένεσης του ΝΟΑ (www.bbnet.gein.noa.gr) το ρήγμα που προκάλεσε τον σεισμό στην Αμφίκλεια, έχει παράταξη 83°, κλίση 77° και γωνία ολίσθησης -78° (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Στοιχεία μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού της Αμφίκλειας (www.bbnet.gein.noa.gr).

Ενώ σύμφωνα με τον μηχανισμό γένεσης του GCMT (www.globalcmt.org) το ρήγμα έχει παράταξη 73°, κλίση 64 και γωνία ολίσθησης -78° (σχήμα 2.3).

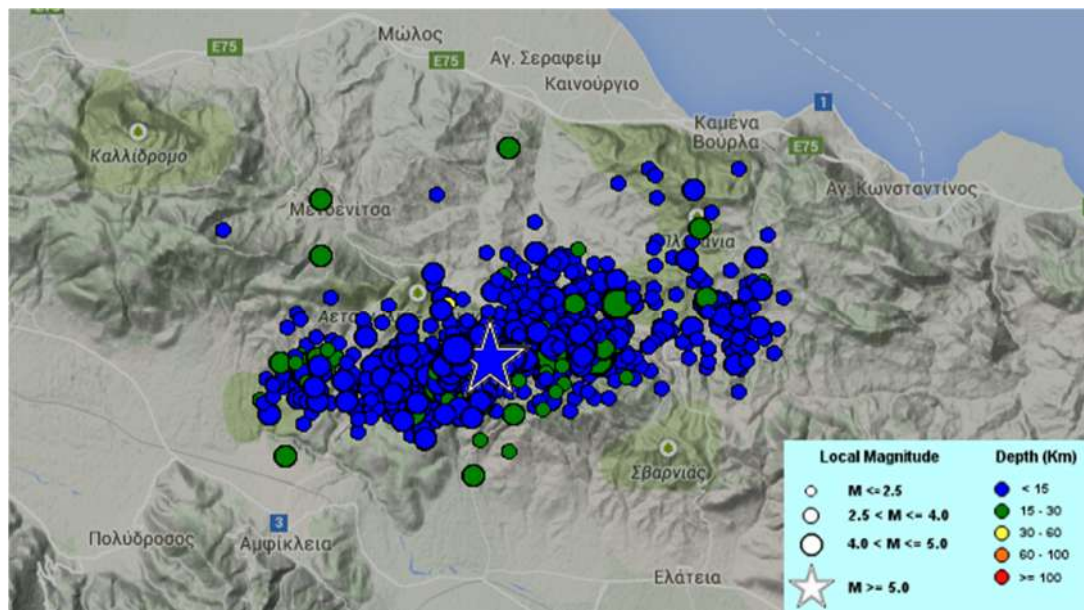
Date: 2013/8/7 Centroid Time: 9: 6:54.0 GMT
Lat= 38.54 Lon= 22.69
Depth= 12.8 Half duration= 1.2
Centroid time minus hypocenter time: 1.8
Moment Tensor: Expo=24 -1.270 1.230 0.038 -0.906 -0.354 0.207
Mw = 5.4 mb = 0.0 Ms = 5.5 Scalar Moment = 1.6e+24
Fault plane: strike=267 dip=27 slip=-78
Fault plane: strike=73 dip=64 slip=-96



Σχήμα 2.3 Στοιχεία μηχανισμού γένεσης του κύριου σεισμού της Αμφίκλειας (www.globalcmt.org).

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω στοιχεία και σχήματα προκύπτει πως υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ των δύο. Αργότερα, στο κεφάλαιο 3.2, με την ανάλυση της χωρικής κατανομής της σεισμικής ακολουθίας προκύπτει ότι τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής συγκλίνουν περισσότερο με τα στοιχεία του NOA (www.bbnet.gein.noa.gr).

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι υπήρξε μια σαφής επέκταση των μετασεισμών προς τα ΑΒΑ, ενώ ο κύριος σεισμός τοποθετείται κοντά στο μέσο του συνολικού χώρου που καταλαμβάνει η μετασεισμική δραστηριότητα (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Επέκταση μετασεισμών μέχρι τις 15 Οκτωβρίου 2013 (www.bbnet.gein.noa.gr).

2.2 Σεισμικότητα της περιοχής κατά το παρελθόν

Η περιοχή του νομού Φθιώτιδος και Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, είναι γενικά μία περιοχή συχνών σεισμικών γεγονότων. Ισχυροί σεισμοί συνέβησαν τόσο κατά το πρόσφατο παρελθόν, όσο και κατά του ιστορικούς χρόνους. Οι παρακάτω πληροφορίες και περιγραφές για τους ισχυρότερους σεισμούς του παρελθόντος που εκδηλώθηκαν την περιοχή μελέτης προέρχονται από το βιβλίο «Οι Σεισμοί της Ελλάδας» (Παπαζάχος και Παπαζάχου 2002) :

- **426 π.Χ., Καλοκαίρι, 38.85°N, 22.78°E, M=7.0, Σκάρφεια**

Αυτός είναι ένας από τους καταστρεπτικότερους γνωστούς σεισμούς που έγιναν στην αρχαία Ελλάδα. Συνοδεύτηκε από μεγάλο θαλάσσιο κύμα καθώς και από σημαντικές εδαφικές μεταβολές, προκάλεσε επίσης καταρρεύσεις κτηρίων και πολλούς θανάτους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να απασχολήσει αρκετούς αρχαίους συγγραφείς, μερικοί εκ των οποίων είναι Θουκυδίδης, ο Καλατιανός και ο Διόδωρος, χάρις τους οποίους έχουμε σήμερα μια σαφή εικόνα.

Ο **Θουκυδίδης** μας γνωστοποιεί πως εξαιτίας του σεισμού και των μετασεισμών αποφεύχθηκε μία εισβολή των Πελοποννήσιων και των συμμάχων τους στην Αττική. Επίσης αναφέρεται και στα θαλάσσια κύματα που προκλήθηκαν από τον σεισμό τόσο στις Οροβίες Ευβοίας όσο και στις γύρω περιοχές. Γράφει χαρακτηριστικά, «...μέρος των υδάτων καταδύθηκε και άλλο μέρος εξακολουθούσε να κατακλύζει την γη, έτσι ώστε μέρη που ήταν πρώτα ξηρά να είναι τώρα θάλασσα».

Σύμφωνα με τον **Καλατιανό** ένα μεγάλο μέρος των νήσων Λιχάδων και του Κηναίου καταδύθηκαν και οι θερμές πηγές της Αιδηψού και των Θερμοπυλών στέρεψαν για τρεις μέρες. Μεγάλες καταστροφές και θάνατοι προκλήθηκαν τόσο στην Σκάρφεια όσο και στο Θρόνιο με τα θύματα να ξεπερνούν τα 2.500.

Ο **Διόδωρος** αναφέρεται επίσης, όπως και ο Θουκυδίδης, στη ματαίωση της εισβολής στην Αττική από τους Πελοποννήσιους. Αναφέρει ακόμα πως εξαιτίας του θαλάσσιου κύματος που προκλήθηκε σαρώθηκαν πολλές παραθαλάσσιες πόλεις, ενώ στην Λοκρίδα μία λωρίδα γης που σχημάτιζε μία χερσόνησο, κόπηκε και σχηματίστηκε το νησί Αταλάντη.

- **105μ.Χ., 38.8°N, 23.0°E, M=6.4, Οπούς**

Οι πληροφορίες που έχουμε είναι από τον **Ευσέβιο**, ο οποίος αναφέρει ότι ο σεισμός αυτός κατέστρεψε τον Οπούντα και τους Ωρεούς στην Λοκρίδα και Β. Εύβοια, αντίστοιχα.

- **551μ.Χ., Κεντρική Ελλάδα, τριπλό σεισμικό γεγονός**

Ο Προκόπιος αναφέρει πως την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε μια σεισμική έξαρση στην ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ελλάδας, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε τρεις σεισμικές ακολουθίες με τρεις αντίστοιχους κύριους σεισμούς, στο Μαλιακό κόλπο (**38.8°N, 22.8°E, M=6.8, Εχινός**), στον βορειοανατολικό Κορινθιακό κόλπο (**38.4°N, 22.7°E, M=6.8, Χαιρώνεια**) και στον Πατραϊκό κόλπο (**38.3°N, 21.7°E, M=6.5, Ναύπακτος**).

Αποτέλεσμα των σεισμών αυτών ήταν να ισοπεδωθούν πολυάριθμα χωριά και 8 πόλεις, ανάμεσα σε αυτές η Χαιρώνεια, η Κορώνεια, η Πάτρα και ολόκληρη η Ναύπακτος όπου πολλοί άνθρωποι σκοτώθηκαν. Επίσης λόγω του σεισμού προκλήθηκε ένα θαλάσσιο κύμα το οποίο έπληξε τόσο τις πόλεις του Εχινού και της Σκάρφειας όσο και τα γύρω χωριά κατακλύζοντας και ισοπεδώνοντας τα ακαριαία.

- **1894, Απρίλιος 27, 19:21, 38.56°N, 23.24°E, M=7, Φθιώτιδα**

Πριν από τον κύριο σεισμό, που εκδηλώθηκε στις 27 Απριλίου, προηγήθηκε καταστρεπτικός προσεισμός στις 20 Απριλίου (M=6.6). Για τον λόγο αυτό οι πληροφορίες που δίνονται παρακάτω είναι κοινές και για τους δύο σεισμούς.

Ως περιοχή μέγιστης έντασης ορίζεται η χερσόνησος της Λάρυμνας και η γειτονική περιοχή της Αταλάντης. Από τον πρώτο σεισμό τις μεγαλύτερες βλάβες υπέστησαν τα χωριά Προσκύνα, Μαλεσίνα, και Μαρτίνο, ενώ από τον δεύτερο σεισμό καταστράφηκε ο Άγιος Κωνσταντίνος. Επίσης στην Μαλεσίνα καταστράφηκε το μοναστήρι του Αγίου Γεωργίου και στη Λάρυμνα ο ναός του Αγίου Νικολάου, ο οποίος εθεωρείτο βυζαντινό μνημείο. Τελικός απολογισμός των δύο σεισμών ήταν 255 νεκροί και καταστροφές 3783 σπιτιών σε 69 οικισμούς.

Ακόμα παρατηρήθηκε επιφανειακό ίχνος κανονικού ρήγματος συνολικού μήκους 55Km και διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ με βύθιση του βόρειο-ανατολικού τμήματος και μικρή αριστερόστροφη συνιστώσα, ενώ παρατηρήθηκε επίσης και θαλάσσιο κύμα ύψους 3m, το οποίο προχώρησε μέσα περίπου 1Km και κατέκλυσε τον εθνικό δρυμό.

Πρέπει να τονιστεί πως πριν από τον πρώτο σεισμό στις 20 Απριλίου δεν είχαν προηγηθεί άλλοι σεισμοί.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως ο πιο πρόσφατος μετρίου μεγέθους σεισμός που εκδηλώθηκε στην περιοχή, πριν τον σεισμό της Αμφίκλειας της 7^{ης} Αυγούστου 2013, οφειλόταν σε κανονική διάρρηξη (βαρύτητας), είχε μέγεθος $M_w=5.2$ και εκδηλώθηκε στις 13 Δεκεμβρίου 2008 08:27(UTC) (Chouliaras 2009, Roumelioti and Kiratzi 2010).

2.3 Συνοπτικές επιπτώσεις από το σεισμό

Σύμφωνα με την έκθεση του κλιμακίου του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) όσον αφορά τις πληγείσες περιοχές:

- Δεν διαπιστώθηκαν τραυματισμοί από καταπτώσεις ή έμμεσες επιπτώσεις σε άτομα με παθολογικά προβλήματα.
- Δεν διαπιστώθηκαν ίχνη πανικού στον πληθυσμό.
- Δεν διαπιστώθηκαν βλάβες σε δίκτυα, υποδομές και σημαντικά δημόσια έργα.
- Διαπιστώθηκαν βραχοπτώσεις σε τοπικό οδικό άξονα.
- Διαπιστώθηκαν βλάβες σε κτήρια, κυρίως παλιά λιθόκτιστα.

2.3.1 Επιπτώσεις στην Δρυμαία

Στο χωριό Δρυμαία παρατηρήθηκαν βλάβες σε 20 κτήρια εκ των οποίων 1 κρίθηκε ακατάλληλο για χρήση (σχήμα 2.5). Επίσης σε ένα ακόμα οίκημα πέτρινο και ακατοίκητο διαπιστώθηκε μερική κατάρρευση με αποτέλεσμα τον αποκλεισμό της περιοχής για την αποφυγή κινδύνου για τους διερχομένους (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.5 Κτήριο στη Δρυμαία. Κρίθηκε ακατάλληλο για χρήση (www.oasp.gr).



Σχήμα 2.6 Μερική κατάρρευση ακατοίκητου κτηρίου (www.oasp.gr).

2.3.2 Επιπτώσεις στο Ρεγκίνιο

Στο χωριό Ρεγκίνιο παρατηρήθηκαν οι περισσότερες βλάβες σε κτήρια. Πιο συγκεκριμένα, από τα περίπου 220 κτήρια του χωριού, τα 75 υπέστησαν βλάβες, εκ των οποίων κάποια σοβαρές, με αποτέλεσμα αυτά να κριθούν επικίνδυνα για χρήση (σχήματα 2.7 και 2.8).



Σχήμα 2.7 Κτήριο επικίνδυνο για χρήση στο Ρεγκίνιο (www.oasp.gr).



