

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ  
ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΑΣΤΕΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ : ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ  
ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΣΤΟΝ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΑΣΤΕΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ : ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για το έτος 2006-2007. Η ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας έγινε από την κ. Παπαδημητρίου Ελευθερία και τον κ. Καρακώστα Βασίλη.

Αντικείμενο της έχει τη μελέτη των χαρακτηριστικών της χωρικής και χρονικής κατανομής των μετασεισμικών ακολουθιών που έλαβαν χώρα στον ελληνικό χώρο από το 1978 μέχρι σήμερα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον κατάλογο του Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αν και ο χώρος που έλαβε χώρα κάθε μετασεισμική ακολουθία ανήκει σε διαφορετικές γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας, τα κριτήρια στα οποία υπακούουν τόσο η χωρική όσο και χρονική κατανομή των μετασεισμών παραμένουν σε μεγάλο βαθμό τα ίδια. Η χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας γίνεται κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος είτε μονοκατευθυντικά είτε δικατευθυντικά. Η απόσταση από το επίκεντρο του κύριου σεισμού στην οποία συμβαίνουν οι μετασεισμοί έχει άμεση σχέση με το χρονικό διάστημα που έχει παρέλθει από την κύρια διάρρηξη. Η μετασεισμική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή αμέσως μετά την κύρια διάρρηξη, στη συνέχεια εισέρχεται σε μία περίοδο ομαλοποίησης και τελικά φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας κάθε περιοχής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, των μεγαλύτερων μετασεισμών προηγείται μία χαρακτηριστική περίοδος σχετικής ηρεμίας, που αποτελεί προάγγελο της γένεσής τους. Ο προσδιορισμός αυτής της περιόδου συμβάλλει στην εκτίμηση της άμεσης σεισμικής επικινδυνότητας λόγω της γένεσης ενός ισχυρού μετασεισμού.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας περιγράφεται η σεισμικότητα του ελληνικού χώρου σε σχέση με τη θέση του στο Παγκόσμιο γεωτεκτονικό σύστημα αλλά και τη γεωλογική του τοποθέτηση στον Ευρωπαϊκό χώρο. Επί προσθέτως αναφέρεται συνοπτικά η κατανομή των ενεργών σεισμικών ρηγμάτων που συνδέονται με τη γένεση των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γενικά χαρακτηριστικά των μετασεισμών, όπως το μέγιστο μέγεθος και η συχνότητα εμφάνισής τους, καθώς επίσης και σε ένα μοντέλο ερμηνείας της γένεσής τους. Ακολούθως περιγράφονται οι βασικές αρχές τριών μοντέλων ερμηνείας της μετασεισμικής δράσης μίας ακολουθίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η χωρική κατανομή των μετασεισμών με συνοπτική αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της χωρικής εξέλιξης των επικέντρων τους καθώς και στις διαστάσεις του μετασεισμικού χώρου. Ακόμη περιγράφεται η επίδραση των τάσεων Coulomb στην χωρική κατανομή των μετασεισμών και ο τρόπος με τον οποίο τα ρευστά των πόρων των πετρωμάτων μεταβάλλουν τις τάσεις αυτές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η χρονική κατανομή των μετασεισμών με έκθεση των κύριων χαρακτηριστικών αυτής όπως είναι η διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας και η συχνότητα γένεσης των μετασεισμών. Ακολούθως γίνεται αναφορά στην περίοδο σχετικής ηρεμίας πριν από τους μεγάλους μετασεισμούς καθώς και στο φαινόμενο της ελάττωσης της συχνότητας των μετασεισμών σε σχέση με το χρόνο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται οι βασικές ιδιότητες των μετασεισμικών ακολουθιών στον ελληνικό χώρο. Αναφέρονται οι σχέσεις των κυριότερων παραμέτρων αυτών καθώς επίσης και η επίδραση των σειμοτεκτονικών ιδιοτήτων μίας περιοχής στα χαρακτηριστικά της χωρικής και χρονικής κατανομής τους.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος με βάση την οποία έγινε η μελέτη ξεχωριστά της χωρικής και χρονικής κατανομής των μετασεισμικών ακολουθιών και ο τρόπος εξαγωγής των αποτελεσμάτων.

Το έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα λεπτομερή αποτελέσματα για κάθε μία από τις μετασεισμικές ακολουθίες που μελετήθηκαν. Για κάθε μία ακολουθία αναφέρονται κατά σειρά τα γενικά χαρακτηριστικά της, η χωρική, η χρονική και η ταυτόχρονα χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναφέρονται τα τελικά συμπεράσματα για τη χωρική και χρονική κατανομή των μετασεισμικών ακολουθιών στον ελληνικό χώρο.

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε με την καθοδήγηση των επιβλεπόντων καθηγητών τους οποίους ευχαριστώ θερμά για τη διαρκή και συνεπή βοήθεια και υποστήριξη.

Ο φοιτητής

Αστεϊόπουλος Αναστάσιος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

|                                                                                       |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Η Σεισμικότητα στον Ελληνικό Χώρο .....                                               | 1 |
| 1.1 Εισαγωγή .....                                                                    | 1 |
| 1.2 Κατανομή των Σεισμικών Ρηγμάτων των Επιφανειακών Σεισμών στον Ελληνικό χώρο ..... | 2 |

### Κεφάλαιο 2ο

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Μετασεισμικές Ακολουθίες .....                                         | 5  |
| 2.1 Εισαγωγή .....                                                     | 5  |
| 2.2 Μοντέλα Ερμηνείας της Μετασεισμικής Δράσης μίας Ακολουθίας .....   | 8  |
| 2.2.1 Τροποποιημένο Μοντέλο Omori (Modified Omori Formula) (MOF) ..... | 8  |
| 2.2.2 Μοντέλο ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence).....            | 9  |
| 2.2.3 Μοντέλο RETAS (Restricted Epidemic Aftershock Sequence) .....    | 10 |

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....                                      | 12 |
| 3.1 Εισαγωγή .....                                                         | 12 |
| 3.2 Τάσεις Coulomb.....                                                    | 13 |
| 3.2.1 Επίδραση των Ρευστών των Πόρων στην Μεταβολή των Τάσεων Coulomb..... | 14 |

### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....                                     | 16 |
| 4.1 Εισαγωγή .....                                                         | 16 |
| 4.2 Περίοδος Σχετικής Ηρεμίας πριν από Μεγάλους Μετασεισμούς .....         | 17 |
| 4.3 Ελάττωση της Συχνότητας των Μετασεισμών σε Συνάρτηση με το Χρόνο ..... | 18 |

### Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Μετασεισμικές Ακολουθίες στον Ελληνικό Χώρο.....                                                                                                     | 19 |
| 5.1 Εισαγωγή .....                                                                                                                                   | 19 |
| 5.2 Σχέσεις μεταξύ των Κυριότερων Παραμέτρων των Μετασεισμικών Ακολουθιών στον Ελληνικό χώρο .....                                                   | 20 |
| 5.2.1 Σχέση μεταξύ του αριθμού των μετασεισμών και του μεγέθους του κυρίου σεισμού .....                                                             | 20 |
| 5.2.2 Σχέση μεταξύ της διάρκειας της μετασεισμικής ακολουθίας και του μεγέθους του κύριου σεισμού.....                                               | 20 |
| 5.2.3 Σχέση μεταξύ του μήκους της διάρρηξης και του μεγέθους του κύριου σεισμού .....                                                                | 20 |
| 5.2.4 Σχέση μεταξύ του μεγέθους του μεγαλύτερου μετασεισμού και του μεγέθους του κυρίου σεισμού.....                                                 | 21 |
| 5.3 Η Επίδραση των Σεισμοτεκτονικών Ιδιοτήτων μιας Περιοχής στα Χαρακτηριστικά της Χωρικής και Χρονικής Κατανομής των Μετασεισμικών Ακολουθιών ..... | 21 |

### Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Μέθοδος-Δεδομένα.....                        | 23 |
| 6.1 Εισαγωγή .....                           | 23 |
| 6.2 Η Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών.....   | 23 |
| 6.3 Η Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών ..... | 24 |

|            |                                               |           |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>6.4</b> | <b>Η Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών</b> | <b>26</b> |
|------------|-----------------------------------------------|-----------|

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>**

|             |                                                            |            |
|-------------|------------------------------------------------------------|------------|
|             | <b>Μελέτη των Σεισμικών Ακολουθιών του Ελληνικού Χώρου</b> | <b>29</b>  |
| <b>7.1</b>  | <b>Εισαγωγή</b>                                            | <b>29</b>  |
| <b>7.2</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Θεσσαλονίκης (1978)</b>              | <b>29</b>  |
| 7.2.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 30         |
| 7.2.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 30         |
| 7.2.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 33         |
| <b>7.3</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Μαυροβούνιου (Budva) (1979)</b>      | <b>34</b>  |
| 7.3.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 34         |
| 7.3.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 36         |
| 7.3.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 43         |
| <b>7.4</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Μαγνησίας (Αλμυρός) (1980)</b>       | <b>46</b>  |
| 7.4.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 46         |
| 7.4.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 47         |
| 7.4.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 50         |
| <b>7.5</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Αλκυονίδων (1981)</b>                | <b>52</b>  |
| 7.5.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 52         |
| 7.5.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 54         |
| 7.5.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 58         |
| <b>7.6</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Λέσβου (1981)</b>                    | <b>59</b>  |
| 7.6.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 59         |
| 7.6.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 61         |
| 7.6.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 67         |
| <b>7.7</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)</b>        | <b>68</b>  |
| 7.7.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 68         |
| 7.7.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 71         |
| 7.7.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 74         |
| <b>7.8</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)</b>    | <b>76</b>  |
| 7.8.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 77         |
| 7.8.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 78         |
| 7.8.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 83         |
| <b>7.9</b>  | <b>Σεισμική Ακολουθία Ηλείας (Κυλλήνη) (1988)</b>          | <b>84</b>  |
| 7.9.1       | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 84         |
| 7.9.2       | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 85         |
| 7.9.3       | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 88         |
| <b>7.10</b> | <b>Σεισμική Ακολουθία Πρέβεζας (1990)</b>                  | <b>89</b>  |
| 7.10.1      | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 89         |
| 7.10.2      | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 90         |
| 7.10.3      | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 94         |
| <b>7.11</b> | <b>Σεισμική Ακολουθία Πέλλας (Αριδαία) (1990)</b>          | <b>95</b>  |
| 7.11.1      | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 95         |
| 7.11.2      | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 96         |
| 7.11.3      | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 99         |
| <b>7.12</b> | <b>Σεισμική Ακολουθία Γρεβενών (Κνίδη) (1995)</b>          | <b>100</b> |
| 7.12.1      | Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών                            | 100        |
| 7.12.2      | Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών                           | 102        |
| 7.12.3      | Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών                       | 107        |
| <b>7.13</b> | <b>Σεισμική Ακολουθία Αίγιο (1995)</b>                     | <b>108</b> |



|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 7.13.1 Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....         | 108 |
| 7.13.2 Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....        | 109 |
| 7.13.3 Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....    | 112 |
| <b>7.14</b> Σεισμική Ακολουθία Καρπάθου (1996) ..... | 113 |
| 7.14.1 Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....         | 114 |
| 7.14.2 Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....        | 115 |
| 7.14.3 Χωροχρονική κατανομή των Μετασεισμών.....     | 118 |
| <b>7.15</b> Σεισμική Ακολουθία Ζακύνθου (1997) ..... | 119 |
| 7.15.1 Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....         | 119 |
| 7.15.2 Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....        | 120 |
| 7.15.3 Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....    | 122 |
| <b>7.16</b> Σεισμική Ακολουθία Αθήνας (1999) .....   | 123 |
| 7.16.1 Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....         | 123 |
| 7.16.2 Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....        | 124 |
| 7.16.3 Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....    | 127 |
| <b>7.17</b> Σεισμική Ακολουθία Σκύρου (2001) .....   | 128 |
| 7.17.1 Χωρική Κατανομή των Μετασεισμών .....         | 129 |
| 7.17.2 Χρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....        | 131 |
| 7.17.3 Χωροχρονική Κατανομή των Μετασεισμών .....    | 136 |

## **Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Συμπεράσματα .....           | 138 |
| Ιστογράμματα Κατανομής ..... | 142 |



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

### Η ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

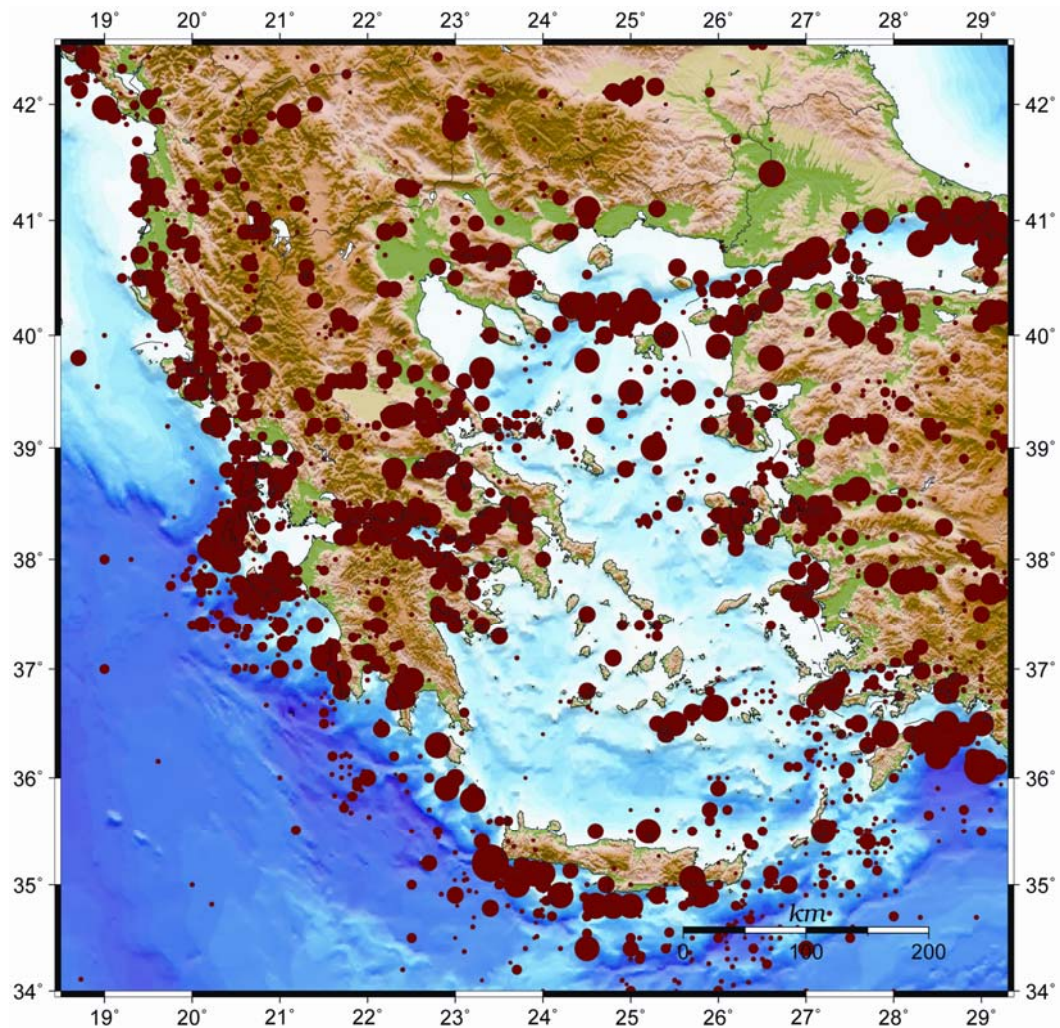
#### 1.1 Εισαγωγή

Η Ελλάδα ανήκει στην Ευρασιατική-Μελανησιακή ζώνη του ηπειρωτικού συστήματος διάρρηξης. Το ελληνικό τόξο (Ιόνια νησιά- Κρήτη-Ρόδος) αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά νησιωτικά τόξα του συστήματος αυτού. Η Ελλάδα δηλαδή βρίσκεται στο όριο σύγκλισης δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο ο ελληνικός χώρος παρουσιάζει πολύ υψηλή ενεργό τεκτονική (σεισμικότητα, ηφαιστειότητα, ορογένεση, παραμόρφωση του φλοιού κ.α.).