Σχήμα 2.8 Βλάβες σε κατοικία με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα (www.oasp.gr).

2.3.3 Επιπτώσεις στον τοπικό οδικό άξονα

Στον οδικό άξονα Αμφίκλειας – Ξυλικών – Καλλίδρομου – Ρεγκίνιου διαπιστώθηκαν πτώσεις βράχων σε πολλά σημεία της διαδρομής, με αποτέλεσμα την τοποθέτηση προειδοποιητικής σήμανσης και του μερικού αποκλεισμού της διέλευσης των οχημάτων (σχήμα 2.9 και 2.10).



Σχήμα 2.9 Βραχοπτώσεις σε οδικό άξονα (www.oasp.gr).



Σχήμα 2.10 Βραχοπτώσεις σε οδικό άξονα (www.oasp.gr).

3. Μελέτη της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας

3.1 Δεδομένα παρατήρησης

Για τη μελέτη της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας ήταν απαραίτητη η δημιουργία ενός καταλόγου που θα περιλάμβανε τις εστιακές παραμέτρους (χρόνο γένεσης, γεωγραφικές συντεταγμένες επικέντρων, εστιακό βάθος, μέγεθος) για όλους τους καταγεγραμμένους σεισμούς που ανήκουν στην ακολουθία. Ο αρχικός κατάλογος θα περιλάμβανε όλους τους σεισμούς που έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 7/7/2013 έως 15/10/2013 και είχαν τα επίκεντρό τους μέσα σε μία ευρεία περιοχή με συντεταγμένες $38.0^{\circ} - 39.5^{\circ}\text{B}$ και $22.0^{\circ} - 23.5^{\circ}\text{A}$, ώστε να έχουμε εικόνα της σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής. Ο τελικός κατάλογος που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της μετασεισμικής ακολουθίας καλύπτει μια πιο κλειστή περιοχή γύρω από το επίκεντρο του κύριου σεισμού, που ορίζεται από το πλαίσιο **$38.6^{\circ} - 38.8^{\circ}\text{B}$ και $22.5^{\circ} - 22.9^{\circ}\text{A}$** .

Οι κύριες πηγές για τη συλλογή αυτών των στοιχείων ήταν οι κατάλογοι του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Geodynamics Institute, National Observatory of Athens, www.bbnet.gein.noa.gr) και του Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου (Department of Geophysics, Aristotle University <http://geophysics.geo.auth.gr>) στους οποίους καταγράφονται πληροφορίες για όλους τους σεισμούς που εκδηλώνονται στην Ελλάδα και τις γύρω περιοχές. Οι κατάλογοι των πηγών αυτών συνενώθηκαν με αποτέλεσμα να προκύψει ένας ενιαίος κατάλογος, σε κάθε σεισμό του οποίου αναγράφεται η αντίστοιχη πηγή ("T" για τον Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου και "A" για το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών).

3.2 Χωρική Κατανομή

Η χωρική κατανομή της μετασεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας περιλαμβάνει την γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή των επικέντρων των σεισμών-μελών της, καθώς και την εγκάρσια και διαμήκη τομή του εστιακού της χώρου. Η γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή αποτελεί ουσιαστικά την δημιουργία χαρτών σεισμικότητας της περιοχής της Αμφίκλειας, ενώ η εγκάρσια και η διαμήκης τομή, δύο τομές κατασκευασμένες κάθετα και παράλληλα αντίστοιχα στην παράταξη του σεισμικού ρήγματος, στις οποίες επίσης προβάλλονται οι εστίες των σεισμών.

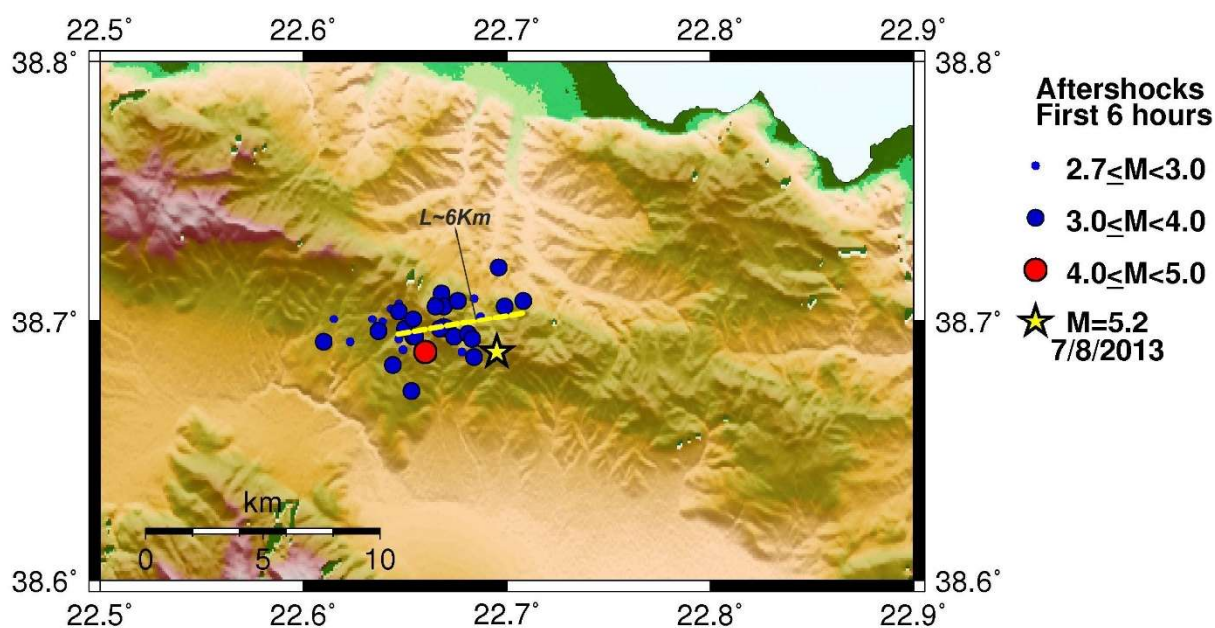
3.2.1 Γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή

Για την δημιουργία των απαιτούμενων χαρτών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GMT (Wessel and Smith 1995). Παρακάτω απεικονίζονται οι χάρτες με την γεωγραφική κατανομή των μετασεισμών των πρώτων 6, 12, 24, 48, 96 ωρών (σχήματα 3.1 – 3.5), καθώς επίσης και ο χάρτης με την γεωγραφική κατανομή όλων των μετασεισμών (σχήμα 3.6). Σε όλους τους χάρτες διακρίνεται ο κύριος σεισμός με την μορφή αστεριού ($M=5.2$).

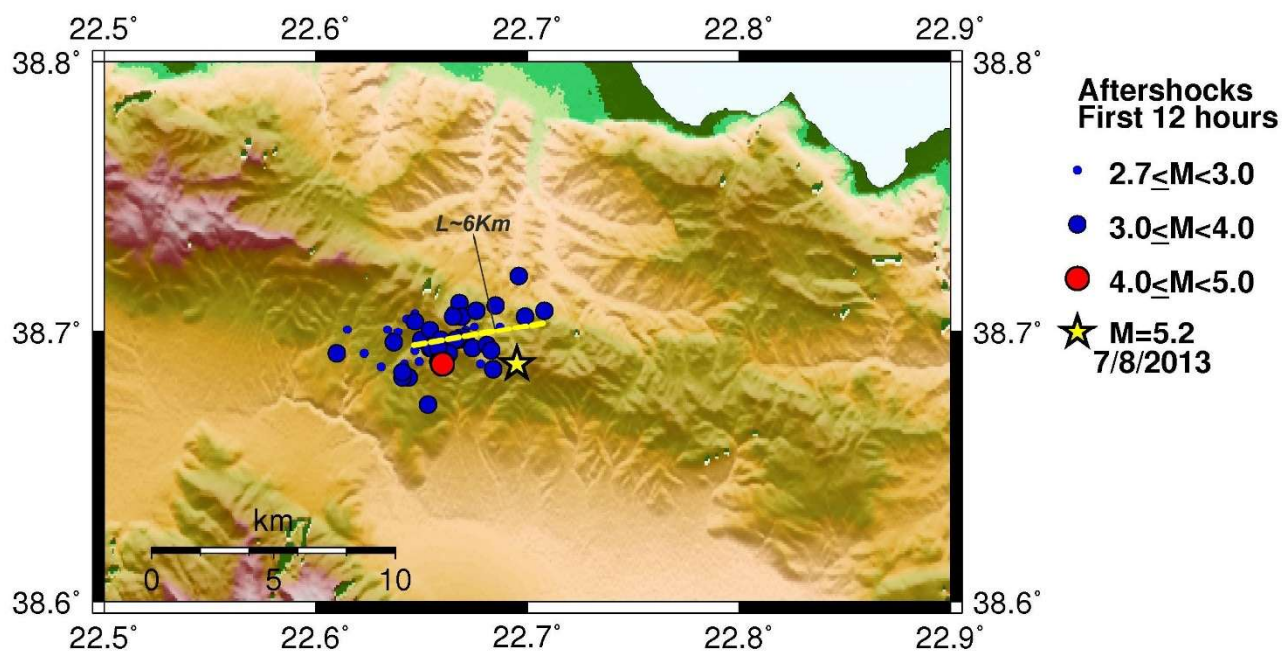
Εάν λάβουμε υπόψη πως το ρήγμα που προκάλεσε τον σεισμό της Αμφίκλειας ($M=5.2$) είναι ρήγμα κλίσης (dip-slip fault) σε ηπειρωτική περιοχή, τότε η σχέση που συνδέει το μήκος του ρήγματος με το μέγεθος του σεισμού είναι η σχέση (1).

Θέτοντας στην σχέση (1) $M = 5.2$ προκύπτει ότι $L = 5.5\text{Km}$

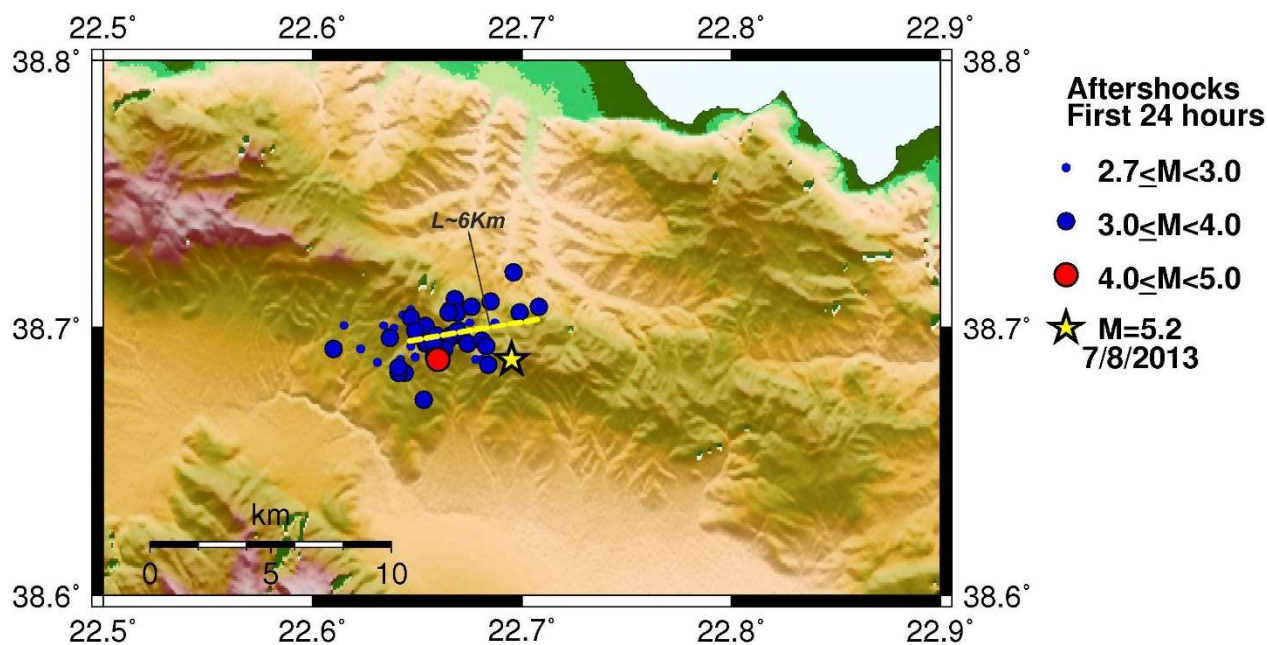
Επομένως το θεωρητικό μήκος του σεισμικού ρήγματος που αντιστοιχεί σε σεισμό μεγέθους $M=5.2$ είναι $\sim 5.5\text{Km}$.



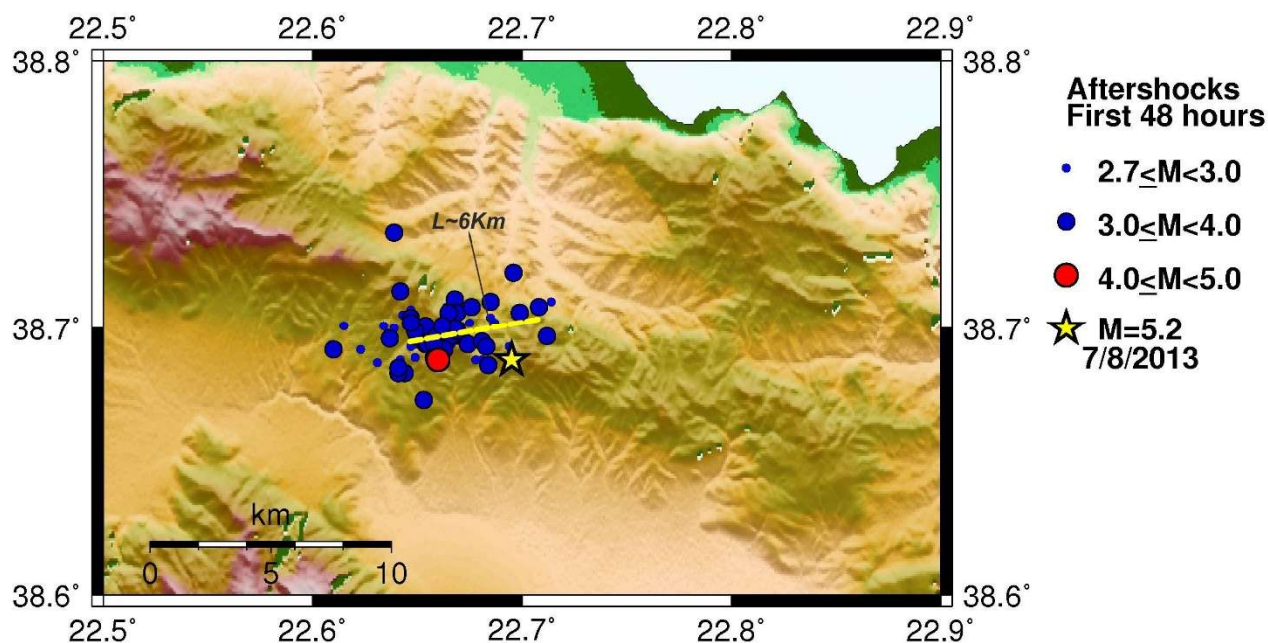
Σχήμα 3.1 Γεωγραφική χωρική κατανομή των μετασεισμών κατά τις πρώτες 6 ώρες της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.



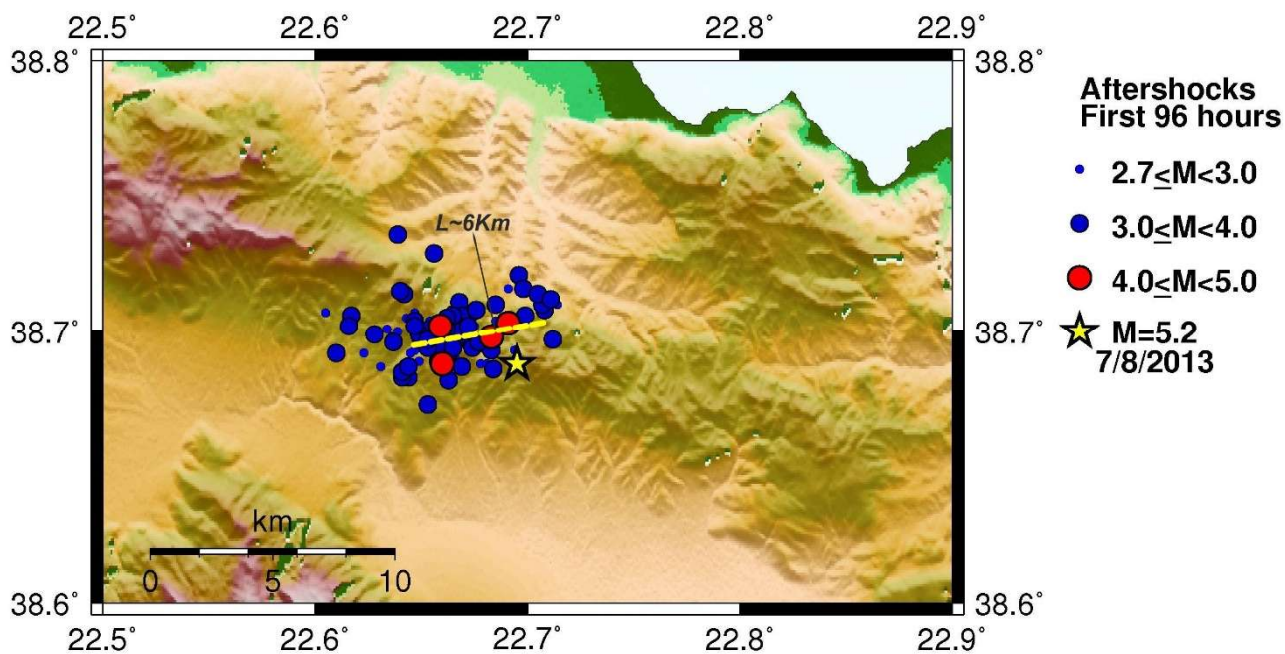
Σχήμα 3.2 Γεωγραφική χωρική κατανομή των μετασεισμών κατά τις πρώτες 12 ώρες της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.



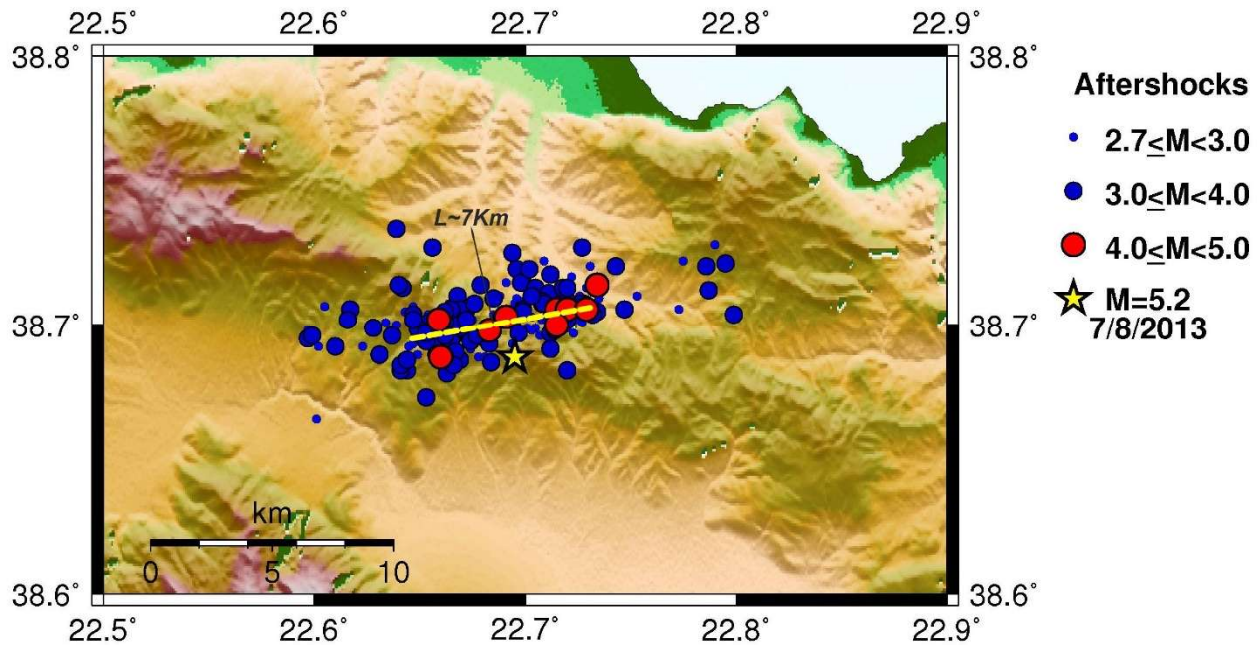
Σχήμα 3.3 Γεωγραφική χωρική κατανομή των μετασεισμών κατά τις πρώτες 24 ώρες της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.



Σχήμα 3.4 Γεωγραφική χωρική κατανομή των μετασεισμών κατά τις πρώτες 48 ώρες της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.



Σχήμα 3.5 Γεωγραφική χωρική κατανομή των μετασεισμών κατά τις πρώτες 96 ώρες της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.



Σχήμα 3.6 Γεωγραφική χωρική κατανομή του συνόλου (~70 ημέρες) των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.

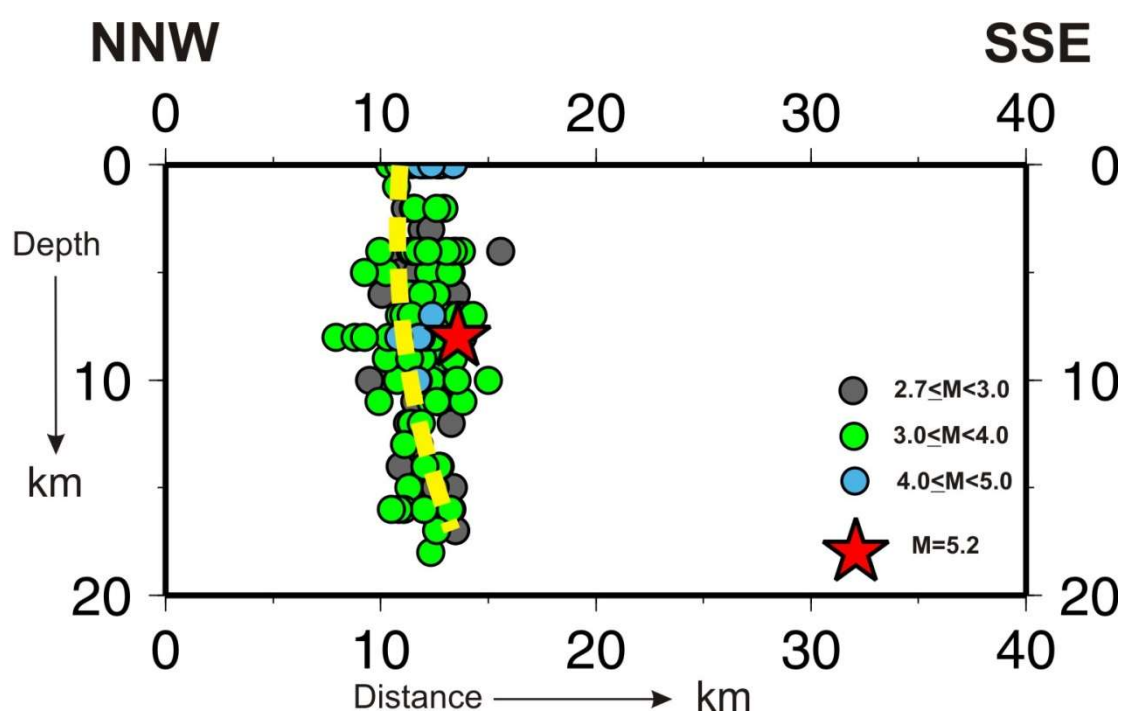
Από τα σχήματα (3.1 – 3.5) παρατηρούμε ότι το μήκος του χώρου που καλύπτουν τα επίκεντρα των πρώτων μετασεισμών (6 – 96 ώρες) είναι περίπου 6Km, το οποίο συμφωνεί με την σχέση (1) και δικαιολογεί σε γενικές γραμμές το μέγεθος του κύριου σεισμού ($M=5.2$).

Από το σχήμα (3.6) προκύπτει ότι μέσα στο χρονικό διάστημα των 70 ημερών που καλύπτουν τα δεδομένα μας, και πάντως μετά την παρέλευση των πρώτων 4 ημερών (96 ωρών) της μετασεισμικής ακολουθίας, υπάρχει επέκταση της δραστηριότητας προς τα ΑΒΑ, εκτός του αυστηρά θεωρούμενου σειсмоγόνου χώρου της ακολουθίας, με σεισμούς που το μέγιστο μέγεθός τους δεν ξεπέρασε την τιμή $M=4.9$. Έτσι, το συνολικό μήκος του χώρου που διεγέρθηκε κατά το διάστημα των 70 ημερών μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού, αγγίζει πλέον στα 7Km.

Τέλος από όλα τα προαναφερθέντα σχήματα διαπιστώνουμε ότι καθώς διαμορφώνεται σταδιακά ο σεισμογόνος χώρος της ακολουθίας, διακρίνεται καλύτερα η παράταξη του ρήγματος, η οποία είναι ΑΒΑ – ΔΝΔ και το αζιμούθιο περίπου 80°.

3.2.2 Εγκάρσια τομή

Για την επιτυχή εύρεση της κλίσης (διεύθυνση και γωνία κλίσης) του ρήγματος, είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί μία τομή κάθετη στην παράταξή του. Από την γεωγραφική κατανομή των μετασεισμών υπολογίστηκε ότι η παράταξη του ρήγματος είναι ABA – ΔΝΔ με αζιμούθιο περίπου 80° , βρίσκεται δηλαδή σε συμφωνία με τον μηχανισμό γένεσης του ΝΟΑ (www.bbnet.gein.noa.gr) που δείχνει διάρρηξη διεύθυνσης 83° και γι' αυτό την υιοθετούμε. Συνεπώς γνωρίζοντας την παράταξη, η εγκάρσια τομή, για να είναι κάθετη σε αυτή, θα πρέπει να κατασκευαστεί στις $B10^\circ\Delta$ (σχήμα 3.7).