Η σεισμικότητα στην Ελλάδα κατανέμεται κατά κύριο λόγο σε δύο ευρείες σεισμικές ζώνες οι οποίες συναντώνται στα Ιόνια νησιά. Η πρώτη ζώνη ακολουθεί τη δυτική και νότια παράκτια περιοχή (Αλβανία – δυτική Ελλάδα – Ιόνια νησιά – νότια της Πελοποννήσου – Κρήτη – Ρόδος) και η δεύτερη έχει βορειοανατολική – νοτιοδυτική διεύθυνση (βόρεια Ανατολία – περιοχή βορείου Αιγαίου – κεντρική Ελλάδα – Ιόνια νησιά). Έτσι δικαιολογείται η υψηλή σεισμική δράση στα Ιόνια νησιά.

Η ενδιαμέσου βάθους σεισμική δραστηριότητα συγκεντρώνεται στο νότιο Αιγαίο και κυρίως στο εσωτερικό κοίλο μέρος του Ελληνικού τόξου. Οι μεγαλύτεροι από τους σεισμούς αυτούς γίνονται σε βάθη 60-100km, δηλαδή στο επιφανειακό τμήμα της ζώνης Benioff όπου πραγματοποιείται επαφή μεταξύ της καταδυόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου και της επιπεύουσας μικροπλάκας του Αιγαίου (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2002). Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρτογραφημένα επίκεντρα των σεισμών με μεγέθη  $M > 5.0$  που έχουν γίνει στον ελληνικό χώρο από το 550 π.Χ. (κατάλογος Τομέα Γεωφυσικής

Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης) που παρουσιάζουν με χαρακτηριστικό τρόπο τις περιοχές της Ελλάδας με ιδιαίτερα αυξημένη σεισμικότητα (Σχήμα 1.1.1).

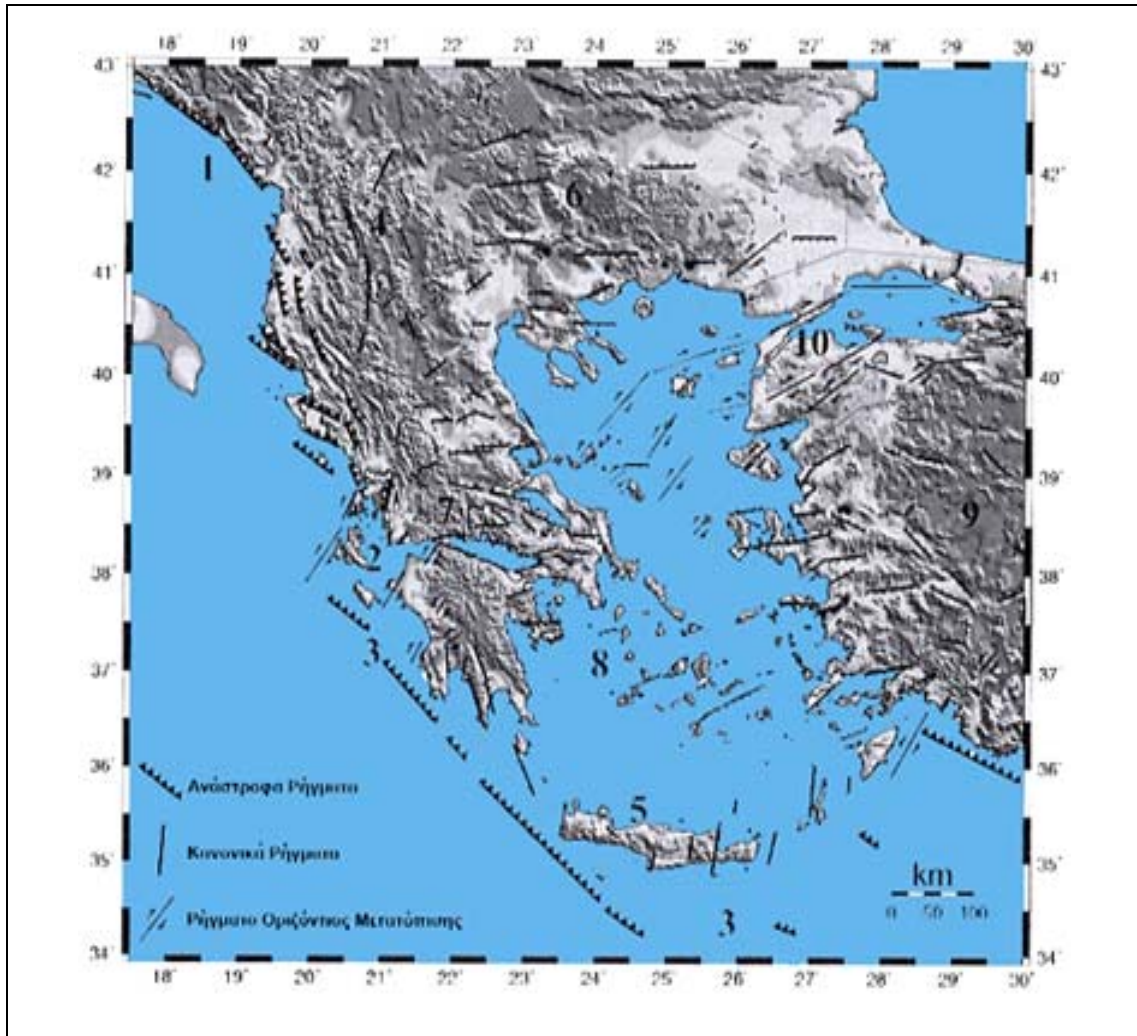


**Σχήμα 1.1.1:**Επίκεντρα των σεισμών με μεγέθη  $M > 5$  που έχουν λάβει χώρα στον ελληνικό χώρο από το 550π.Χ. και παρουσιάζουν τις περιοχές αυξημένης σεισμικότητας. Τα μεγέθη των κύκλων είναι ανάλογα των μεγεθών των κύριων σεισμών ταξινομημένα σε 4 κατηγορίες:  $5.0 < M < 6.0$ ,  $6.0 < M < 7.0$ ,  $7.0 < M < 8.0$ ,  $8.0 < M < 9.0$ .

### 1.2 Κατανομή των σεισμικών ρηγμάτων των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο

Λόγω της πολυπλοκότητας των γεωδυναμικών φαινομένων τα οποία λαμβάνουν χώρα στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου, επικρατούν διαφορετικά είδη διαρρήξεων. Στην ενδοχώρα η οποία αποτελεί οπισθότοξη περιοχή, επικρατεί εφελκυσμός διεύθυνσης B-N με αποτέλεσμα να κυριαρχούν κανονικά ρήγματα με

παράταξη Α-Δ. Μία δεύτερη ζώνη εφελκυσμού, με διεύθυνση του μέγιστου άξονα εφελκυσμού Α-Δ, παράλληλα σχεδόν στις Ελληνίδες έως και την περιοχή της Ρόδου, έχει ως αποτέλεσμα την παρουσία στις περιοχές αυτές κανονικών ρηγμάτων παράταξης σχεδόν Β-Ν. Ανάστροφα ρήγματα παρουσιάζονται σε όλο το μέτωπο της ηπειρωτικής σύγκλισης και της ωκεάνιας κατάδυσης. Κατά μήκος της σύγκλισης της μικροπλάκας της Απουλίας και της μικροπλάκας του Αιγαίου, και κατά μήκος του ελληνικού τόξου (Ζάκυνθος – Κρήτη – Ρόδος) λόγω της βύθισης της ωκεάνιας λιθοσφαιρικής πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου. Οι παρατάξεις των ανάστροφων αυτών ρηγμάτων που παρατηρούνται σε αυτές τις δύο ζώνες είναι σχεδόν ΒΔ-ΝΑ. Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης παρατηρούνται στο Β. Αιγαίο, με κύρια συνεισφορά του εφελκυσμού, και οφείλονται στην προς τα δυτικά συνέχεια του δεξιόστροφου ρήγματος της Β. Ανατολίας στην περιοχή του Αιγαίου. Τα ρήγματα αυτά έχουν παράταξη ΒΔ-ΝΑ. Επίσης ένα πολύ βασικό οριζόντιας μετατόπισης δεξιόστροφο ρήγμα εμφανίζεται στα κεντρικά Ιόνια νησιά (Κεφαλονιά-Λευκάδα) το οποίο βρίσκεται μεταξύ ηπειρωτικής σύγκλισης (Απουλία-Ευρασία) και ωκεάνιας κατάδυσης (Ανατολική Μεσόγειος-Αιγαίο) (Σχήμα 1.2.1).



**Σχήμα 1.2.1:** Τα κύρια ρήγματα των επιφανειακών σεισμών οι οποίοι έλαβαν χώρα από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα (480π.Χ.-2001) στη Ελλάδα και τις γύρω περιοχές (Παπαζάχος και συνεργάτες 2001).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

## ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ

## 2.1 Εισαγωγή

Το σύνολο σχεδόν των μεγάλων επιφανειακών σεισμών ακολουθούνται από μετασεισμούς οι οποίοι αποτελούν τη μετασεισμική ακολουθία. Οι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους δεν ακολουθούνται από μετασεισμούς ή όταν αυτό συμβαίνει τότε πρόκειται για μετασεισμούς μικρών μεγεθών. Τέλος όσον αφορά τους σεισμούς μεγάλου βάθους, μόνο σε λίγες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μετασεισμοί οι οποίοι βεβαίως είχαν πολύ μικρό μέγεθος σε σχέση με τον κύριο σεισμό.

Η διαφορά μεταξύ του μεγέθους,  $M$ , του κύριου σεισμού και του μεγέθους,  $M_1$ , του μεγαλύτερου μετασεισμού του είναι, κατά μέσο όρο, ίση με 1.2 (Παπαζάχος, 1997) (Σχέση 2.1.1). Δηλαδή:

$$M - M_1 = 1.2 \quad (2.1.1)$$

Η συχνότητα,  $n$ , των μετασεισμών, δηλαδή, ο αριθμός των μετασεισμών στη μονάδα του χρόνου (π.χ. σε μια μέρα), ελαττώνεται με το χρόνο,  $t$ , που μετريέται από τη στιγμή γένεσης του κύριου σεισμού σύμφωνα με τον τροποποιημένο νόμο του Omori (1961) (Σχέση 2.1.2):

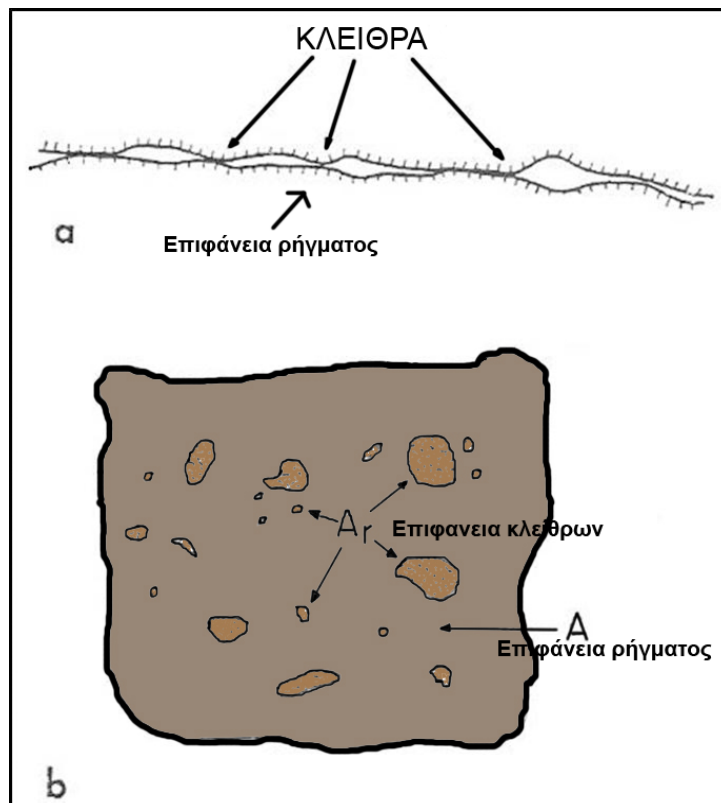
$$n = k (t+c)^{-p} \quad (2.1.2)$$

όπου οι τρεις παράμετροι  $k$ ,  $c$  και  $p$  καθορίζονται γραφικά με βάση τον αριθμό των μετασεισμών σε συνάρτηση με τον χρόνο που έχει περάσει από τον κύριο σεισμό.



Σύμφωνα με μελέτες του Utsu (1969) οι τιμές που παίρνει το  $p$ , που θεωρούνται ότι αντανακλούν γεωφυσικές ιδιότητες, μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή.