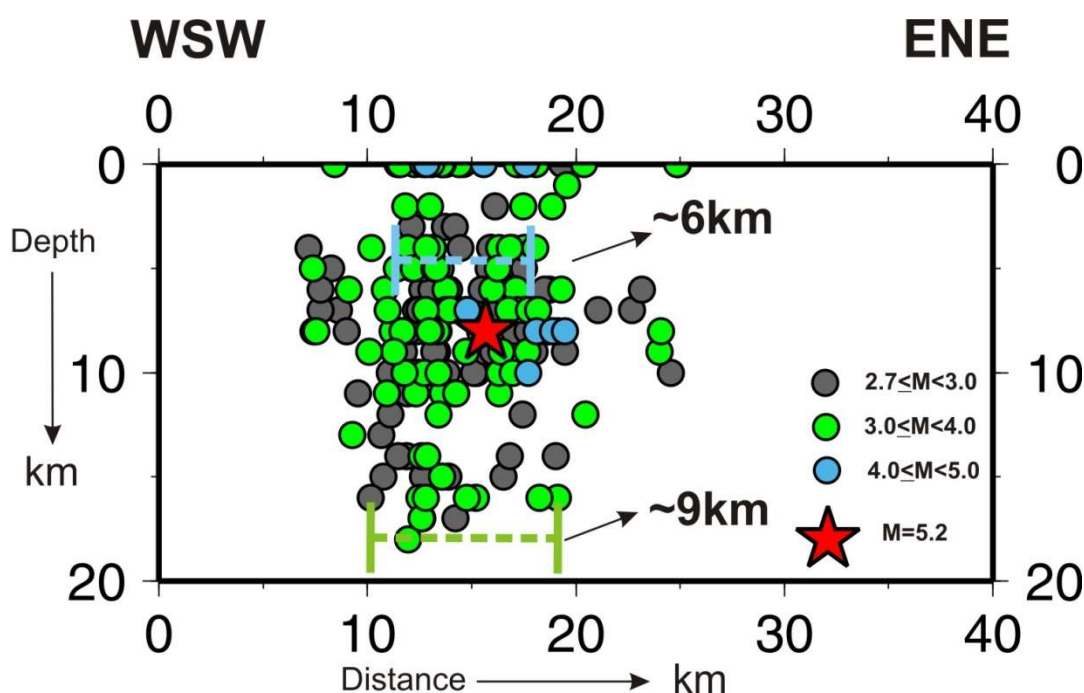


Σχήμα 3.7 Εγκάρσια τομή του εστιακού χώρου, της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$) κατά την διεύθυνση $B10^\circ\Delta$, κάθετη στην παράταξη του ρήγματος. Με κίτρινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται το σεισμικό ρήγμα.

Παρατηρώντας την εγκάρσια τομή του εστιακού χώρου (σχήμα 3.7) βλέπουμε ότι το ρήγμα βυθίζεται προς τα ΝΝΑ με μεγάλη γωνία κλίσης η οποία είναι περίπου 80° - 85° τιμή η οποία βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτήν του μηχανισμού γένεσης που αναφέρθηκε παραπάνω (77°).

3.2.3 Διαμήκης τομή

Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3.2.1 με την μελέτη της γεωγραφικής οριζόντιας κατανομής μπορεί να γίνει ένας πρώτος προσδιορισμός του σεισμογόνου χώρου και κατ' επέκταση του μήκους του σεισμικού ρήγματος. Για να είναι όμως περισσότερο ακριβή τα αποτελέσματα όσον αφορά το μήκος του σεισμικού ρήγματος είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί μια τομή η οποία θα είναι παράλληλη στην παράταξη του (σχήμα 3.8).



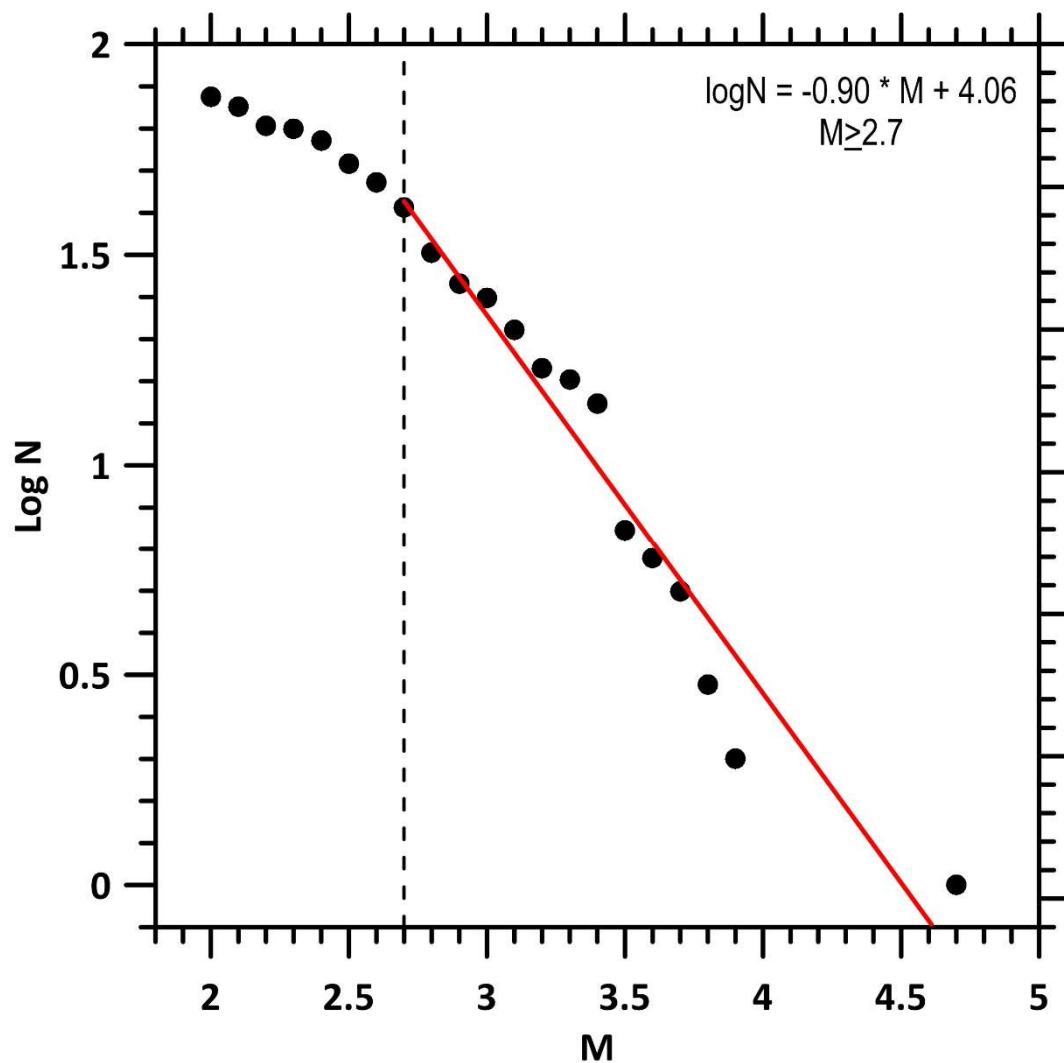
Σχήμα 3.8 Διαμήκης τομή του σεισμογόνου χώρου, της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$), παράλληλη στην παράταξη του ρήγματος (διεύθυνση $B80^\circ E$). Με γαλάζια και πράσινη γραμμή σημειώνονται οι διαστάσεις του διεγερμένου χώρου.

Από την διαμήκη τομή κατά τη διεύθυνση $B80^\circ A$ (σχήμα 3.8) παρατηρούμε ότι ο χώρος που οριοθετείται από τους σεισμούς με $M=4-5$ (μπλε κύκλοι) κυμαίνεται γύρω στα 6km, χώρος ο οποίος επιβεβαιώνεται από την γεωγραφική (οριζόντια) κατανομή και δικαιολογεί το μέγεθος του κύριου σεισμού όπως προκύπτει από την σχέση (1).

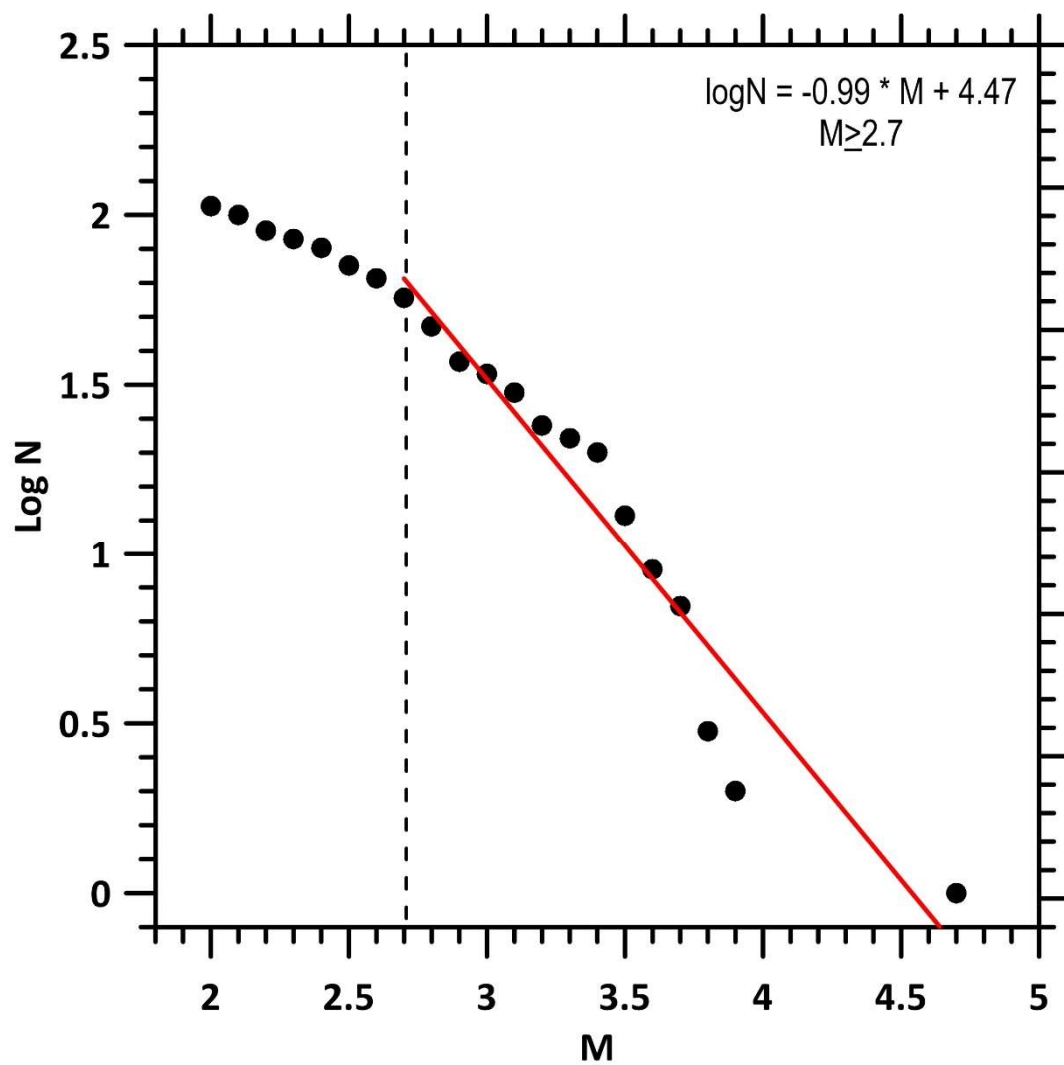
Ταυτόχρονα όμως βλέπουμε και μία ευρύτερη διέγερση η οποία οριοθετείται από τους μικρότερους σεισμούς με $M=3-4$ (πράσινοι κύκλοι) και καλύπτει ένα χώρο περίπου 7-9km.

3.3 Κατά Μέγεθος Κατανομή

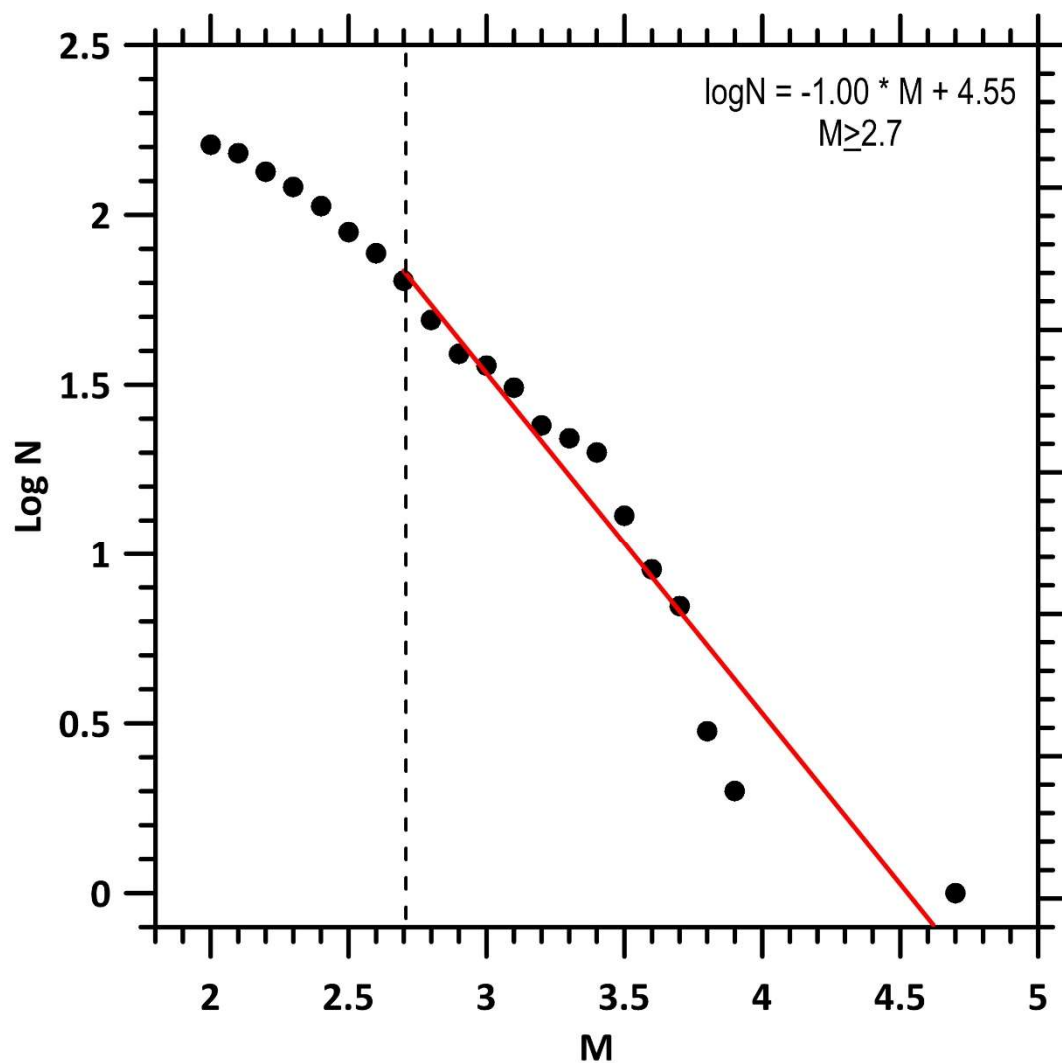
Η κατά μέγεθος κατανομή των σεισμών μιας σεισμικής ακολουθίας περιγράφεται από τη σχέση (2). Εφαρμόζοντας την σχέση αυτή για τους μετασεισμούς των πρώτων 6, 12, 24, 48, ωρών, αλλά και για το σύνολο των μετασεισμών προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις των σχημάτων (3.9 – 3.13).



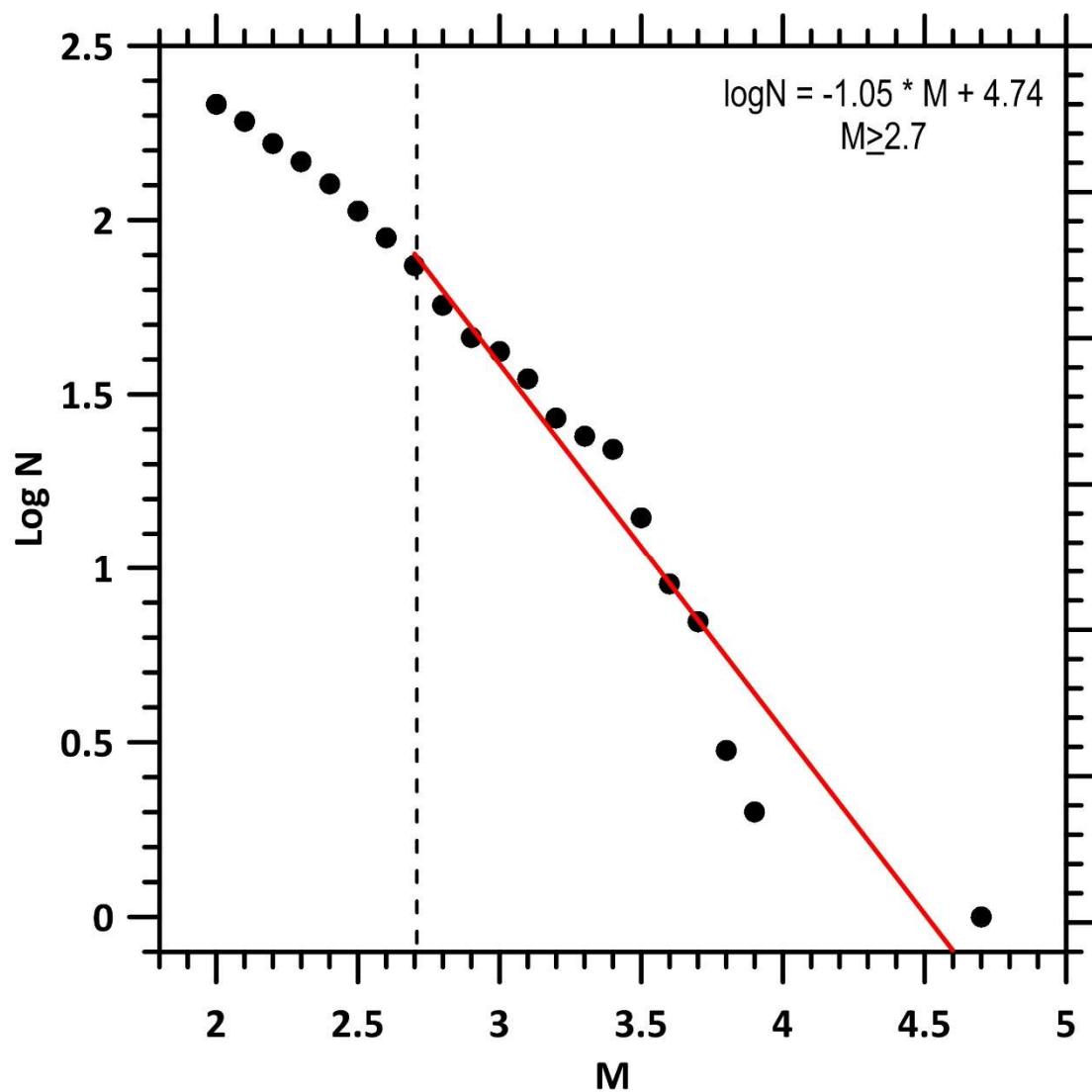
Σχήμα 3.9 Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των πρώτων 6 ωρών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$).



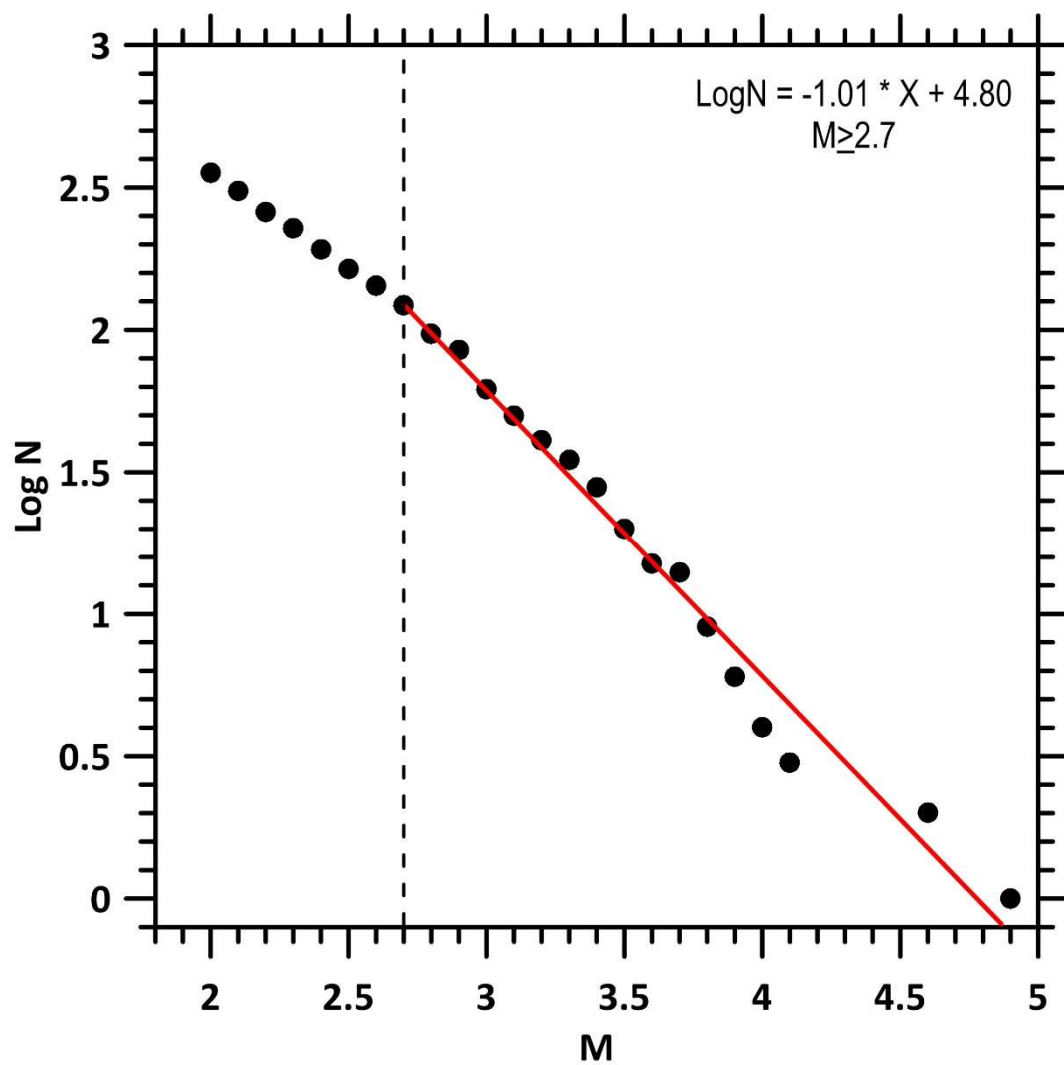
Σχήμα 3.10 Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των πρώτων 12 ωρών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, M=5.2).



Σχήμα 3.11 Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των πρώτων 24 ωρών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$).



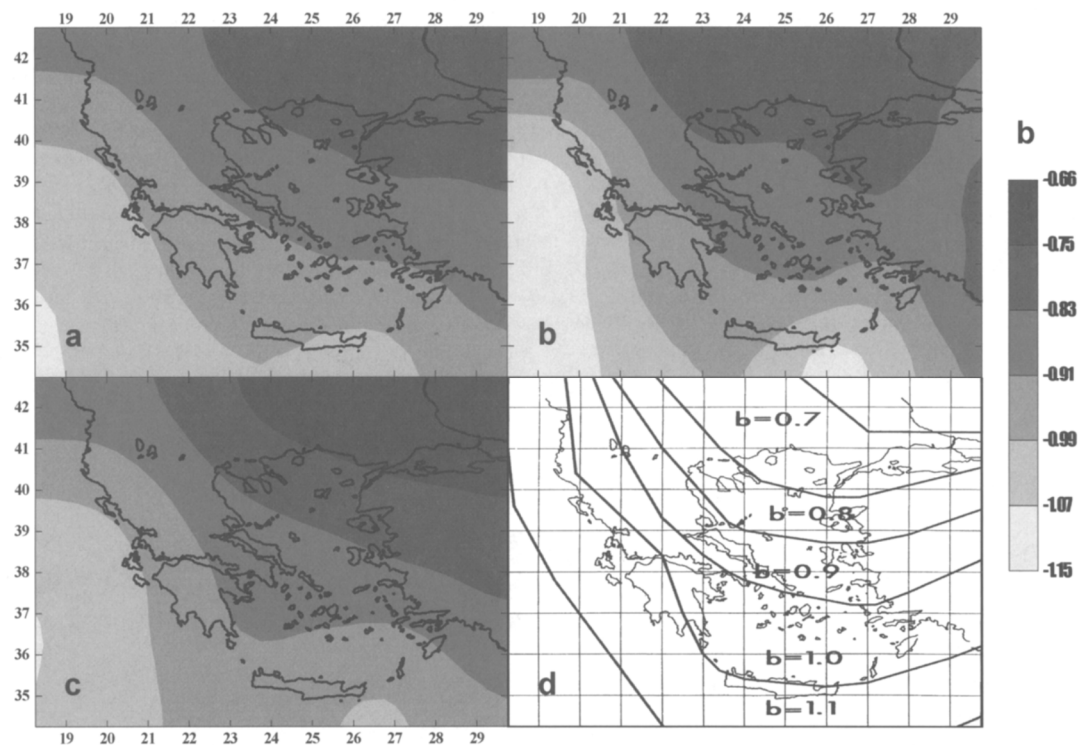
Σχήμα 3.12 Κατά μέγεθος κατανομή των μετασεισμών των πρώτων 48 ωρών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, M=5.2).



Σχήμα 3.13 Κατά μέγεθος κατανομή του συνόλου (70 ημέρες) των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$).

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις (σχήματα 3.9 – 3.13) παρατηρούμε ότι ο κατάλογος των σεισμών της ακολουθίας είναι πλήρης για σεισμούς με $M \geq 2.7$. Το μέγεθος πληρότητας υιοθετήθηκε από το γράφημα των πρώτων 6 ωρών και διατηρήθηκε στα υπόλοιπα γραφήματα.