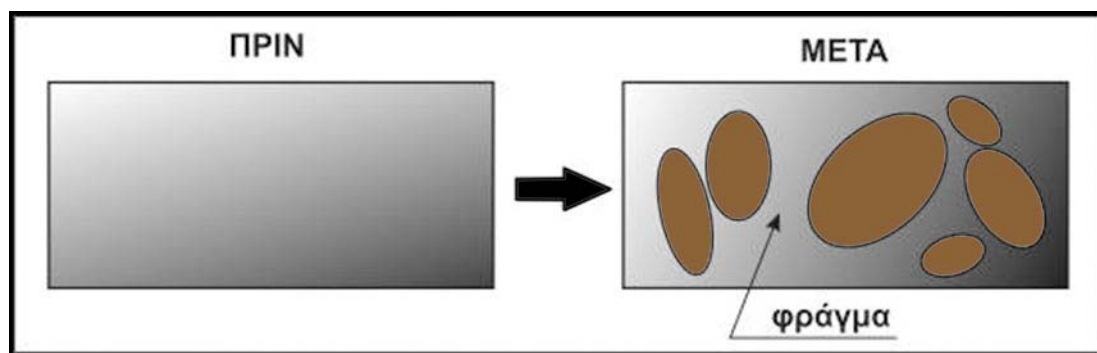
Το μοντέλο του φράγματος είναι ένα μοντέλο το οποίο ερμηνεύει με ικανοποιητικό τρόπο τη γένεση των μετασεισμών. Βασίζεται στην υπόθεση ότι ορισμένα τμήματα του ρήγματος, όπως κάμψεις, φυσικές εξογκώσεις, τμήματα μεγάλης τραχύτητας κ.α., τα οποία τα ονομάζουμε κλείθρα (Σχήμα 2.1.1) παρουσιάζουν ισχυρή αντίσταση στη θραύση τους σε αντίθεση με το υπόλοιπο μέρος του ρήγματος που η διάρρηξη γίνεται σχετικά εύκολα.



**Σχήμα 2.1.1:** Τα κλείθρα στην επιφάνεια του ρήγματος σε τομή (Τομέας Γεωφυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 2004).

Σύμφωνα λοιπόν με το μοντέλο φράγματος που προτάθηκε από τον Aki (1979), υπάρχει μία ομογενής κατανομή των τάσεων σε όλο το επίπεδο του ρήγματος πριν από τη γένεση του κύριου σεισμού. Δηλαδή τόσο στα κλείθρα, που τα ονομάζει

φράγματα, όσο και στα υπόλοιπα μέρη του ρήγματος η συγκέντρωση τάσεων είναι αρχικά η ίδια. Όσο η τάση αυξάνεται και πλησιάζει την αντοχή του ρήγματος στα υπόλοιπα μέρη του τόσο πλησιάζει η γένεση του κύριου σεισμού. Κατά τη γένεση του κύριου σεισμού πραγματοποιείται αρχικά διάρρηξη (ολίσθηση) στα υπόλοιπα μέρη του ρήγματος όπου η αντίσταση θραύσης είναι μικρή και διαδίδεται στη συνέχεια η διάρρηξη αυτή σε όλο το επίπεδο του ρήγματος σπάζοντας ορισμένα από τα ασθενέστερα φράγματα αλλά αφήνοντας πίσω της άθραυστα τα ισχυρότερα από τα φράγματα (Σχήμα 2.1.2).



**Σχήμα 2.1.2:** Τα ισχυρότερα φράγματα που παραμένουν άθραυστα μετά τη διάρρηξη των ασθενέστερων (Τομέας Γεωφυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, 2004).

Δηλαδή, σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, στην αρχή της διαδικασίας γένεσης του σεισμού η πτώση τάσης είναι μικρή γιατί η διάρρηξη πραγματοποιείται σε ομαλές περιοχές του ρήγματος, ενώ στη συνέχεια η πτώση τάσης αυξάνει γιατί οφείλεται στη θραύση των φραγμάτων. Συνέπεια αυτής της διαδικασίας γένεσης του κύριου σεισμού είναι η ανακατανομή των τάσεων. Μετά τη γένεση του κύριου σεισμού μένουν άθραυστα τα κύρια φράγματα με συνέπεια την ανομοιόμορφη κατανομή των τάσεων οι οποίες συγκεντρώνονται κατά κύριο λόγο στις περιοχές των ισχυρών φραγμάτων. Σύμφωνα λοιπόν με το μοντέλο αυτό η γένεση του κύριου σεισμού έχει ως συνέπεια τη σκλήρυνση των τάσεων δηλαδή την αύξηση των τάσεων στις περιοχές των άθραυστων φραγμάτων. Πολλά από τα ασθενέστερα φράγματα τα οποία



μένουν άθραυστα μετά τη γένεση του κύριου σεισμού ολισθαίνουν αργότερα λόγω των τάσεων που έχουν συσσωρευτεί σε αυτά με αποτέλεσμα τη γένεση των μετασεισμών.

Οι σεισμοί τύπου φράγματος λαμβάνουν χώρα σε εξαιρετικώς ανομοιογενή ρήγματα στα οποία υπάρχουν ασθενή φράγματα κατανεμημένα μεταξύ ισχυρών φραγμάτων, τα οποία μένουν συνεχώς άθραυστα. Στην περίπτωση αυτή στο ίδιο ρήγμα γίνονται διάφοροι κύριοι σεισμοί αλλά ο αριθμός των ασθενών φραγμάτων που ολισθαίνουν κάθε φορά είναι διαφορετικός. Δηλαδή, οι διάφοροι κύριοι σεισμοί που προκαλούνται από ένα τέτοιο ρήγμα αντιστοιχούν στο ίδιο μήκος διάρρηξης αλλά η μετάθεση στο ρήγμα μεταβάλλεται από σεισμό σε σεισμό. Στην περίπτωση αυτή αναμένεται έντονη μετασεισμική δράση η οποία διαρκεί επί μεγάλο χρονικό διάστημα.

## 2.2 Μοντέλα ερμηνείας της μετασεισμικής δράσης μίας ακολουθίας

Πολλές προσεγγίσεις έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία σχετικά με την ερμηνεία της βαθμιαίας εξασθένησης των μετασεισμών που έπονται ενός ισχυρού κύριου σεισμού. Αναφορά θα γίνει σε τρία προσφάτως προτεινόμενα μοντέλα.

### 2.2.1 Τροποποιημένο Μοντέλο Omori (Modified Omori Formula) (MOF)

Αποτελούσε το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο που αρχικά ονομαζόταν Νόμος του Omori (Omori Law) (Omori, 1894). Σύμφωνα με τον νόμο του Omori ο αριθμός των μετασεισμών στη μονάδα του χρόνου ελαττωνόταν υπερβολικά με βάση τη σχέση 2.2.1:

$$\lambda(t) = K / (t + c) \quad (2.2.1)$$

όπου  $t$  είναι ο χρόνος που πέρασε από τον κύριο σεισμό. Στη συνέχεια το μοντέλο αυτό μετασχηματίστηκε από τον Utsu (Utsu et al, 1969) και πήρε την ονομασία Modified Omori Formula (MOF). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο όλοι οι σεισμοί μίας μετασεισμικής ακολουθίας που προκαλούνται από μεταβολές του πεδίου των τάσεων εξαιτίας του κύριου σεισμού, είναι υπό όρους ανεξάρτητοι και ακολουθούν μία ασταθή κατανομή Poisson. Επομένως σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ένας κύριος σεισμός είναι αυτό που προκαλεί όλα τα επακόλουθα, δηλαδή ο κύριος σεισμός είναι αυτό το γεγονός στον οποίο οφείλονται όλοι οι μετασεισμοί.

Σύμφωνα με το MOF η ελάττωση της συχνότητας των μετασεισμών στη μονάδα του χρόνου δίνεται από τη σχέση 2.1.2, όπου  $t$  είναι ο χρόνος που πέρασε από τον κύριο σεισμό,  $k$  είναι μία παράμετρος σχετιζόμενη με το μέγεθος του κύριου σεισμού και του μεγέθους  $M_0$  πληρότητας των δεδομένων,  $p$  είναι ένας συντελεστής εξασθένησης και  $c$  είναι μία σταθερά.

### 2.2.2 Μοντέλο ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence)

Με σκοπό να επεκτείνει την πιθανότητα της γένεσης «απογόνων-μετασεισμών» λόγω όλων των σεισμών της ακολουθίας ο Ogata (1988) πρότεινε το μοντέλο Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS). Το μοντέλο αυτό ερμηνεύει τη πρόκληση όχι μόνο μετασεισμών αλλά και προσεισμών και κύριων σεισμών. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό το μοντέλο και σε ότι αφορά τους μετασεισμούς, κάθε κύριος σεισμός, μεγέθους  $M$ , προκαλεί τους δικούς του πρωτογενείς μετασεισμούς με έναν ρυθμό που ελαττώνεται με το χρόνο σύμφωνα με το νόμο του Omori και που αυξάνει ανάλογα με το μέγεθος του κύριου σεισμού. Στη συνέχεια κάθε πρωτογενής μετασεισμός προκαλεί τους δικούς του μετασεισμούς που ονομάζονται δευτερογενείς. Ουσιαστικά γίνεται αναφορά σε αυτό το μοντέλο σε πρωτογενείς και

δευτερογενείς μετασεισμούς. Οι πρωτογενείς προέρχονται από τον κύριο σεισμό ενώ οι δευτερογενείς προκαλούνται από τους πρωτογενείς μετασεισμούς. Η κατανομή των αποστάσεων μεταξύ των σεισμών που προκλήθηκαν από άλλους και των σεισμών που προκάλεσαν άλλους σεισμούς θεωρείται σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ανεξάρτητη του χρόνου. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο οι Helmstetter και Sornette (Helmstetter, Ouillon and Sornette, 2003) έδειξαν ότι κάτω από κατάλληλες συνθήκες η ακτίνα χωρικής κατανομής των μετασεισμών μπορεί να αυξηθεί ως συνάρτηση του χρόνου που πέρασε από τον κύριο σεισμό. Σύμφωνα με την ανάλυση του μοντέλου αυτού και πάλι από τους ίδιους επιστήμονες βρέθηκε ότι διασπορά των μετασεισμών παρατηρείται μόνο στην περίπτωση που ο συντελεστής « $p$ » είναι μικρότερος της μονάδας και ότι ο συντελεστής της διασποράς αυτής μειώνεται με τον  $p$ . Επιπρόσθετα, το μοντέλο αυτό προβλέπει μία μείωση του συντελεστή  $p$  με την απόσταση από τον κύριο σεισμό.

Η βασική λοιπόν διαφορά που υπάρχει μεταξύ των δύο προαναφερθέντων μοντέλων είναι ότι ενώ στο MOF η εξάπλωση των μετασεισμών προέρχεται από την επίδραση του κύριου σεισμού αποκλειστικά, στο ETAS η εξάπλωση αυτή προέρχεται από τους δευτερογενείς μετασεισμούς.

### 2.2.3 Μοντέλο RETAS (Restricted Epidemic Type Aftershock Sequence)

Το μοντέλο αυτό παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τους Gospodinov και Rotondi (2006). Παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με το μοντέλο ETAS με τον περιορισμό ότι μόνο οι μετασεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο ενός μεγέθους το οποίο θεωρείται ως αφετηρία, μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενείς μετασεισμούς. Για το λόγο αυτό το μοντέλο ονομάστηκε RETAS (Restricted ETAS). Μεταβάλλοντας το ελάχιστο μέγεθος για το σεισμό που προκαλεί τα δευτερογενή

γεγονότα εξετάζονται οι παρεκκλίσεις του μοντέλου RETAS που κυμαίνεται τότε μεταξύ του MOF και του ETAS έχοντας αυτά τα μοντέλα ως ακραίες περιπτώσεις.

Γενικά το μοντέλο RETAS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντελοποίηση μελλοντικής σεισμικότητας σε μία περιοχή και για μοντελοποίηση σύνθετων σεισμικών ακολουθιών σε μία περιοχή με πολύπλοκη τεκτονική δομή και με έντονα τεκτονισμένο φλοιό. Όπως για όλα τα μοντέλα έτσι και για το συγκεκριμένο πρέπει να τονιστεί ότι η εγκυρότητα και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο ποσοστό από την ποιότητα και την ποσότητα των διαθέσιμων δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η καλή γνώση των κριτηρίων στα οποία υπακούει η χωρική κατανομή των μετασεισμών, αμέσως μετά τη γένεση ενός κύριου σεισμού, μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να φανεί χρήσιμη στην πρόγνωση καταστρεπτικών μετασεισμών και την αποφυγή επομένως μεγάλων καταστροφών. Υπάρχουν σήμερα αρκετές επιστημονικές πληροφορίες για τους μετασεισμούς, έτσι ώστε να μπορούμε να προβλέψουμε με σημαντική πιθανότητα την εξέλιξη μίας μετασεισμικής ακολουθίας και με τον τρόπο αυτό να επισημάνουμε τις περιοχές που μπορεί να υπάρξει κάποιος μεγάλος μετασεισμός προετοιμάζοντας έτσι καλύτερα την αντιμετώπισή του.

Οι εστίες των μετασεισμών βρίσκονται πάνω ή κοντά στο ενεργό μέρος του σεισμικού ρήγματος. Συνήθως οι περισσότεροι μετασεισμοί γίνονται κοντά στα δύο άκρα του ρήγματος. Ειδικότερα θα πρέπει να τονιστεί ότι όταν η εστία του κύριου σεισμού βρίσκεται στο ένα άκρο του ρήγματος, η μετασεισμική δράση επεκτείνεται, αμέσως μετά τη γένεση του κύριου σεισμού, προς το άλλο άκρο του ρήγματος, όπου γίνεται και ο μέγιστος μετασεισμός (μονοκατευθυντική διάρρηξη). Όταν ο κύριος σεισμός έχει την εστία του κοντά στο μέσο του ρήγματος, η μετασεισμική δράση επεκτείνεται και προς τα δύο άκρα του ρήγματος κοντά στο ένα από τα οποία γίνεται ο μέγιστος μετασεισμός (δικατευθυντική διάρρηξη). Έτσι με την συνεχή παρακολούθηση της μετασεισμικής ακολουθίας μπορεί να καθοριστούν τα δύο άκρα του ρήγματος, πριν από τη γένεση του μέγιστου μετασεισμού και έτσι μπορεί να προβλεφτεί η εστία του όπως προαναφέρθηκε.

Οι διαστάσεις του μετασεισμικού χώρου, δηλαδή, του χώρου όπου βρίσκονται οι σεισμικές εστίες των μετασεισμών ενός κυρίου σεισμού, εξαρτώνται από το

μέγεθος του κύριου σεισμού. Ο χώρος αυτός βρίσκεται κάτω από την επίδραση των τάσεων οι οποίες ελαττώνονται κατά τη γένεση του κύριου σεισμού και των μετασεισμών.

### 3.2 Τάσεις Coulomb

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που θα έπρεπε να τονιστεί στο κεφάλαιο της χωρικής κατανομής των μετασεισμών είναι η επίδραση που έχει σε αυτήν την κατανομή, η μεταβολή των τάσεων Coulomb στην περιοχή μετά την δημιουργία του κύριου σεισμού. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η κατανομή των μεταβολών των τάσεων στο χώρο, μετά από τον κύριο σεισμό, ώστε μέσω αυτού να καθορισθούν οι θέσεις που θα γίνουν οι μετασεισμοί καθώς και η γενικότερη εξέλιξη της σεισμικής διάρρηξης.

Οι μετασεισμοί συμβαίνουν όταν η τάση Coulomb υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή που δίνεται από τη σχέση 3.2.1:

$$CFS = \tau_s - \mu (\sigma_n - p) \quad (3.2.1)$$

όπου  $\tau_s$  είναι η διατμητική τάση,  $\mu$  είναι ο συντελεστής τριβής, που τυπικά παίρνει τιμές  $0.6 < \mu < 0.8$  σε πειράματα στο εργαστήριο,  $\sigma_n$  είναι η κάθετη τάση και  $p$  είναι η πίεση των ρευστών των πόρων. Η μεταβολή της τάσης Coulomb ( $\Delta CFS$ ) καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ των τάσεων Coulomb μετά και πριν από ένα συγκεκριμένο γεγονός όπως ένας σεισμός. Η  $\Delta CFS$  για συγκεκριμένο επίπεδο ρήγματος δίνεται από τη σχέση 3.2.2:

$$\Delta CFS = \Delta \tau_s - \mu (\Delta \sigma_n - \Delta p) \quad (3.2.2)$$



όπου  $\Delta\tau_s$  είναι η μεταβολή της διατμητικής τάσης στη διεύθυνση ολίσθησης,  $\Delta\sigma_n$  και  $\Delta p$  στην κάθετη τάση και την πίεση των ρευστών των πόρων των πετρωμάτων. αντίστοιχα. Θετική  $\Delta CFS$  δείχνει ότι ο πρώτος σεισμός επισπεύδει το χρόνο γένεσης του επόμενου σεισμού, ενώ αρνητική  $\Delta CFS$  δείχνει ότι ο πρώτος σεισμός επιβραδύνει τη γένεση του επόμενου. Όταν λοιπόν γίνεται ένας σεισμός, για να αποκτήσουμε μία εικόνα της χωρικής κατανομής των θετικών και αρνητικών τιμών της τάσης Coulomb, υπολογίζονται οι τιμές της τάσης Coulomb στους κόμβους ενός κανάβου ο οποίος θεωρείται ότι καλύπτει μία ευρεία γεωγραφική περιοχή γύρω από τη εστία του σεισμού και στη συνέχεια χαρτογραφούνται οι τιμές αυτές στις γεωγραφικές συντεταγμένες του αντίστοιχου κόμβου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να καθοριστούν οι περιοχές με τη θετική μεταβολή της τάσης Coulomb και επομένως σε αυτές τις περιοχές αναμένεται και η γένεση των μετασεισμών.

Ο υπολογισμός των μεταβολών της τάσης Coulomb γύρω από ένα ρήγμα ενός ισχυρού σεισμού μπορεί να συμβάλει στην άμεση εκτίμηση της περιοχής όπου αναμένονται ισχυροί μετασεισμοί. Οι Papadimitriou et al (2001a) μελέτησαν τη χωρική μεταβολή των τάσεων Coulomb μετά τη γένεση του σεισμού της Νικομήδειας το 1999 και βρήκαν ότι οι υψηλές θετικές τιμές της  $\Delta CFS$  στα ανατολικά και δυτικά του επικέντρου του κύριου σεισμού είναι σε αντιστοιχία με την αντίληψη ότι από τη γένεση του κυρίου σεισμού προήλθε η ενεργοποίηση δευτερευόντων ρηγμάτων.

### 3.2.1 Επίδραση των ρευστών των πόρων στη μεταβολή των τάσεων Coulomb

Όπως αναφέρθηκε ένας από τους παράγοντες που συμβάλουν στη μεταβολή της τάσης Coulomb είναι και η συμπεριφορά των ρευστών που βρίσκονται στους πόρους των πετρωμάτων. Έχει ανακαλυφθεί ότι, έμμεσα, η χωρική κατανομή των μετασεισμών σε ένα ποσοστό εξαρτάται από την αύξηση της πίεσης των ρευστών

εξαιτίας της ροής αυτών στους πόρους των πετρωμάτων (Bosl and Nur, 2002). Το παραπάνω συμπέρασμα προήλθε από μελέτη που έγινε μετά το σεισμό Landers το 1992 όπου εξετάστηκε η σχέση μετασεισμών και διάχυσης των ρευστών των πόρων των πετρωμάτων της περιοχής. Οι συχνότητες των τοπικών μετασεισμών που υπολογίστηκαν ενσωματώνοντας την ελάττωση των ποσοστών πίεσης των πόρων συμφωνούν αρκετά καλά με τα δεδομένα των μετασεισμών. Υπολογισμοί φανερώνουν ότι περιοχές αύξησης της ποροελαστικής τάσης Coulomb επικαλύπτονται σε αρκετά μεγάλο ποσοστό με περιοχές θετικής σεισμικής τάσεως Coulomb. Έτσι η ροή των ρευστών των πόρων που επηρεάζει την πίεση των πόρων εντός του ρήγματος και προκαλεί την εξέλιξη της τοπικής ποροελαστικής τάσης που ακολουθεί τους σεισμούς, βαθμιαία αναπτύσσει τις αρχικές σεισμικές μεταβολές των τάσεων. Μαζί αυτές οι μεταβολές παρέχουν έναν φυσικό μηχανισμό που μπορεί να προκαλέσει τους μετασεισμούς που συμφωνεί με τα δεδομένα για το σεισμό του Landers το 1992.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

## ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΩΝ

## 4.1 Εισαγωγή

Η χρονική κατανομή των μετασεισμών μίας σεισμικής ακολουθίας έχει απασχολήσει πολλές επιστημονικές μελέτες αφού η γνώση αυτής θα αποτελούσε ένα σημαντικό στοιχείο τόσο για την τυχόν πρόγνωση του χρόνου γένεσης ενός μεγάλου μετασεισμού όσο και για τη μελέτη της γενικότερης εξέλιξης της ακολουθίας.

Η διάρκεια μίας μετασεισμικής ακολουθίας και ο ολικός αριθμός των μετασεισμών ενός επιφανειακού σεισμού εξαρτώνται από το μέγεθος του κύριου σεισμού και από τις φυσικές ιδιότητες του σεισμογόνου χώρου. Έτσι λοιπόν για διάφορες περιοχές της Γης έχουν βρεθεί κάποιες σχέσεις οι οποίες δείχνουν αυτήν την εξάρτηση χρόνου και μεγέθους και ισχύουν αποκλειστικά για αυτές τις περιοχές. Για τον ελληνικό χώρο π.χ. η μέση ολική διάρκεια μίας μετασεισμικής ακολουθίας δίνεται από τη σχέση 4.1.1:

$$\log T_{\text{tot}} = -2.08 + 0.66M \quad (4.1.1)$$

όπου  $T_{\text{tot}}$  η μέση ολική διάρκεια της μετασεισμικής ακολουθίας και  $M$  το μέγεθος του κύριου σεισμού.

Η συχνότητα  $n$  των μετασεισμών δηλαδή ο αριθμός των μετασεισμών στη μονάδα του χρόνου ελαττώνεται με το χρόνο, που μετريέται από τη στιγμή της γένεσης του κύριου σεισμού σύμφωνα με τη σχέση 4.1.2:

$$n = n_1 t^{-p} \quad (4.1.2)$$

όπου  $n_1$  είναι η συχνότητα των μετασεισμών μία χρονική μονάδα μετά τον κύριο σεισμό και  $p$  παράμετρος που εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού π.χ. από το ιξώδες στον εστιακό χώρο. Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι συνήθως ίση με τη μονάδα αλλά έχουν βρεθεί και τιμές μεταξύ 0.7 και 2.

#### 4.2 Περίοδος σχετικής ηρεμίας πριν από μεγάλους μετασεισμούς

Έχει βρεθεί, ύστερα από πολλές μελέτες μετασεισμικών ακολουθιών και αναφέρεται συχνά στη σχετική βιβλιογραφία, ότι πριν από έναν ισχυρό μετασεισμό, σε ολόκληρη τη μετασεισμική περιοχή του κύριου σεισμού, επικρατεί μία σχετική ηρεμία. Ο αριθμός δηλαδή των μετασεισμών στη μονάδα του χρόνου εκείνη τη χρονική περίοδο μειώνεται αισθητά. Η περίοδος αυτή της σχετικής ηρεμίας μπορεί να διαρκέσει αρκετές μέρες και φτάνει μέχρι τη γένεση του ισχυρού μετασεισμού. Αμέσως πριν από τη γένεση του ισχυρού μετασεισμού η περίοδος αυτή της σχετικής ηρεμίας παύει, η μετασεισμική δραστηριότητα φτάνει και πάλι στα κανονικά της επίπεδα ή και σε ορισμένες περιπτώσεις αυξάνει πάνω από αυτά.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι αυτή η σχετική ηρεμία έχει παρατηρηθεί σε σεισμικές ακολουθίες οι οποίες συνέβησαν σε διαφορετικές σεισμοτεκτονικές περιοχές με διαφορετικές γεωλογικές και γεωφυσικές ιδιότητες. Η σχετική αυτή ηρεμία που προηγείται μεγάλων μετασεισμών μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα αν παραστήσουμε τον αθροιστικό αριθμό των μετασεισμών μίας μετασεισμικής ακολουθίας σε συνάρτηση με το χρόνο στην ανάλογη βέβαια χρονική κλίμακα όπως θα δούμε και στη συνέχεια. Όπως γίνεται αντιληπτό η σημασία του εντοπισμού μίας τέτοιας περιόδου σχετικής ηρεμίας, που μπορεί να γίνει με συνεχή παρακολούθηση των δεδομένων της μετασεισμικής δραστηριότητας, είναι πολύ μεγάλη αφού μας δίνει τη δυνατότητα να προβλέψουμε τυχόν μεγάλους μετασεισμούς.

Υπάρχουν βέβαια και κάποιες απόψεις σύμφωνα με τις οποίες η σχετική αυτή ηρεμία δεν είναι τίποτα άλλο παρά μία απλή συνέπεια της ελαττούμενης δραστηριότητας των μετασεισμών από τον τελευταίο μεγάλο σεισμό οι οποίες όμως δεν επαληθεύονται από τα δεδομένα.

### 4.3 Ελάττωση της συχνότητας των μετασεισμών σε σχέση με τον χρόνο

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο αριθμός των μετασεισμών ελαττώνεται σε σχέση με τον χρόνο σύμφωνα με την σχέση 4.1.2. Ειδικότερα για την Ελλάδα έχει βρεθεί ότι η τιμή της παραμέτρου  $p$  είναι 1.13. Δηλαδή ο αριθμός των μετασεισμών  $n$  κατά την  $t$  ημέρα μετά τον κύριο σεισμό δίνεται από τη σχέση (4.3.2):

$$\log n = \log n_1 - 1.13 \log t \quad (4.3.2)$$

Από αυτή προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια της δεύτερης μέρας, της έβδομης μέρας, της τριακοστής μέρας και της εκατοστής μέρας ο αριθμός των μετασεισμών είναι 46%, 11%, 2% και 0.5% αντίστοιχα των σεισμών που γίνονται κατά την πρώτη μέρα (Papazachos, 1974b). Βγαίνει λοιπόν το συμπέρασμα ότι μετά από χρονικό διάστημα 2-3 ημερών από τον κύριο σεισμό η συχνότητα γένεσης των μετασεισμών παρουσιάζει μία ύφεση. Πρόκειται ουσιαστικά για μία περίοδο σχετικής ηρεμίας που προκύπτει σε σχέση πάντα με την περίοδο πολύ υψηλής σεισμικότητας που έχει προηγηθεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

### ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

#### 5.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί η Ελλάδα βρίσκεται στο όριο σύγκλισης μεταξύ της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας. Ως αποτέλεσμα αυτού του πολύ πολύπλοκου σεισμοτεκτονικού συστήματος της περιοχής, μεγάλος αριθμός σεισμών γίνεται καθημερινά. Οι επιφανειακοί σεισμοί συνήθως ακολουθούνται από μετασεισμικές ακολουθίες. Πολύ βασικό τμήμα της μελέτης αυτών των ακολουθιών είναι ο υπολογισμός των σχέσεων που προκύπτουν μεταξύ της διάρκειας της ακολουθίας, του αριθμού των μετασεισμών, του μεγέθους του μεγαλύτερου μετασεισμού, του χρόνου γένεσης αυτού από τον κύριο σεισμό καθώς και το μήκος της διάρρηξης σε σχέση με το μέγεθος του κύριου σεισμού. Τα αποτελέσματα δείχνουν μία γραμμικότητα μεταξύ του μήκους της διάρρηξης και του μεγέθους του κύριου σεισμού ανεξάρτητα από το είδος της ολίσθησης καθώς επίσης και μεταξύ του μεγέθους του κύριου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού της ακολουθίας. Η μέση διαφορά μεταξύ των δύο μεγεθών είναι περίπου μία μονάδα. Στο 40% περίπου των μετασεισμικών ακολουθιών ο μεγαλύτερος μετασεισμός συμβαίνει την πρώτη ημέρα μετά τον κύριο σεισμό. Τέλος είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί το γεγονός ότι οι μετασεισμικές ακολουθίες που συμβαίνουν στην ίδια περιοχή, παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά. Αυτό αποδεικνύει ότι τα χαρακτηριστικά της χωρικής και χρονικής κατανομής των μετασεισμών των ακολουθιών αυτών συνδέονται στενά με την κατανομή των τάσεων στην περιοχή διάρρηξης.

## 5.2 Σχέσεις μεταξύ των κυριότερων παραμέτρων των μετασεισμικών ακολουθιών στον ελληνικό χώρο

Για τις μετασεισμικές ακολουθίες στον ελληνικό χώρο έχουν υπολογιστεί ορισμένες χαρακτηριστικές σχέσεις που συσχετίζουν τις κυριότερες παραμέτρους αυτών των ακολουθιών όπως είναι ο αριθμός των μετασεισμών, η διάρκεια της ακολουθίας, το μήκος της διάρρηξης, το είδος της ολίσθησης, το μέγεθος του ισχυρότερου μετασεισμού το χρόνο στον οποίο ο τελευταίος συνέβη μετά τον κύριο σεισμό (Δρακάτος, 1999; Λατουσάκης, 1999) (Karakaisis, 1984).