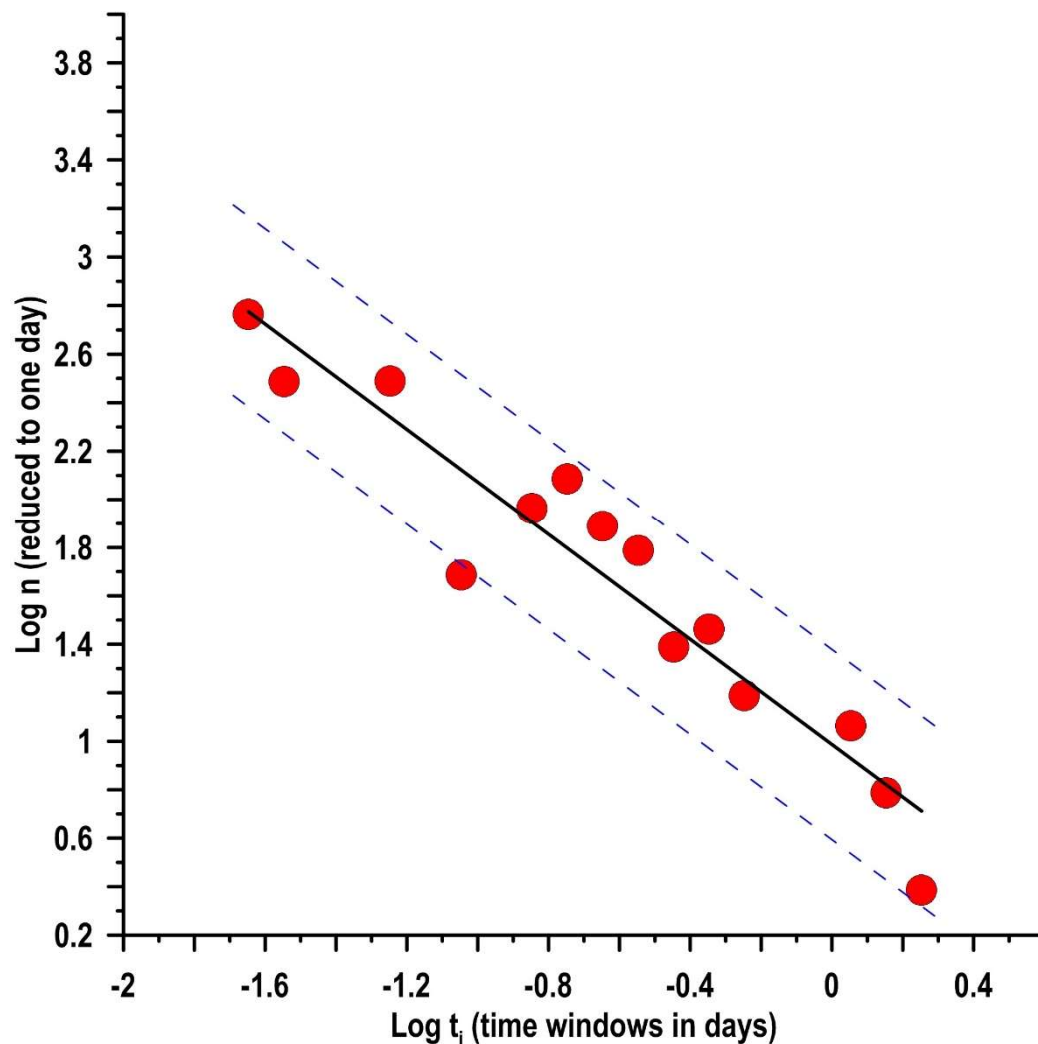
Παρατηρούμε επίσης πως η παράμετρος b παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις με μία αντιπροσωπευτική τιμή του $b=1.0$. Η τιμή αυτή είναι φυσιολογική για την περιοχή της Στερεάς Ελλάδας (σχήμα 3.14), το οποίο σημαίνει πως δεν υπάρχει κάποια ανησυχητική ένδειξη συσσωρευμένων τάσεων στην περιοχή.



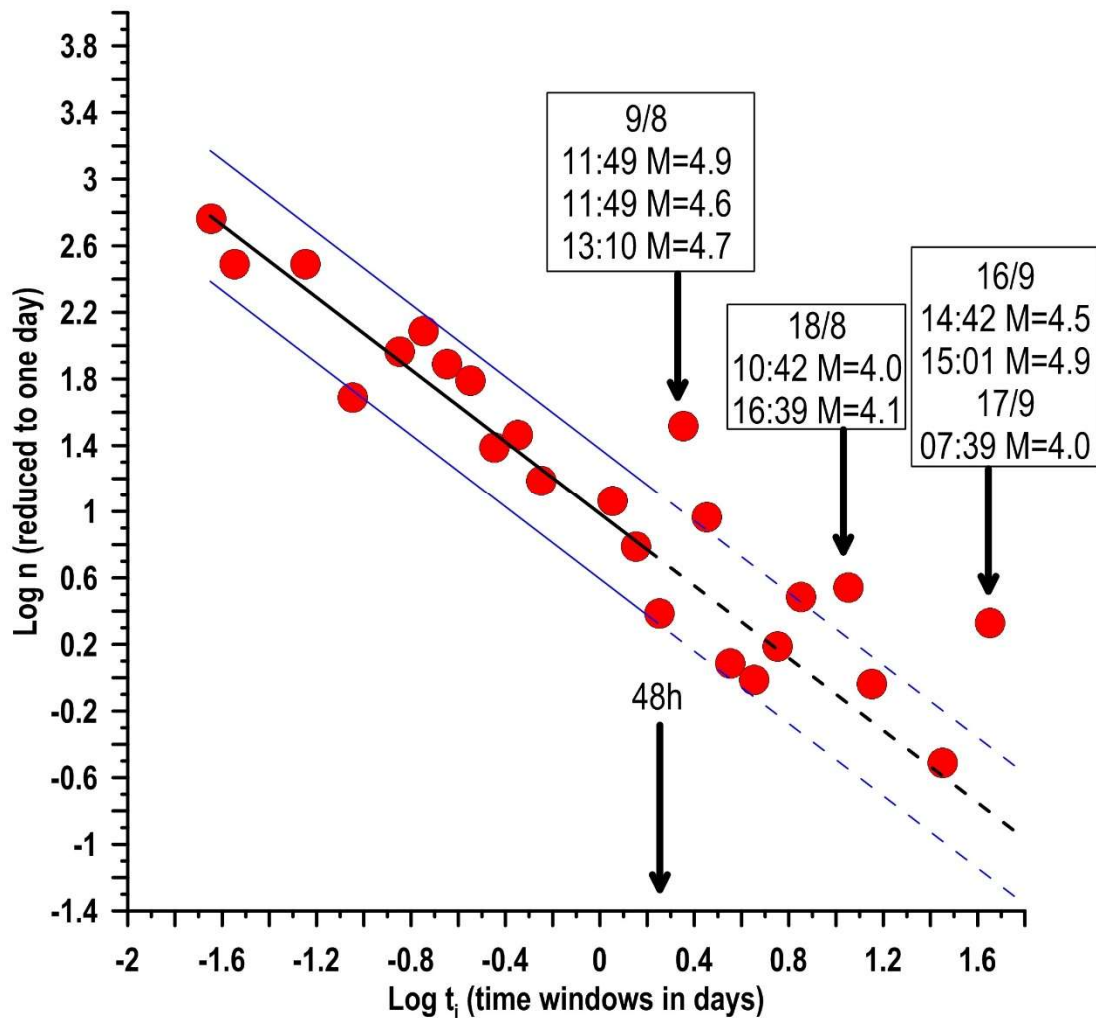
Σχήμα 3.14 Αντιπροσωπευτικές τιμές της παραμέτρου b στον ελληνικό χώρο (Parazachos, 1999).

3.4 Χρονική κατανομή

Η χρονική κατανομή μίας οποιασδήποτε σεισμικής ακολουθίας δείχνει την ομαλή (ή μη) εξέλιξή της και εκφράζεται από την σχέση (4). Εφαρμόζοντας την σχέση αυτή για τους μετασεισμούς των πρώτων 48 ωρών, αλλά και για το σύνολο των μετασεισμών προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις των σχημάτων (3.15 και 3.16) αντίστοιχα.



Σχήμα 3.15 Χρονική κατανομή μετασεισμών των πρώτων 48 ωρών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Οι διακεκομμένες γραμμές οριοθετούν διάστημα εμπιστοσύνης 95%.



Σχήμα 3.16 Χρονική κατανομή του συνόλου των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$). Οι μπλε συνεχείς γραμμές οριοθετούν διάστημα εμπιστοσύνης 95%, όπως αυτό καθορίστηκε από τα δεδομένα του πρώτου 48ώρου ενώ οι μπλε διακεκομμένες γραμμές είναι οι προεκτάσεις τους στο σύνολο της διάρκειας της μετασεισμικής ακολουθίας. Σημεία πάνω από το διάστημα εμπιστοσύνης 95% συνδέονται με τους ισχυρότερους μετασεισμούς της ακολουθίας.

Στην πρώτη γραφική παράσταση (σχήμα 3.15) παρουσιάζεται η χρονική κατανομή των πρώτων 48 ωρών. Εδώ χρησιμοποιήθηκαν οι μετασεισμοί με μέγεθος $M \geq 3.0$ (κατά τι μεγαλύτερο από το μέγεθος πληρότητας, $M=2.7$) έτσι ώστε να αποκλειστεί η περίπτωση απουσίας σεισμών μικρού μεγέθους κατά τις πρώτες ώρες. Η κατανομή αυτή είναι αντιπροσωπευτική της ακολουθίας και είναι αυτή που ορίζει την σχέση που πρέπει να διέπει τον ρυθμό με τον οποίο μειώνονται οι μετασεισμοί της. Συνεπώς και στις δύο γραφικές παραστάσεις (σχήματα 3.15, 3.16) ή μέση ευθεία και το διάστημα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές) προέκυψαν από τα δεδομένα του πρώτου 48 ώρου.

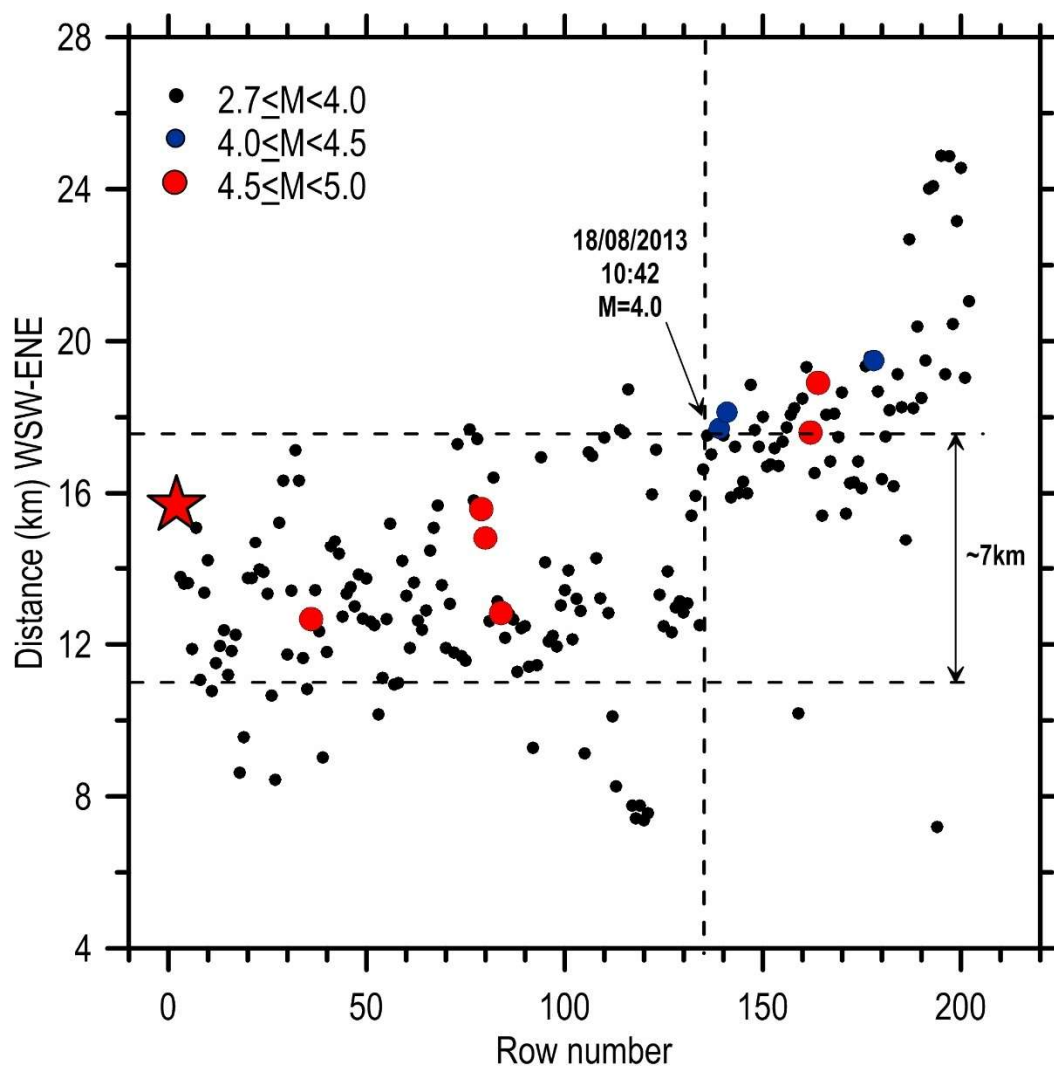
Στην δεύτερη γραφική παράσταση (σχήμα 3.16) παρουσιάζεται η χρονική κατανομή για όλους τους μετασεισμούς. Στο γράφημα διακρίνεται η λήξη του 48 ώρου, αλλά και οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί της ακολουθίας, τα σημεία των οποίων τοποθετούνται εκτός διαστήματος εμπιστοσύνης. Τα σημεία αυτά δείχνουν, ουσιαστικά, ότι οι μετασεισμοί αυτοί συνοδεύτηκαν από τους δικούς τους μετασεισμούς με αποτέλεσμα την εκδήλωση μεγαλύτερου αριθμού σεισμών από τον προβλεπόμενο κατά την εξέλιξη της μετασεισμικής ακολουθίας. Παρ' όλα αυτά, επειδή οι μεγαλύτεροι αυτοί μετασεισμοί δεν ήταν ισχυροί, δεν παρατηρήθηκε πρόδρομη αύξηση του ρυθμού εκδήλωσης σεισμών (εμφάνιση σημείων έξω από το διάστημα εμπιστοσύνης πριν την εκδήλωσή τους).