### 5.2.1 Σχέση μεταξύ του αριθμού των μετασεισμών και του μεγέθους του κύριου σεισμού:

Η σχέση μεταξύ του αριθμού των μετασεισμών και του μεγέθους του κύριου σεισμού δίνεται από τη σχέση 5.2.1 (Δρακάτος, 1999; Λατουσάκης, 1999):

$$\text{Log}(N) = 0.9M - 3.4 \quad (5.2.1)$$

όπου  $N$  είναι ο αριθμός των μετασεισμών και  $M$  το μέγεθος του κύριου σεισμού.

### 5.2.2 Σχέση μεταξύ της διάρκειας της μετασεισμικής ακολουθίας και του μεγέθους του κύριου σεισμού:

Η σχέση μεταξύ της διάρκειας της μετασεισμικής ακολουθίας και του μεγέθους του κύριου σεισμού δίνεται από τον τύπο 5.2.2 (Δρακάτος, 1999; Λατουσάκης, 1999):

$$\text{Log}(T) = 0.51M - 1.15 \quad (5.2.2)$$

όπου  $T$  είναι η διάρκεια σε ημέρες.



### 5.2.3 Σχέση μεταξύ του μήκους της διάρρηξης και του μεγέθους του κύριου σεισμού:

Η σχέση μεταξύ του μήκους της διάρρηξης και του μεγέθους του κύριου σεισμού δίνεται από τη σχέση 5.2.3 (Karakaisis, 1984)):

$$\text{Log}(L) = -2.22 + 0.57M \quad (5.2.3)$$

όπου  $L$  είναι το μήκος της διάρρηξης. Το μήκος της διάρρηξης καθορίζεται με βάση το μέγεθος της περιοχής εξάπλωσης των μετασεισμών.

### 5.2.4 Σχέση μεταξύ του μεγέθους του μεγαλύτερου μετασεισμού και του μεγέθους του κύριου σεισμού:

Η σχέση μεταξύ του μεγέθους του μεγαλύτερου μετασεισμού και του μεγέθους του κύριου σεισμού δίνεται από τη σχέση 5.2.4 (Δρακάτος, 1999; Λατουσάκης, 1999)

$$M_a = 0.99M - 0.80 \quad (5.2.4)$$

όπου  $M_a$  είναι το μέγεθος του μεγαλύτερου μετασεισμού. Η διαφορά όπως ειπώθηκε και παραπάνω είναι συνήθως περίπου μία μονάδα.

Παρόμοιες σχέσεις με τις παραπάνω έχουν προταθεί και από άλλους επιστήμονες όπως από τον Παπαζάχο (1989).

### 5.3 Η επίδραση των σεισμοτεκτονικών ιδιοτήτων μίας περιοχής στα χαρακτηριστικά της χωρικής και χρονικής κατανομής των μετασεισμικών ακολουθιών

Ο αριθμός των μετασεισμών καθώς επίσης και η διάρκεια των μετασεισμικών ακολουθιών εξαρτώνται από τη φύση του ρήγματος, το εστιακό βάθος και την κατανομή των τάσεων στο ρήγμα. Έτσι μπορούμε να χωρίσουμε τον ελληνικό χώρο σε τέσσερις ζώνες σε κάθε μία από τις οποίες τα χαρακτηριστικά των ακολουθιών είναι ίδια μεταξύ τους και διαφέρουν από ζώνη σε ζώνη. Η πρώτη ζώνη περιλαμβάνει την περιοχή των Ιόνιων νησιών. Η δεύτερη ζώνη περιλαμβάνει τις περιοχές κατά μήκος της ελληνικής τάφρου, στο νοτιοανατολικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου. Η τρίτη ζώνη περιλαμβάνει την ελληνική ενδοχώρα και τέλος η τέταρτη ζώνη αποτελείται από τις περιοχές του εσωτερικού τμήματος της ελληνικής τάφρου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

## ΜΕΘΟΔΟΣ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ

## 6.1 Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής των σεισμών των μετασεισμικών ακολουθιών που έλαβαν χώρα στον ευρύτερο ελληνικό χώρο κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες (από το 1978 έως και σήμερα). Για το λόγο αυτό συγκεντρώθηκαν πληροφορίες για όλες τις σεισμικές ακολουθίες των οποίων ο κύριος σεισμός είχε μέγεθος  $M > 5.9$ . Τα δεδομένα λήφθηκαν από τον κατάλογο σεισμών που έχει εκπονηθεί στον Τομέα Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Papazachos et al. 2006). Για τη μελέτη της χωρικής κατανομής των μετασεισμικών ακολουθιών χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο το πρόγραμμα **GMT (Generic Mapping Tools)** (Wessel and Smith, 2002) ενώ για τη μελέτη της χρονικής κατανομής αυτών, το πρόγραμμα **ZMAP** (Wiemer and Zuniga, 1994).

## 6.2 Η χωρική κατανομή των μετασεισμών

Για να μελετηθεί η χωρική κατανομή των μετασεισμών κάθε μίας ακολουθίας είναι απαραίτητη η λήψη δεδομένων σεισμών οι οποίοι έγιναν χρονικά και χωρικά κοντά στον κύριο σεισμό. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **H/Y** με το οποίο επιλέγονται δεδομένα τα οποία αφορούν μία συγκεκριμένη περιοχή και ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι για κάθε μία ακολουθία αφού ήταν γνωστό το επίκεντρο του κύριου σεισμού οριζόταν η περιοχή μελέτης με δύο μοίρες εύρος. Δηλαδή αν π.χ. το επίκεντρο του κύριου σεισμού ήταν  $39.27^{\circ}$ - $22.93^{\circ}$  τότε η περιοχή που επιλεγόταν ήταν αυτή που ορίζονταν από τις συντεταγμένες  $38.27^{\circ}$  - $40.27^{\circ}$  και  $21.93^{\circ}$  - $23.93^{\circ}$ . Όσον αφορά το χρονικό διάστημα επιλέχθηκε μία περίοδος τριών

χρόνων μετά τον κύριο σεισμό έτσι ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά της σεισμικής δραστηριότητας για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα μετά τη γένεση του κύριου σεισμού. Με το ίδιο πρόγραμμα ορίστηκε και το κατώτατο μέγεθος σεισμών που λαμβάνονται στο δείγμα δεδομένων, ίσο με  $M=3.0$ . Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν αρχεία για κάθε ακολουθία ξεχωριστά. Τα αρχεία αυτά λειτούργησαν ως βάσεις δεδομένων για το πρόγραμμα **GMT** με το οποίο χαρτογραφούνται τα δεδομένα σε χάρτη της κάθε περιοχής. Στο GMT τα σεισμικά επίκεντρα χαρτογραφήθηκαν αφού πρώτα ταξινομήθηκαν ανάλογα με το μέγεθός τους, από το μέγεθος  $M$  πληρότητας των δεδομένων κάθε ακολουθίας μέχρι και το μεγαλύτερο σεισμό, για κάθε μία σεισμική ακολουθία ξεχωριστά. Έτσι έγινε δυνατή η παρατήρηση της χωρικής εξέλιξης της σεισμικότητας, ο σχηματισμός κάποιων ομάδων μετασεισμών σε συγκεκριμένες περιοχές, η εύρεση ασεισμικών ζωνών, ο χώρος γένεσης των μεγαλύτερων μετασεισμών.

### 6.3 Η χρονική κατανομή των μετασεισμών

Για να μελετηθεί η χρονική κατανομή των μετασεισμών κάθε ακολουθίας μέσω του προγράμματος ZMAP, χρησιμοποιήθηκαν και πάλι τα αρχεία-βάσεις δεδομένων που δημιουργήθηκαν προηγουμένως με τη διαφορά ότι αυτά θα έπρεπε να έχουν διαφορετική μορφοποίηση. Μετά την κατάλληλη μορφοποίηση, εισάγονται στο **ZMAP** και εξάγονται πληροφορίες σχετικές τόσο με τη χωρική αλλά κυρίως με τη χρονική κατανομή των μετασεισμών κάθε ακολουθίας. Για τη μελέτη της χρονικής κατανομής θα έπρεπε να χαρτογραφηθεί ο αθροιστικός αριθμός των μετασεισμών κάθε ακολουθίας σε σχέση με το χρόνο από τον κύριο σεισμό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο χρόνος αυτός έφτανε μέχρι τα τρία χρόνια από τον κύριο σεισμό ενώ οι

μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μεγέθη  $M > M$  πληρότητας των δεδομένων κάθε ακολουθίας.

Απώτερος σκοπός της μελέτης της χρονικής κατανομής κάθε ακολουθίας ήταν να βρεθούν τρία χαρακτηριστικά:

1. Ο χρόνος στον οποίο η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται μετά τον κύριο σεισμό και ο χρόνος στον οποίο αγγίζει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της κάθε περιοχής.
2. Η σχετική ηρεμία που παρατηρείται αμέσως πριν τη γένεση ενός ισχυρού μετασεισμού.
3. Η σχετική ηρεμία που παρατηρείται εντός δύο-τριών ημερών από τον κύριο σεισμό.

Για να μελετηθεί το πρώτο χρησιμοποιήθηκε κυρίως το σύνολο των δεδομένων κάθε ακολουθίας για χρονικό διάστημα τριών χρόνων. Κατά τη χαρτογράφηση του αθροιστικού αριθμού των μετασεισμών σε σχέση με το χρονικό διάστημα των τριών χρόνων ενώ αρχικά φαίνεται μία απότομη άνοδος της καμπύλης, στη συνέχεια παρατηρείται ένα σημείο καμπής που αναδεικνύει την ομαλοποίηση της ακολουθίας. Όταν η καμπύλη μετά από κάποιο διάστημα γίνει σχεδόν παράλληλη με τον άξονα των τετμημένων (χρόνος) αποτελεί ένδειξη ότι η σεισμικότητα αγγίζει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής.

Για την παρατήρηση του φαινομένου της σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν τη γένεση κάποιου ισχυρού μετασεισμού είναι αναγκαίο η κλίμακα του χρόνου σε εκείνη τη χρονική περίοδο να είναι λεπτομερέστερη ώστε να είναι δυνατόν να παρατηρηθεί μία χαρακτηριστική κλίση της καμπύλης, το σημείο καμπής, η οποία φτάνει να είναι σε κάποιες περιπτώσεις μέχρι και οριζόντια. Αυτό το φαινόμενο διαρκεί μέχρι το χρόνο γένεσης του ισχυρού μετασεισμού οπότε και η καμπύλη

παρουσιάζει και πάλι μία σημαντική άνοδο της συχνότητας γένεσης των μετασεισμών.

Με σκοπό να γίνει δυνατή η παρατήρηση της περιόδου της σχετικής ηρεμίας μόλις 2-3 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό είναι αναγκαίο να μελετηθούν οι μεταβολές της κλίσης που παρουσιάζει η καμπύλη για χρονικό διάστημα κατά μέσο όρο περίπου 10 ημερών από τον κύριο σεισμό, δηλαδή, να ανοιχθεί η κλίμακα του χρόνου για αυτό το μικρό χρονικό διάστημα.

Μέσω της μελέτης της χρονικής κατανομής των μετασεισμών κάθε ακολουθίας έγινε δυνατή και η διάκριση ορισμένων ακολουθιών που χωρίζονταν σε δύο υποακολουθίες και μελετήθηκαν και αυτές κάθε μία ξεχωριστά με τον ίδιο τρόπο όπως και οι ενιαίες ακολουθίες βγάζοντας συμπεράσματα για κάθε μία για τη χωρική και χρονική κατανομή τους.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι για ορισμένες ακολουθίες τα δεδομένα, ιδιαίτερα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ήταν πολύ περιορισμένα δίνοντας έτσι λανθασμένα αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό οι συγκεκριμένες ακολουθίες μελετήθηκαν για το χρονικό διάστημα που τα δεδομένα ήταν επαρκή.

#### 6.4 Η χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

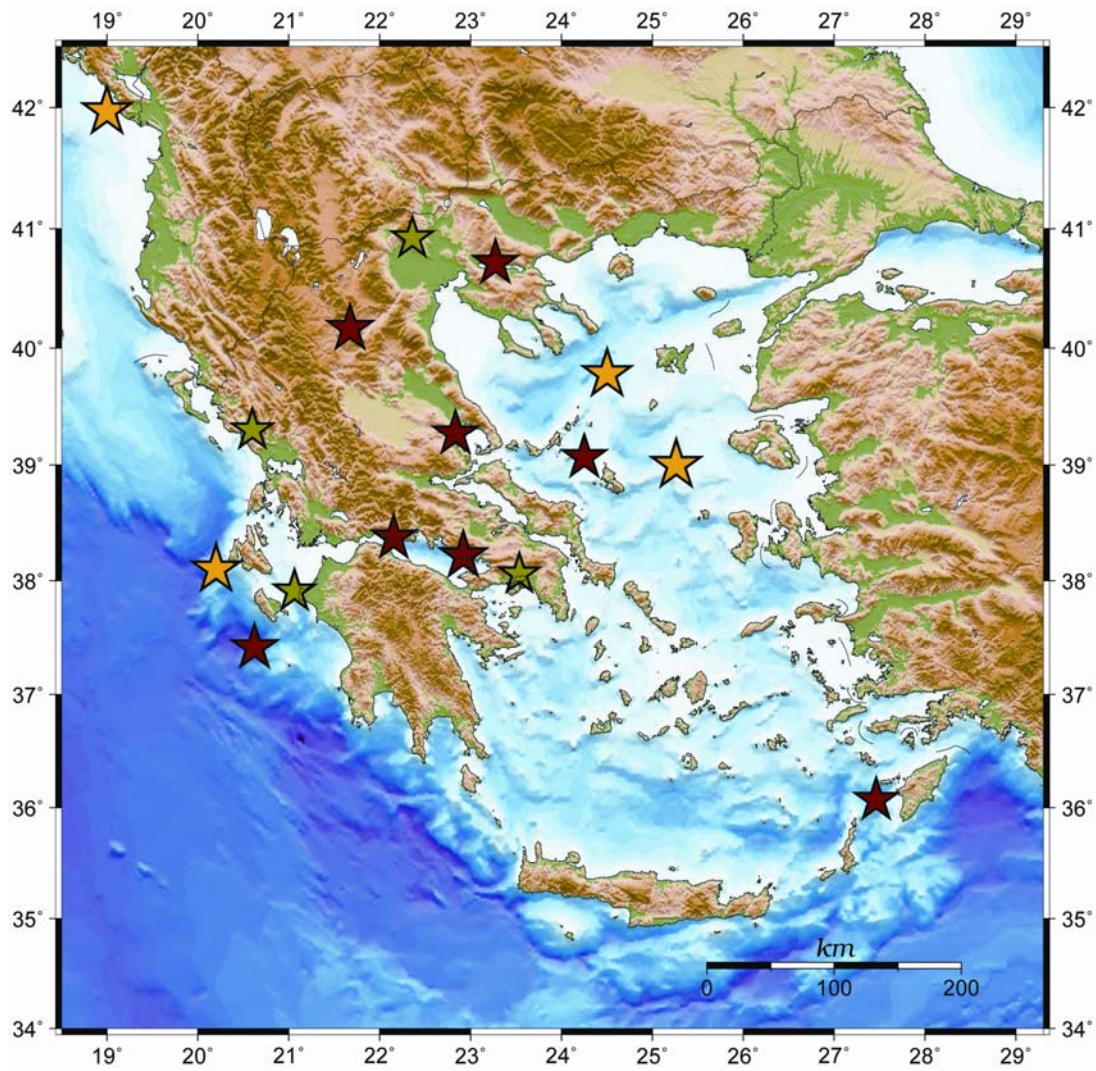
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η καμπύλη του αθροιστικού αριθμού των μετασεισμών σε σχέση με το χρόνο, για κάθε ακολουθία, αρχικά είναι σχεδόν κατακόρυφη, στη συνέχεια μόλις αρχίσει η ομαλοποίηση της ακολουθίας η καμπύλη παρουσιάζει μία κλίση και τελικά όταν η σεισμικότητα, φτάσει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής, η καμπύλη γίνεται περίπου παράλληλη προς τον άξονα του χρόνου. Ταξινομώντας λοιπόν τους μετασεισμούς της ακολουθίας

ανάλογα με το χρονικό διάστημα στο οποίο συνέβησαν πάρθηκαν τρία υποσύνολα μετασεισμών κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία από τις τρεις παραπάνω περιόδους εξέλιξης της ακολουθίας. Στη συνέχεια, μέσω του GMT, χαρτογραφήθηκαν οι μετασεισμοί αυτοί χρησιμοποιώντας διαφορετικά σύμβολα για κάθε υποσύνολο και έγινε δυνατή η επίτευξη μίας καλύτερης εικόνας για τη χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών. Παρατηρήθηκε δηλαδή ποια ήταν η χωρική κατανομή των μετασεισμών που συνέβησαν κατά το αρχικό στάδιο της ακολουθίας, κατά τη διάρκεια της ομαλοποίησης της και μετά την πλήρη ομαλοποίησή της.

**Πίνακας 6.1.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία των κύριων σεισμών των υπό μελέτη σεισμικών ακολουθιών**

|    | YEAR | MONTH | DAY | ORIGIN TIME | LAT(N) | LON(E) | M   | EPICENTER AREA        |
|----|------|-------|-----|-------------|--------|--------|-----|-----------------------|
| 1  | 1978 | 06    | 20  | 20:03:21    | 40.61  | 23.27  | 6.5 | Θεσσαλονίκη (Στίβος)  |
| 2  | 1979 | 04    | 15  | 06:19:41    | 41.97  | 19.00  | 7.1 | Μαυροβούνιο (Budva)   |
| 3  | 1980 | 07    | 9   | 02:11:57    | 39.27  | 22.93  | 6.5 | Μαγνησία (Αλμυρός)    |
| 4  | 1981 | 02    | 24  | 20:53:37    | 38.07  | 23.00  | 6.7 | Αλκυονίδες            |
| 5  | 1981 | 12    | 19  | 14:10:51    | 39.00  | 25.26  | 7.2 | Λέσβος                |
| 6  | 1982 | 01    | 18  | 19:27:25    | 39.78  | 24.50  | 7.0 | Β.Αιγαίο (Θάσος)      |
| 7  | 1983 | 01    | 17  | 12:41:31    | 38.10  | 20.20  | 7.0 | Κεφαλονιά (Αργοστόλι) |
| 8  | 1988 | 10    | 16  | 12:34:04    | 37.91  | 21.06  | 6.0 | Ηλεία (Κυλλήνη)       |
| 9  | 1990 | 06    | 16  | 02:16:20    | 39.10  | 20.70  | 6.0 | Πρέβεζα               |
| 10 | 1990 | 12    | 21  | 06:57:43    | 40.92  | 22.36  | 6.0 | Πέλλα (Αριδαία)       |
| 11 | 1995 | 05    | 13  | 08:47:17    | 40.16  | 21.67  | 6.6 | Γρεβενά (Κνίδη)       |
| 12 | 1995 | 06    | 15  | 00:15:49    | 38.27  | 22.15  | 6.4 | Αίγιο                 |
| 13 | 1996 | 07    | 20  | 00:00:39    | 36.07  | 27.46  | 6.2 | Κάρπαθος              |
| 14 | 1997 | 11    | 18  | 13:00:00    | 37.41  | 20.62  | 6.6 | Ζάκυνθος              |
| 15 | 1999 | 09    | 7   | 11:56:51    | 38.06  | 23.54  | 6.0 | Αθήνα                 |
| 16 | 2001 | 07    | 26  | 00:21:41    | 39.05  | 23.35  | 6.4 | Σκύρος                |





**Σχήμα 6.1.1:** Τα επίκεντρα των κύριων σεισμών των μετασεισμικών ακολουθιών που μελετήθηκαν. Τα κίτρινα αστέρια παριστάνουν επίκεντρα σεισμών με μεγέθη  $M > 7.0$ , τα κόκκινα αστέρια σεισμούς με μεγέθη  $M > 6.0$  και τα πράσινα αστέρια σεισμούς με μεγέθη  $M = 6.0$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

### ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

#### 7.1 Εισαγωγή

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να μελετηθεί η χωρική και χρονική κατανομή των σεισμών των μετασεισμικών ακολουθιών που έλαβαν χώρα στον ευρύτερο ελληνικό χώρο από το 1978 μέχρι και σήμερα. Αρχικά θα αναφερθούν ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά για κάθε μία από αυτές στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στη χωρική κατανομή των μετασεισμών τους, έπειτα θα μελετηθεί η χρονική κατανομή αυτών και τέλος η χωροχρονική τους κατανομή ταυτόχρονα.

#### 7.2 Σεισμική ακολουθία Θεσσαλονίκης (1978)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 20 Ιουνίου 1978 με επίκεντρο την περιοχή μεταξύ των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά (40.61°B,23.27°A). Το ρήγμα στο οποίο οφείλεται ο κύριος σεισμός είναι κανονικό με παράταξη σχεδόν Α-Δ, κλίνει προς τα βόρεια με γωνία κλίσης ~46° (278°/46°/-70°) (Soufleris and Stewart, 1981), έχει μήκος 32km και επιφάνεια 390km<sup>2</sup>. Αποτελεί τμήμα του συστήματος διάρρηξης μήκους 65km και παράταξης Α-Δ, που τρέχει μέσω του νότιου τμήματος της λεκάνης της Μυγδονίας, από τον Στρυμωνικό κόλπο στη Θεσσαλονίκη. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Θεσσαλονίκη-Ρεντίνα σύστημα διάρρηξης (Tranos, Papadimitriou and Kilias, 2001). Ήταν ο πρώτος ισχυρός σεισμός που προσέβαλε μία σύγχρονη πόλη με εξαιρετικές οικονομικές και άλλες κοινωνικές συνέπειες. Σκοτώθηκαν 48 άνθρωποι και τραυματίστηκαν 220. Μη επισκευάσιμες ζημιές έπαθαν 9480 οικοδομές στη Θεσσαλονίκη και τους γύρω νομούς.

**Πίνακας 7.2.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό**

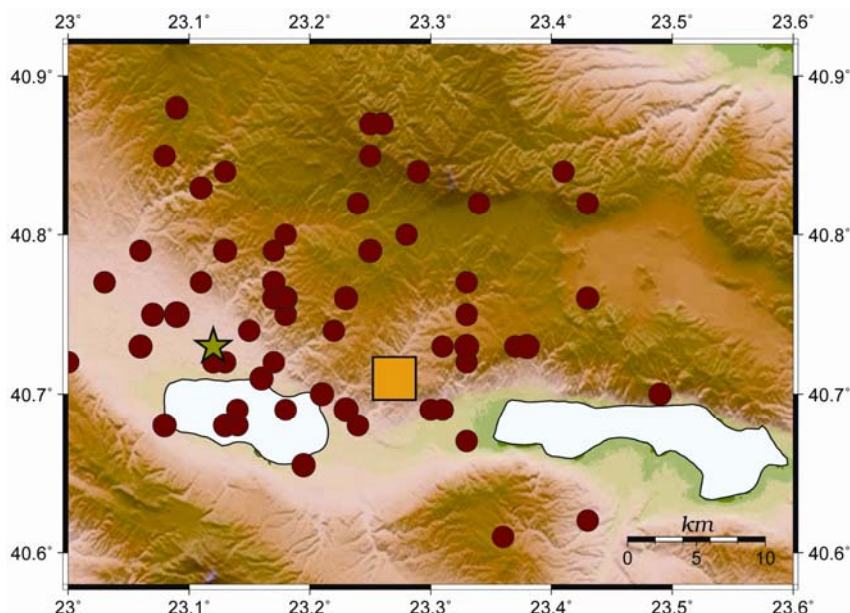
| ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Στίβος) |            |        |          |
|----------------------|------------|--------|----------|
| Κύριος σεισμός       |            |        |          |
| 6,5                  | 20/6/1978  | 50,835 | -        |
| Μετασεισμοί          |            |        |          |
| 4,7                  | 20/06/1978 | 50,910 | 1h 48min |

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Θεσσαλονίκης (1978)**

|     |            |         |                 |
|-----|------------|---------|-----------------|
| 4,9 | 24/06/1978 | 51,520  | 16h 26min 24sec |
| 5,1 | 4/07/1978  | 64,933  | 64days          |
| 4,7 | 11/05/1979 | 375,074 | 375days         |
| 4,7 | 31/08/1979 | 487,725 | 487days         |

### 7.2.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M > 4.2$ . Οι μετασεισμοί που έγιναν μετά τις 20 Ιουνίου είχαν μικρά μεγέθη, με ισχυρότερο εξ αυτών, αυτόν που έγινε 64 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό με μέγεθος  $M=5.1$  στα δυτικά του κύριου σεισμού. Οι μετασεισμοί σχηματίζουν μία ζώνη διάρρηξης βόρεια του σεισμικού ρήγματος, με το μέσο βάθος της να φτάνει τα 5-10km (Σχήμα 7.2.1.1).

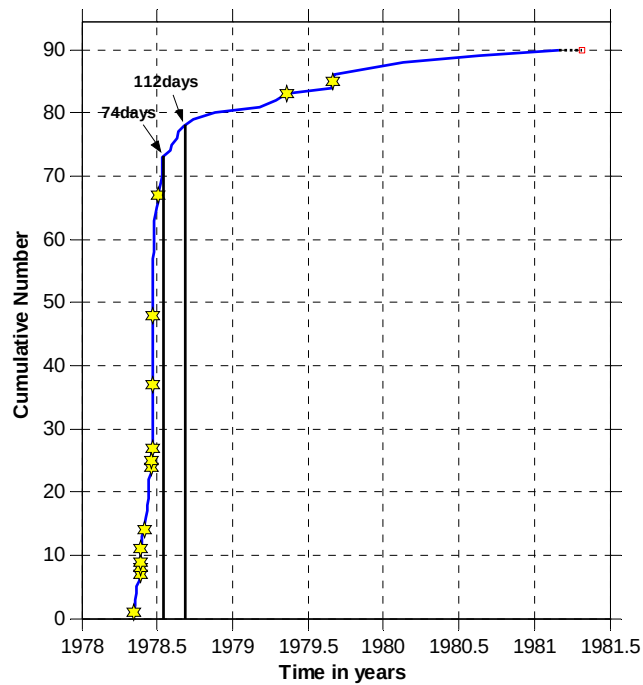
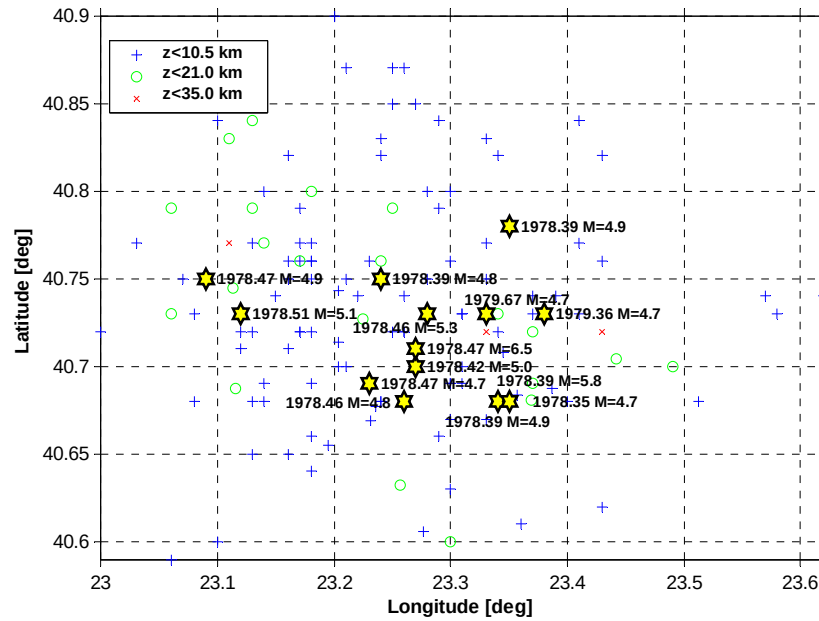


**Σχήμα 7.2.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=5.1$  συμβολίζεται με πράσινο αστέρι και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.2 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.