Συνέπως με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε πως η ακολουθία εξελίχθηκε ομαλά με τον χρόνο.

3.5 Χώρο-χρονική κατανομή

Εκτός από την μελέτη της χωρικής κατανομής ένας άλλος τρόπος για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της διάρρηξης στο σεισμογόνο ρήγμα, είναι η μελέτη χώρο-χρονικής κατανομής.

Για να μελετηθεί λοιπόν η χώρο-χρονική κατανομή της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας εξετάστηκε η σειρά εκδήλωσης των μετασεισμών κατά τη διεύθυνση της παράταξης του σεισμικού ρήγματος, προϊόντος του χρόνου (σχήμα 3.17).



Σχήμα 3.17 Χωρο-χρονική κατανομή των μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας της Αμφίκλειας (7 Αυγούστου 2013, $M=5.2$).

Σε πρώτη φάση παρατηρώντας την παραπάνω κατανομή (σχήμα 3.17), βλέπουμε ότι στον χώρο που έχει διεγερθεί κατά τις πρώτες ώρες ο κύριος σεισμός τοποθετείται κοντά στο ένα άκρο του ρήγματος (ABA άκρο). Υπό αυτήν την έννοια θα μπορούσαμε να πούμε πως πρόκειται για μονο-κατευθυντική διάρρηξη, όμως σε αυτού του είδους των διαρρήξεων η μετασεισμική δράση επεκτείνεται αμέσως στο άλλο άκρο του ρήγματος όπου γίνεται, συνήθως, ο μεγαλύτερος μετασεισμός. Εδώ έχουμε μεν επέκταση της μετασεισμικής δράσης προς το απέναντι άκρο (ΔΝΔ άκρο) όπου εκδηλώθηκαν κάποιοι σχετικά ισχυροί μετασεισμοί, αλλά, όπως βλέπουμε, οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί εκδηλώθηκαν προς τα ABA του κύριου σεισμού.

Εξετάζοντας όμως και τα στοιχεία που συλλέξαμε από την μελέτη της χρονικής κατανομής μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα που ερμηνεύει το σχήμα αυτό ως εξής. Αρχικά, μέσα στις πρώτες ώρες μετά την εκδήλωση του κύριου σεισμού η εικόνα της μονο-κατευθυντικής διάρρηξης φαίνεται να είναι φυσιολογική, καθώς στο ένα άκρο βρίσκεται ο κύριος σεισμός και στο απέναντι μετασεισμοί με μέγεθος $M \geq 4.5$. Μετά την 18/8 όπου και εκδηλώθηκε νέα δραστηριότητα κοντά στο ABA άκρο είχαμε επέκταση της δραστηριότητας έξω από τον σεισμογόνο χώρο της ακολουθίας με μεγάλους σεισμούς της τάξεως $M=4.0 - 4.9$, που σημαίνει πρακτικά δημιουργία νέου σεισμογόνου χώρου εξαιτίας της προαναφερθείσας δραστηριότητας.

4. Συμπεράσματα

Στις 7 Αυγούστου 2013, ώρα 09:06 (UTC), ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους $M=5.2$, έλαβε χώρα στην περιοχή του νομού Φθιώτιδος, κεντρική Ελλάδα. Ο σεισμός αυτός έπληξε την ευρύτερη περιοχή του νομού προκαλώντας βλάβες σε κτήρια, αλλά και καταπτώσεις βράχων στους οδικούς άξονες. Η έκταση των βλαβών ήταν ανάλογη με το είδος των κατασκευών. Έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό παρουσιάστηκε σε παλιά πλινθόκτιστα κτήρια, ωστόσο δεν απουσίασαν και βλάβες σε σύγχρονης κατασκευής οικοδομήματα.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν η μελέτη της σεισμικής αυτής ακολουθίας έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τις διαστάσεις του σεισμογόνου χώρου αλλά και τον τρόπο εξέλιξης της ίδιας της ακολουθίας. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- Από την μελέτη της **χωρικής κατανομής** διαπιστώθηκε πως το μήκος του σεισμικού ρήγματος είναι περίπου 6Km, έχει παράταξη ABA – ΔΝΔ με αζιμούθιο περίπου 80° και βυθίζεται προς τα ΝΝΑ με μεγάλη γωνία κλίσης περίπου 80° (σε συμφωνία με μηχανισμό γένεσης ΝΟΑ, Strike = 83° , Dip 77°). Επίσης βρέθηκε πως υπήρξε διέγερση εκτός του σεισμογόνου χώρου με αποτέλεσμα την επέκταση της δραστηριότητας προς τα ΑΒΑ και άμεση συνέπεια την αύξηση του συνολικού χώρου διέγερσης από τα 6Km στα περίπου 7-9Km.
- Η μελέτη της **κατά μέγεθος κατανομής** έδειξε ότι δεν υπάρχει κάποια ανησυχητική ένδειξη συσσωρευμένων τάσεων στην περιοχή, καθώς η τιμή της παραμέτρου b παρουσίασε μικρές διακυμάνσεις με μία αντιπροσωπευτική τιμή, $b=1.0$, η οποία και είναι φυσιολογική για την περιοχή.
- Τα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη της **χρονικής κατανομής** έδειξαν ότι η σεισμική ακολουθία της Αμφίκλειας εξελίχθηκε ομαλά με τον χρόνο, με εξαίρεση την εμφάνιση κάποιων σχετικά ισχυρών μετασεισμών οι οποίοι συνοδεύτηκαν από τις δικές μετασεισμικές ακολουθίες.
- Μελετώντας την **χώρο-χρονική κατανομή** προέκυψε ότι η δραστηριότητα ξεκίνησε από το ΑΒΑ άκρο και μεταφέρθηκε στο απέναντι, ΔΝΔ άκρο, δίνοντας μας έτσι την εικόνα μονο-κατευθυντικής διάρρηξης. Ακόμα είδαμε πιο ξεκάθαρα την επέκταση της δραστηριότητας μετά την 18/8 προς το ΑΒΑ άκρο, που είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία νέου σεισμογόνου χώρου και που μας οδήγησε στο τελικό, πιο σημαντικό συμπέρασμα της εργασίας αυτής.

Ότι δηλαδή η συνολική αυτή διέγερση μπορεί να χωριστεί σε 2 ανεξάρτητα κομμάτια. Το πρώτο με τον κύριο σεισμό $M=5.2$ και τον χώρο 6Km που κατέλαβε και το δεύτερο με την ΑΒΑ επέκταση και τον υπόλοιπο χώρο συνολικής διάστασης ~9km.

Βιβλιογραφία

- Allen, C.R., Amand, P.S., Richter, C.F. and Nordquist, J.M. Relation between seismicity and geological structure in the southern California region. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 55, 752-797, 1965.
- Chouliaras, G., Seismicity anomalies prior to the 13 December 2008, Ms = 5.7 earthquake in Central Greece. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 501–506, 2009. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-501-2009>.
- Gibowicz, S.J. Stress drop and aftershocks. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 63, 1433-1446, 1973.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 34, 185-188, 1944.
- Καρακαϊΐσης, Γ.Φ. Συμβολή στη μελέτη των σεισμικών ακολουθιών στο Αιγαίο και τις γύρω περιοχές. *Διδακτορική Διατριβή*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 192σελ., 1984.
- Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papadimitriou, E.E., Scordilis, E.M. and Papazachos, B.C. Seismic sequences in Greece interpreted in terms of the barrier model. *Nature*, Vol. 315, 6016, 212-214, 1985.
- Karnik, V. Seismicity of the European Area, Part 1. *D. Reidel, Dordrecht*, Netherlands, 364 pp., 1969.
- Mogi, K. On the time distribution of aftershocks accompanying the recent major earthquakes in and near Japan. *Bull. Earth. Res. Inst.*, 40, 107-124, 1962.
- Mogi, K. The fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to earthquake phenomena (second paper). *Bull. Earth. Res. Inst.*, 41, 595-614, 1963.
- Papazachos, B.C., Delibasis, N., Laipis, N., Moumoulidis, G. and G. Purcaru. Aftershock sequences of some large earthquakes in the region of Greece. *Annal. Di Geofys*, 20, 1-93, 1967.
- Papazachos, B.C., An Alternative Method for a Reliable Estimation of Seismicity with an Application in Greece and the Surrounding Area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 1, 111-119, 1999.

Παπαζάχος, Β και Κ. Παπαζάχου, Οι σεισμοί της Ελλάδας, 317 σελ., ISBN 960-431-777-6, 2002.

Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B. and Karakaisis, G.F., Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes, *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXVI, 3, 1482-1489, 2004.

Papazachos, C.B. Foreshocks and earthquake prediction. *Tectonophysics*, 28, 213-226, 1975.

Roumelioti, Z., Kiratzi, A., Moderate magnitude earthquake sequences in central Greece (for the year 2008). *Bull. Geol. Soc. Greece*, Vol. XLIII, 2144–2153, 2010.

Scholz, C.H. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 399-415, 1968.

Suyehiro, S. Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 56, 185-200, 1966.

Wessel, P. and Smith, W. New version of the Generic Mapping Tools, *EOS*, 76-329, 1995.

Wyss, M. and Lee, W. H. K. The variation of the average earthquake magnitude in central California, in Proceedings of the Conference on Tectonic problems of the San-Andreas fault system. In: R. Kovach and A. Nur (editors). *Geological Sciences*, Vol. XIII, School of Earth Sciences, Stanford University, 24-42, 1973.

Ιστοσελίδες

www.bbnet.gein.noa.gr

www.el.wikipedia.org/wiki/Σεισμός

www.geo.auth.gr/courses/qgp/mth1063e/pdf/8thChapter.pdf

<http://geophysics.geo.auth.gr>

www.globalcmt.org

www.oasp.gr

Παράρτημα

Στην 1^η στήλη δίνεται το έτος, στη 2^η ο μήνας η μέρα η ώρα τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα του χρόνου γένεσης του σεισμού, στην 3^η και 4^η στήλη σημειώνονται το Βόρειο γεωγραφικό πλάτος και Ανατολικό μήκος του επικέντρου αντίστοιχα, στην 5^η το εστιακό βάθος σε km, στην 6^η το μέγεθος του σεισμού (στην κλίμακα τοπικού μεγέθους, M_L) και στην 7^η η πηγή των πληροφοριών (**T** για τα δελτία του Σεισμολογικού Σταθμού του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. και **A** για τα δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών). Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται ο κύριος σεισμός της σεισμικής διέγερσης.

<i>Year</i>	<i>MoDaHrMnSc.Ms</i>	<i>Lat_N</i>	<i>Lon_E</i>	<i>Dep</i>	<i>M_L</i>	<i>Author</i>
2013	0711004452.90	38.930	23.396	6	2.8	T
2013	0711110821.70	38.608	22.067	6	3.4	T
2013	0713190201.00	38.229	22.103	7	3.0	T
2013	0713204654.00	38.231	22.088	9	2.7	T
2013	0713215816.80	38.227	22.108	8	3.0	T
2013	0714020626.90	38.228	22.100	7	2.9	T
2013	0714074658.90	38.235	22.095	9	3.3	T
2013	0714115043.00	38.244	22.110	8	3.4	T
2013	0714213802.10	38.227	22.113	8	3.0	T
2013	0714222011.60	38.223	22.099	7	2.7	T
2013	0715004410.20	38.221	22.111	3	2.7	T
2013	0715091603.50	38.227	22.146	2	2.7	T
2013	0715200756.20	38.230	22.096	8	3.7	T
2013	0716001130.60	38.225	22.104	7	3.2	T
2013	0716045056.30	38.228	22.093	12	3.0	T
2013	0719112910.70	38.233	22.090	11	3.0	T
2013	0724025059.30	38.228	22.081	11	2.9	T
2013	0724025550.40	38.227	22.107	9	3.5	T
2013	0724030133.40	38.233	22.097	10	3.2	T
2013	0726135522.30	38.236	22.109	7	3.1	T
2013	0807090245.60	38.698	22.684	0	4.2	T
2013	0807090607.40	38.706	22.670	16	3.0	T
2013	0807090652.20	38.688	22.695	8	5.2	T
2013	0807091735.40	38.697	22.671	6	3.5	T
2013	0807091812.80	38.707	22.667	15	3.4	T
2013	0807091813.00	38.698	22.669	11	3.6	A
2013	0807092338.50	38.707	22.647	14	2.7	T
2013	0807092612.80	38.709	22.684	9	2.8	T
2013	0807093804.00	38.700	22.639	10	2.7	T

<i>Year</i>	<i>MoDaHrMnSc.Ms</i>	<i>Lat_N</i>	<i>Lon_E</i>	<i>Dep</i>	<i>M_L</i>	<i>Author</i>
2013	0807094016.80	38.708	22.664	8	2.8	T
2013	0807094223.90	38.688	22.678	17	2.7	T
2013	0807094841.00	38.698	22.636	15	2.8	T
2013	0807095013.80	38.705	22.643	14	2.7	T
2013	0807095033.90	38.697	22.650	18	3.0	T
2013	0807095128.80	38.701	22.654	10	3.3	T
2013	0807095152.50	38.683	22.644	8	3.4	T
2013	0807095636.90	38.704	22.647	2	3.9	T
2013	0807100233.90	38.694	22.654	0	3.4	T
2013	0807101937.10	38.693	22.612	7	2.8	T
2013	0807102158.70	38.692	22.623	11	2.7	T
2013	0807103349.40	38.711	22.668	7	3.0	T
2013	0807103629.00	38.706	22.669	0	3.0	T
2013	0807104437.60	38.686	22.684	7	3.4	T
2013	0807104703.90	38.694	22.674	7	3.1	T
2013	0807110154.00	38.695	22.673	15	2.7	A
2013	0807112134.00	38.697	22.666	9	2.7	T
2013	0807112850.50	38.701	22.634	13	2.8	T
2013	0807113151.20	38.692	22.610	0	3.1	T
2013	0807114707.00	38.753	22.608	20	3.0	A
2013	0807114710.30	38.702	22.687	10	2.9	T
2013	0807121916.10	38.721	22.696	11	3.2	T
2013	0807122152.40	38.689	22.649	9	2.7	T
2013	0807122638.10	38.706	22.665	12	3.0	T
2013	0807123200.60	38.708	22.708	6	3.8	T
2013	0807130043.00	38.770	22.689	20	2.7	A
2013	0807131724.60	38.706	22.699	10	3.1	T
2013	0807132433.90	38.693	22.647	8	2.9	T
2013	0807133245.00	38.696	22.637	6	3.4	T
2013	0807134432.50	38.688	22.660	0	4.7	T
2013	0807135123.40	38.697	22.667	8	3.4	T
2013	0807135153.40	38.694	22.655	11	3.4	T
2013	0807141856.90	38.701	22.615	8	2.7	T
2013	0807143458.00	38.673	22.653	10	3.3	A
2013	0807143611.40	38.695	22.681	0	3.7	T
2013	0807145927.40	38.693	22.683	9	3.1	T
2013	0807151816.60	38.708	22.676	0	3.7	T
2013	0807152156.40	38.697	22.659	10	3.2	T
2013	0807152232.10	38.697	22.666	8	3.1	T
2013	0807155720.50	38.697	22.668	5	2.8	T
2013	0807160344.90	38.692	22.663	2	3.7	T

<i>Year</i>	<i>MoDaHrMnSc.Ms</i>	<i>Lat_N</i>	<i>Lon_E</i>	<i>Dep</i>	<i>M_L</i>	<i>Author</i>
2013	0807162215.00	38.701	22.671	10	2.8	T
2013	0807163530.30	38.689	22.660	5	3.1	T
2013	0807164714.70	38.700	22.670	3	2.8	T
2013	0807181948.20	38.694	22.658	14	3.5	T
2013	0807184428.60	38.689	22.658	16	3.6	T
2013	0807191236.90	38.687	22.631	16	2.8	T
2013	0807191237.00	38.688	22.642	12	2.8	A
2013	0807191448.70	38.688	22.660	15	2.9	T
2013	0807195441.40	38.710	22.685	16	3.5	T
2013	0807200449.90	38.683	22.641	11	3.7	T
2013	0807200450.10	38.685	22.641	7	3.5	T
2013	0807200918.90	38.702	22.675	3	2.7	T
2013	0807220703.00	38.694	22.666	7	2.7	T
2013	0807233847.40	38.699	22.649	4	3.0	T
2013	0808000454.30	38.699	22.669	0	3.1	T
2013	0808031425.90	38.691	22.659	6	2.7	T
2013	0808051159.80	38.687	22.657	8	2.7	T
2013	0808071855.00	38.696	22.661	10	2.7	T
2013	0808073816.70	38.688	22.681	4	2.7	T
2013	0808094053.30	38.704	22.685	10	2.8	T
2013	0808095339.70	38.693	22.694	9	2.9	T
2013	0808095512.00	38.700	22.668	0	3.2	T
2013	0808114943.80	38.694	22.650	11	2.7	T
2013	0808120811.50	38.701	22.662	0	3.0	T
2013	0808132809.00	38.702	22.647	10	3.1	T
2013	0808163531.70	38.697	22.712	0	3.5	T
2013	0808194135.10	38.736	22.639	8	3.0	T
2013	0808225338.80	38.615	22.968	11	3.2	T
2013	0809035130.80	38.714	22.642	0	3.4	T
2013	0809052137.50	38.710	22.714	7	2.7	T
2013	0809101220.70	38.716	22.691	5	2.7	T
2013	0809114230.50	38.710	22.711	12	2.8	T
2013	0809114923.90	38.703	22.691	0	4.9	T
2013	0809114956.70	38.698	22.683	7	4.6	T
2013	0809115403.20	38.695	22.658	17	3.0	T
2013	0809115448.00	38.716	22.698	9	3.0	A
2013	0809125519.40	38.705	22.662	4	3.1	T
2013	0809131010.40	38.702	22.659	0	4.7	T
2013	0809131415.50	38.694	22.653	5	3.8	T
2013	0809131529.80	38.700	22.659	16	3.3	T
2013	0809132634.50	38.687	22.660	17	2.9	T

Year	MoDaHrMnSc.Ms	Lat_N	Lon_E	Dep	M_L	Author
2013	0809134344.60	38.687	22.644	9	3.7	T
2013	0809150121.00	38.704	22.654	10	2.8	T
2013	0809151656.20	38.697	22.656	10	2.7	T
2013	0809152726.20	38.715	22.640	5	3.2	T
2013	0809153736.40	38.706	22.617	13	3.0	T
2013	0809155841.00	38.692	22.645	0	2.9	T
2013	0809170405.00	38.712	22.705	4	2.8	T
2013	0809172731.80	38.705	22.674	11	2.7	T
2013	0809181555.30	38.699	22.651	10	2.7	T
2013	0809184719.40	38.697	22.653	5	3.3	T
2013	0809192530.50	38.696	22.650	8	2.9	T
2013	0809192541.00	38.729	22.656	8	3.3	A
2013	0809192651.00	38.687	22.669	10	3.7	T
2013	0809194948.80	38.702	22.672	7	3.5	T
2013	0809200327.50	38.697	22.652	3	2.9	T
2013	0809203059.50	38.694	22.665	5	3.1	T
2013	0809205137.90	38.700	22.660	14	3.3	T
2013	0809222648.20	38.702	22.616	6	3.4	T
2013	0809230250.10	38.710	22.707	7	3.0	T
2013	0810001959.20	38.714	22.705	10	3.5	T
2013	0810070934.20	38.696	22.677	11	3.8	T
2013	0810073608.80	38.690	22.666	9	2.7	T
2013	0810084023.60	38.712	22.711	0	3.4	T
2013	0810111136.40	38.682	22.663	7	3.1	T
2013	0810184030.10	38.699	22.628	9	3.2	T
2013	0811033931.90	38.707	22.605	5	2.7	T
2013	0811124825.50	38.719	22.712	9	3.2	T
2013	0812025107.10	38.709	22.713	4	2.7	T
2013	0812092812.80	38.711	22.726	6	2.9	T
2013	0812133810.10	38.697	22.601	7	2.7	T
2013	0813031325.80	38.698	22.597	8	2.9	T
2013	0813035131.00	38.692	22.602	6	2.8	T
2013	0813055501.70	38.695	22.597	5	3.4	T
2013	0813090139.70	38.696	22.599	8	3.0	T
2013	0813205148.40	38.700	22.696	4	2.9	T
2013	0814032703.50	38.709	22.708	6	3.0	T
2013	0814164127.10	38.690	22.667	5	3.7	T
2013	0814164653.50	38.687	22.658	7	2.8	T
2013	0814170023.00	38.691	22.674	6	2.8	T
2013	0814170826.70	38.688	22.656	7	2.9	T
2013	0814171258.20	38.696	22.662	8	3.7	T

<i>Year</i>	<i>MoDaHrMnSc.Ms</i>	<i>Lat_N</i>	<i>Lon_E</i>	<i>Dep</i>	<i>M_L</i>	<i>Author</i>
2013	0814225801.00	38.685	22.666	4	3.5	T
2013	0815010331.00	38.688	22.662	4	3.4	T
2013	0815020557.10	38.687	22.665	6	2.9	T
2013	0815045308.10	38.688	22.692	7	2.7	T
2013	0815055935.60	38.703	22.695	4	2.7	T
2013	0815064320.70	38.689	22.658	7	2.9	T
2013	0817033622.40	38.703	22.703	5	2.7	T
2013	0817132909.50	38.705	22.713	4	3.3	T
2013	0817135336.90	38.702	22.708	8	2.7	T
2013	0818042857.00	38.703	22.716	7	3.2	T
2013	0818104255.00	38.706	22.715	10	4.0	T
2013	0818134225.90	38.700	22.714	7	3.4	T
2013	0818163922.30	38.706	22.720	8	4.1	T
2013	0818170232.70	38.706	22.694	4	2.9	T
2013	0818200844.40	38.708	22.709	7	3.8	T
2013	0818204125.60	38.708	22.695	9	2.8	T
2013	0818221619.20	38.705	22.699	4	3.9	T
2013	0819012925.10	38.697	22.697	6	3.1	T
2013	0819033231.50	38.708	22.728	2	3.6	T
2013	0819133504.60	38.709	22.714	8	2.7	T
2013	0819201559.80	38.703	22.710	6	2.8	T
2013	0820051648.90	38.699	22.720	9	2.9	T
2013	0820175123.30	38.718	22.701	10	2.7	T
2013	0821070923.00	38.711	22.703	7	3.2	T
2013	0821222000.30	38.691	22.712	0	3.4	T
2013	0822011801.30	38.699	22.705	5	2.9	T
2013	0822075916.90	38.706	22.711	5	2.8	T
2013	0822174516.10	38.683	22.720	7	3.2	T
2013	0823155555.50	38.835	23.259	10	2.9	T
2013	0823205705.10	38.707	22.719	7	2.7	T
2013	0824104953.10	38.697	22.723	8	2.7	T
2013	0902044021.60	38.689	22.631	4	3.5	T
2013	0902094256.50	38.702	22.725	6	2.7	T
2013	0904001648.30	38.705	22.734	6	3.0	T
2013	0904115413.50	38.387	22.360	11	3.0	T
2013	0910171417.70	38.407	22.025	7	2.8	T
2013	0910185750.20	38.399	22.034	7	2.8	T
2013	0916144240.30	38.700	22.715	0	4.5	T
2013	0916145503.10	38.698	22.703	15	2.7	T
2013	0916150114.40	38.706	22.729	8	4.9	T
2013	0916150701.70	38.703	22.689	8	3.1	T

Year	MoDaHrMnSc.Ms	Lat_N	Lon_E	Dep	M_L	Author
2013	0916151546.40	38.702	22.720	4	3.7	T
2013	0916151758.20	38.696	22.707	14	2.7	T
2013	0916154427.30	38.714	22.718	0	3.0	T
2013	0916161310.00	38.698	22.714	2	3.3	T
2013	0916165158.60	38.701	22.727	8	2.9	T
2013	0916174003.60	38.711	22.688	6	2.9	T
2013	0916195209.60	38.727	22.694	5	3.0	T
2013	0916204212.00	38.709	22.698	6	2.9	T
2013	0916225704.00	38.721	22.702	4	3.0	T
2013	0917004155.30	38.710	22.696	2	2.9	T
2013	0917015905.30	38.722	22.731	0	2.9	T
2013	0917054653.00	38.716	22.735	1	3.9	T
2013	0917073944.90	38.715	22.734	8	4.0	T
2013	0917074241.60	38.708	22.726	8	3.0	T
2013	0917085248.20	38.756	22.768	0	3.5	T
2013	0917152510.10	38.699	22.701	10	2.7	T
2013	0917161149.20	38.724	22.709	5	2.9	T
2013	0917173519.50	38.709	22.720	7	3.3	T
2013	0918145830.70	38.698	22.699	7	2.7	T
2013	0919124143.20	38.704	22.732	16	3.0	T
2013	0919183017.50	38.714	22.720	16	3.2	T
2013	0919205651.90	38.715	22.679	16	3.2	T
2013	0920020519.90	38.168	23.130	5	4.4	T
2013	0920053716.50	38.706	22.773	7	2.7	T
2013	0920100210.40	38.712	22.720	8	2.9	T
2013	0920101328.90	38.722	22.743	0	3.3	T
2013	0920150417.00	38.718	22.722	8	2.9	A
2013	0920180538.00	38.710	22.735	9	2.9	A
2013	0920191847.00	38.713	22.787	9	3.3	A
2013	0921073048.70	38.722	22.786	8	3.0	T
2013	0921124601.10	38.665	22.601	4	2.9	T
2013	0921150537.40	38.704	22.799	0	3.0	T
2013	0922040545.60	38.729	22.727	8	3.3	T
2013	0922073938.90	38.760	22.750	3	3.2	T
2013	0922175158.50	38.723	22.795	0	3.3	T
2013	0923133821.00	38.096	22.130	60	3.1	A
2013	0923133823.10	38.086	22.125	50	3.0	T
2013	0923135631.50	38.706	22.747	12	3.0	T
2013	0924041033.40	38.724	22.775	6	2.7	T
2013	0924150254.60	38.730	22.790	10	2.7	T
2013	0926023436.80	38.295	22.144	9	3.7	T

<i>Year</i>	<i>MoDaHrMnSc.Ms</i>	<i>Lat_N</i>	<i>Lon_E</i>	<i>Dep</i>	<i>M_L</i>	<i>Author</i>
2013	0926052512.40	38.303	22.143	9	3.1	T
2013	0926100209.20	38.714	22.729	14	2.9	T
2013	0927064613.60	38.711	22.753	7	2.9	T
2013	0927192034.80	38.885	23.049	11	2.7	T
2013	1003051559.40	38.785	23.005	14	2.9	T
2013	1005144215.00	39.410	22.943	9	2.8	T