### 7.2.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

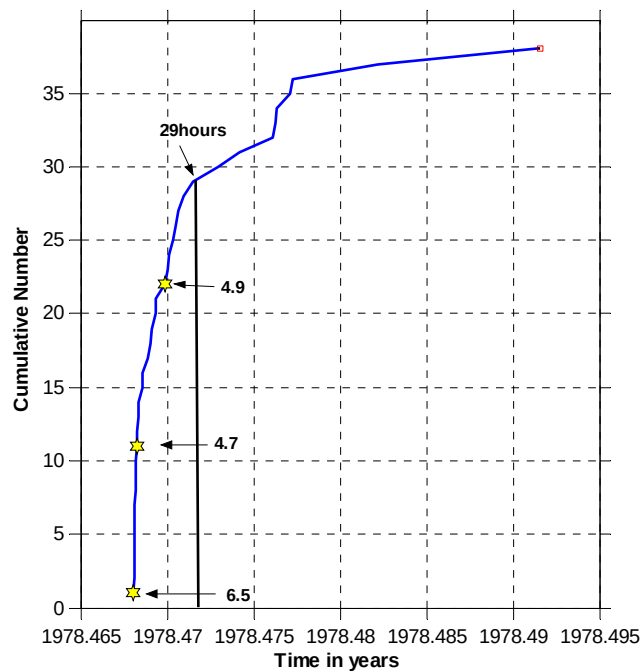
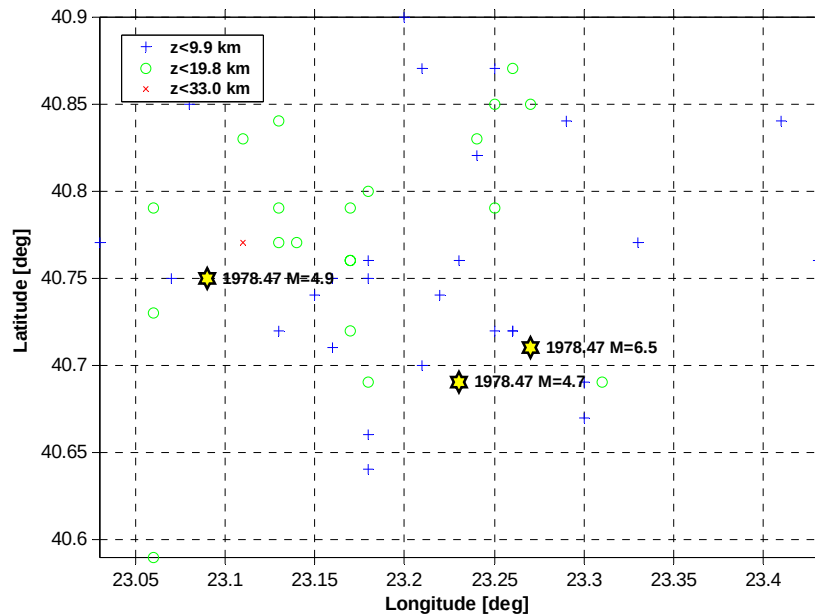
Η ακολουθία ομαλοποιείται 74 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα όρια της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 38 ημέρες αργότερα (Σχήμα 7.2.2.1) (κάτω). Δεν προέκυψε περίοδος σχετικής ηρεμίας πρόδρομη κάποιου ισχυρού μετασεισμού (έλλειψη δεδομένων). Εικοσιεννιά (29) ώρες μετά τον κύριο σεισμό παρατηρείται μία εξασθένηση της σεισμικότητας (Σχήμα 7.2.2.2) (κάτω).

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Θεσσαλονίκης (1978)**



**Σχήμα 7.2.2.1:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών. Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Θεσσαλονίκης (1978)

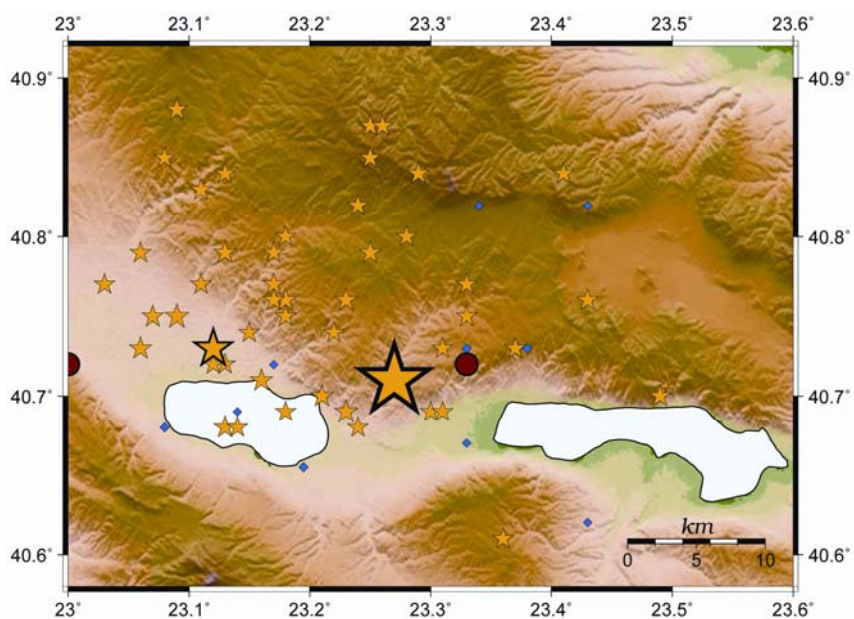


Σχήμα 7.2.2.2: Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 29 ώρες μετά τον κύριο σεισμό.

### 7.2.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Για τη χαρτογράφηση των μετασεισμών της ακολουθίας με βάση τη χωροχρονική τους κατανομή, οι μετασεισμοί χωρίστηκαν σε τρεις υποομάδες ανάλογα με το χρονικό διάστημα που έγιναν από τον κύριο σεισμό. Η πρώτη υποομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 74 ημέρες από τον κύριο σεισμό (κίτρινα αστέρια). Η δεύτερη περιλαμβάνει αυτούς που έγιναν στις επόμενες 38 ημέρες (κόκκινοι κύκλοι). Το διάστημα αυτό των 38 ημερών είναι το διάστημα που διαρκεί η ομαλοποίηση της ακολουθίας. Η τρίτη υποομάδα περιλαμβάνει όλους τους υπόλοιπους μετασεισμούς που έλαβαν χώρα μέχρι το τέλος των τριών χρόνων μελέτης της ακολουθίας και οφείλονται στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής (μπλε ρόμβοι) (Σχήμα 7.2.3.1.).

Ο αριθμός των μετασεισμών της δεύτερης υποομάδας είναι ιδιαίτερα μικρός παρόλα αυτά μπορεί να παρατηρηθεί με ευκολία το γεγονός ότι οι μετασεισμοί αυτοί συμβαίνουν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο του κύριου σεισμού σε σχέση με τους αντίστοιχους της πρώτης υποομάδας. Αυτό επαληθεύει σε μεγάλο βαθμό τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του χρόνου και της απόστασης από τον κύριο σεισμό που γίνεται ένας μετασεισμός. Όσο περισσότερος είναι δηλαδή ο χρόνος που περνάει από τη γένεση του κύριου σεισμού τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι και η απόσταση, από αυτόν, στην οποία είναι πιθανό να γίνουν μετασεισμοί.



Σχήμα 7.2.3.1: Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών.

### 7.3 Σεισμική ακολουθία Μαυροβούνιου (Budva) (1979)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 15 Απριλίου 1979 κοντά στη ΝΔ ακτή της Γιουγκοσλαβίας και είχε μέγεθος  $M=7.1$ . Το επίκεντρό του ήταν  $42.15^{\circ}B$ ,  $18.71^{\circ}A$ . Οφείλεται σε ένα αριστερόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα με ανάστροφη συνιστώσα. Έχει μήκος 95km και πλάτος 12km. Η παράταξή του είναι ΝΑ-ΒΔ (παράλληλη στην ακτή) και βυθίζεται ΒΑ (από την Αδριατική θάλασσα προς την ήπειρο) (Karakaisis, Karakostas, Papadimitriou and Papazachos, 1984). Προκάλεσε θανάτους, τραυματισμούς και πολλές καταστροφές στο Μαυροβούνιο της Γιουγκοσλαβίας και στη βορειότερη περιφέρεια της Αλβανίας. Σκοτώθηκαν 94 άνθρωποι στη Γιουγκοσλαβία, 35 στην Αλβανία ενώ ο αριθμός των τραυματιών έφτασε συνολικά τα 1500 άτομα.

**Πίνακας 7.3.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

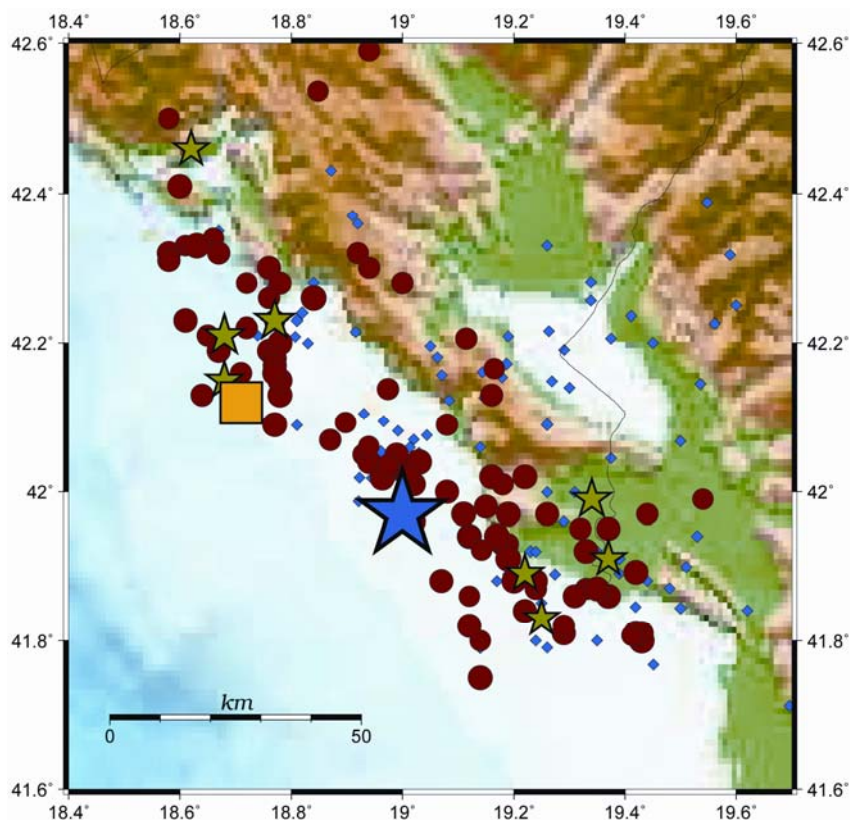
| <b>MAYPOBOYHNIO(Budva)</b>                                          |            |        |                    |
|---------------------------------------------------------------------|------------|--------|--------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b>                                               |            |        |                    |
| 7,1                                                                 | 15/04/1979 | 0,263  | -                  |
| <b>Μετασεισμοί</b>                                                  |            |        |                    |
| 5,1                                                                 | 15/04/1979 | 0,434  | 4h 6min 14.4sec    |
| 5,1                                                                 | 15/04/1979 | 0,488  | 5h 24min           |
| 5,8                                                                 | 15/04/1979 | 0,613  | 8h 24min           |
| 5,3                                                                 | 16/04/1979 | 1,419  | 27h 44min 38.4sec  |
| 5,1                                                                 | 17/04/1979 | 2,235  | 47h 19min 40.8sec  |
| 5,6                                                                 | 20/04/1979 | 5,814  | 133h 13min 26.4sec |
| 6,3                                                                 | 24/04/1979 | 39,724 | 39days             |
| 5,7                                                                 | 24/04/1979 | 39,858 | 3h 12min 57.6sec   |
| 5,3                                                                 | 6/06/1979  | 52,644 | 13days             |
| Αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από τον μετασεισμό $M=6,3$ και μετά |            |        |                    |

#### 7.3.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη τόσο της χωρικής όσο και της χρονικής κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.6$ . Η σεισμική δραστηριότητα χωρίζεται σε δύο υποακολουθίες. Μία στο ΝΑ τμήμα του ρήγματος και μία στο ΒΔ.



Η μετασεισμική δραστηριότητα των δύο αυτών ακολουθιών χωρίζεται από μία σεισμική ζώνη ενδιάμεσα (Karakaisis, Karakostas, Papadimitriou and Papazachos, 1984) (Σχήμα 7.3.1.1). Αμέσως μετά τον κύριο σεισμό η μετασεισμική δραστηριότητα εξελίχθηκε χωρικά στο ΝΑ τμήμα του ρήγματος όπως και στο ΒΔ, παρακάμπτοντας την σεισμική ζώνη. Αυτό οφείλεται στην ανακατανομή των τάσεων μετά την κύρια διάρρηξη, με τις τάσεις να συγκεντρώνονται σε εμπόδια τόσο στο ΝΑ όσο και στο ΒΔ τμήμα του ρήγματος. Ένα από αυτά τα εμπόδια, στο ΒΔ τμήμα, έσπασε αργότερα όταν έγινε ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=6.3$  στις 24 Μαΐου. Η δημιουργία της σεισμικής ζώνης πιθανότατα οφείλεται στο ότι αποτελούσε τμήμα του ρήγματος που ολίσθησε ομαλά κατά τη διάρκεια του κύριου σεισμού.



**Σχήμα 7.3.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται μπλε αστέρι, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=6.3$  συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.



### 7.3.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

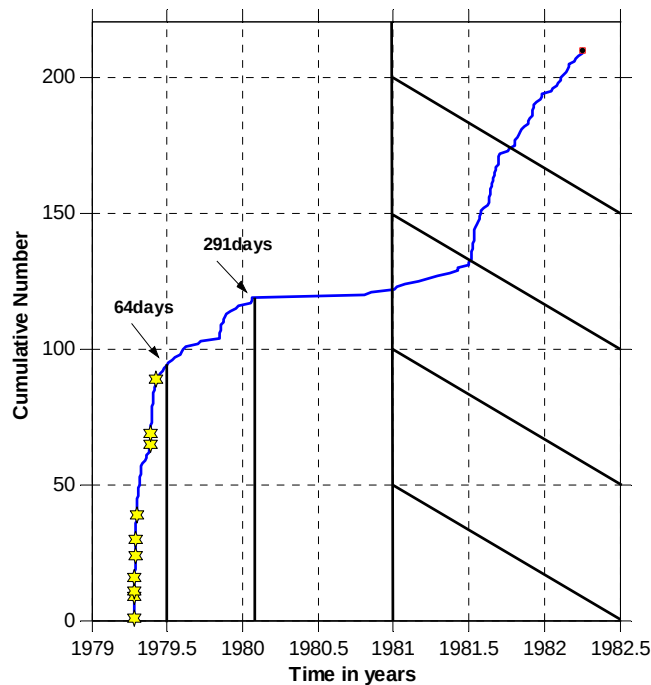
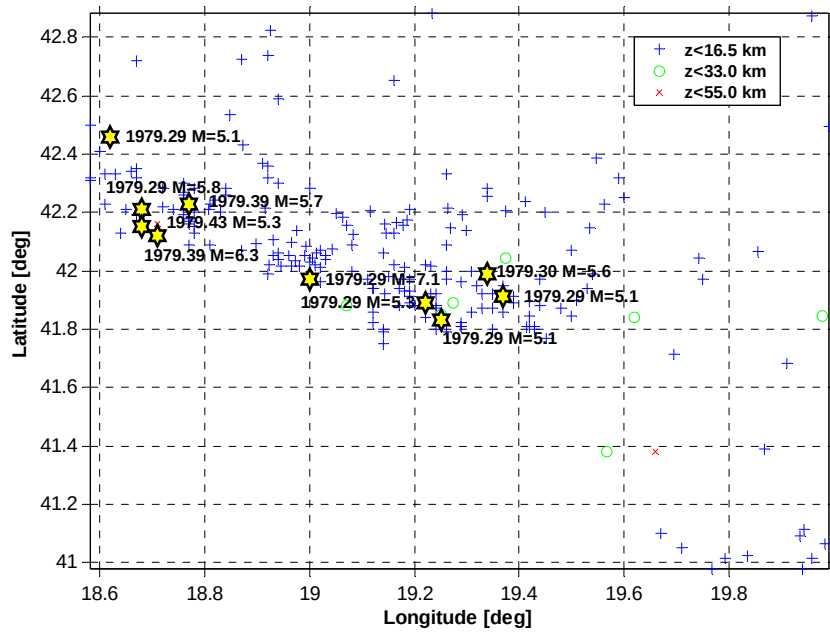
Η χρονική κατανομή των μετασεισμών μελετήθηκε τόσο όσον αφορά την ενιαία ακολουθία όσο και τις δύο ξεχωριστές μεταξύ τους υποακολουθίες που χωρίζονται χωρικά.

**Ενιαία ακολουθία:** Μελετώντας ως μία ενιαία ακολουθία φάνηκε μία απότομη άνοδος του αριθμού των μετασεισμών μετά το 1981 χωρίς αυτό να μπορεί να δικαιολογηθεί από έναν π.χ. μεγάλο μετασεισμό. Για το λόγο αυτό το χρονικό διάστημα από το 1981 και μετά δε λήφθηκε υπόψη κατά τη μελέτη της ακολουθίας (Σχήμα 7.3.2.1.) (κάτω). Παρατηρούμε ότι η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 64 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από 227 ημέρες, συνολικά δηλαδή 291 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.3.2.1.) (κάτω). Από τη μελέτη της κατανομής των μετασεισμών τις πρώτες δέκα ημέρες της ακολουθίας προκύπτει ότι η σχετική ηρεμία αμέσως μετά τον κύριο σεισμό επήλθε έπειτα από περίπου 2 ημέρες (47 ώρες) (Σχήμα 7.3.2.2.) (κάτω). Ο κυριότερος μετασεισμός ήταν ο  $M=6.3$  που συνέβη 39 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό. Στο σχήμα 7.3.2.3 (κάτω) μπορεί να παρατηρηθεί η έναρξη της περιόδου ηρεμίας αμέσως πριν από αυτόν τον μετασεισμό. Ξεκίνησε 14 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και διήρκεσε 25 ημέρες μέχρι τον  $M=6.3$ .

**1<sup>η</sup> υποακολουθία:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μετασεισμική ακολουθία χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποακολουθίες, μία στο ΝΑ τμήμα του ρήγματος, στην οποία ανήκει και ο κύριος σεισμός, και μία στο ΒΔ, όπου ανήκει και ο μεγαλύτερος μετασεισμός. Η πρώτη ακολουθία καλύπτει την περιοχή  $18.25^{\circ}$ - $18.6^{\circ}$  και  $41.4^{\circ}$ - $42.8^{\circ}$ . Αρχίζει να ομαλοποιείται 20 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να αγγίζει την κανονική σεισμικότητα της περιοχής μετά από 195 ημέρες. Και σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνονται υπόψη οι μετασεισμοί μέχρι το 1981 (Σχήμα 7.3.2.4) (κάτω). Στο σχήμα 7.3.2.5 (κάτω) φαίνεται η έναρξη της σχετικής ηρεμίας αμέσως μετά τον κύριο σεισμό που συνέβη μετά από 4 ημέρες.

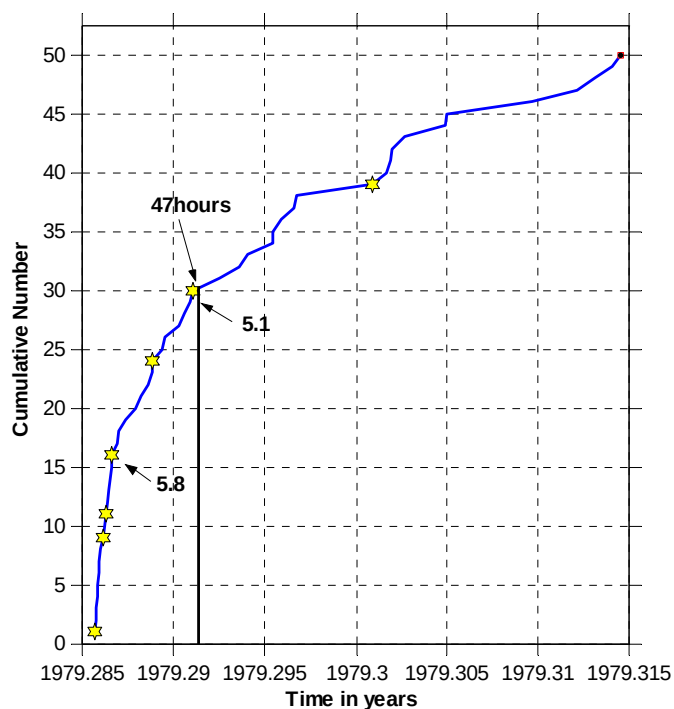
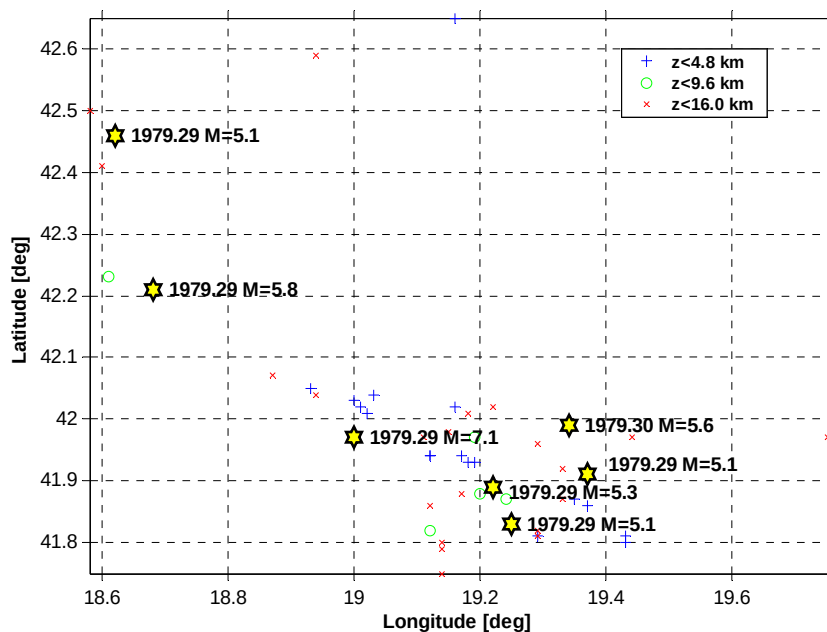
**2<sup>η</sup> υποακολουθία:** Καλύπτει την περιοχή  $18.6^{\circ}$ - $18.98^{\circ}$  και  $42^{\circ}$ - $42.8^{\circ}$ . Κύριο χαρακτηριστικό αυτής είναι ο ισχυρός μετασεισμός μεγέθους  $M=6.3$ . Αρχίζει να ομαλοποιείται 41 ημέρες μετά τον  $M=6.3$  και φτάνει στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής 207 ημέρες μετά (Σχήμα 7.3.2.6) (κάτω).

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)



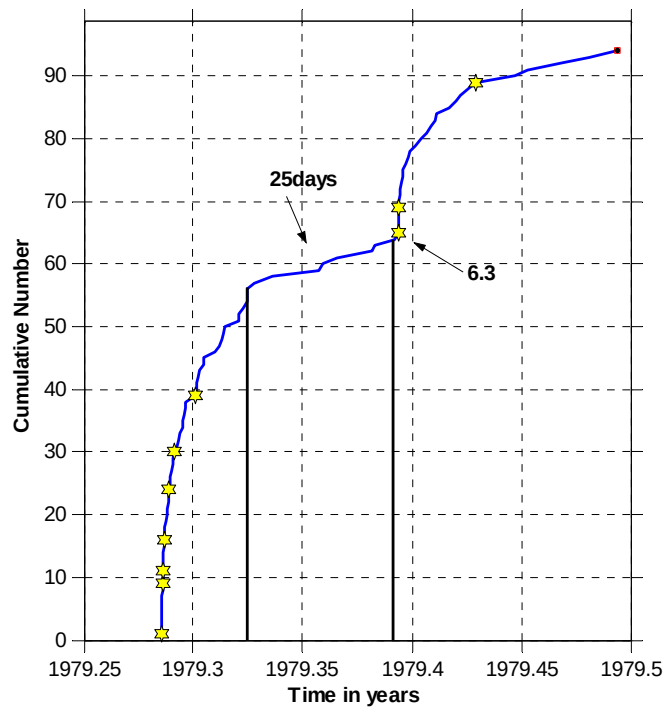
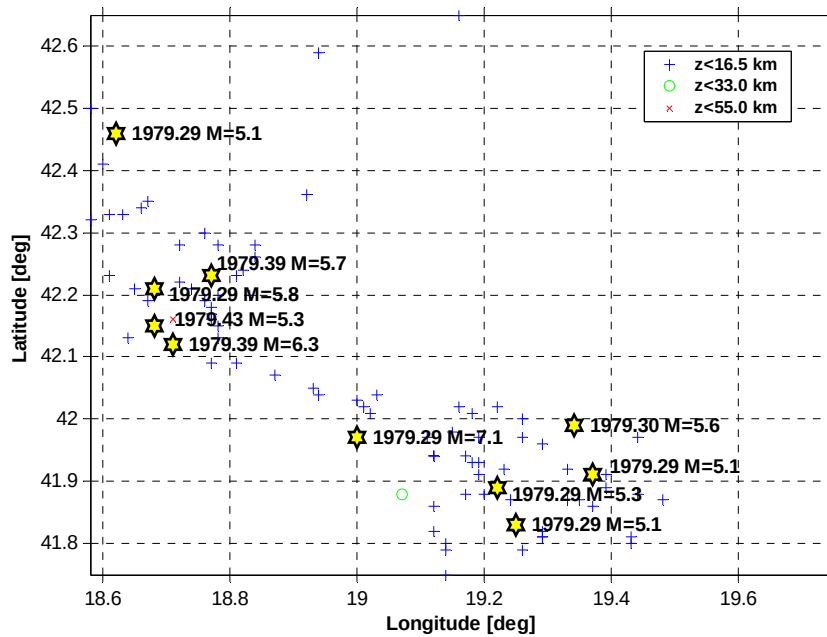
**Σχήμα 7.3.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)**



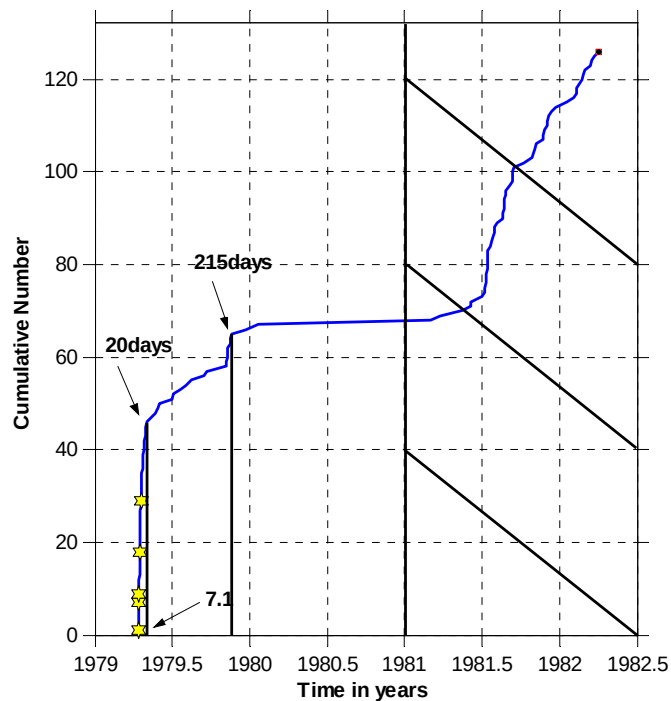
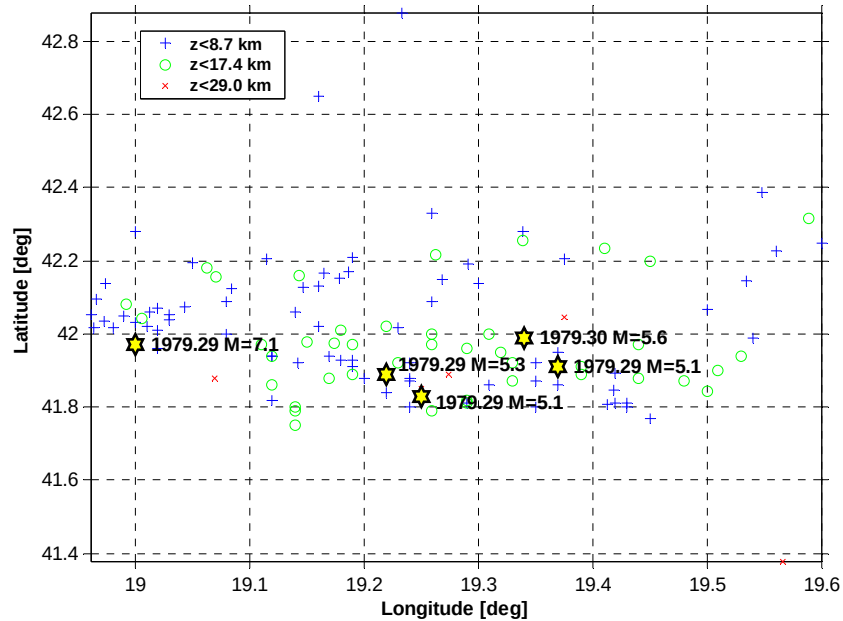
**Σχήμα 7.3.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 47 ώρες μετά τον κύριο σεισμό.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)



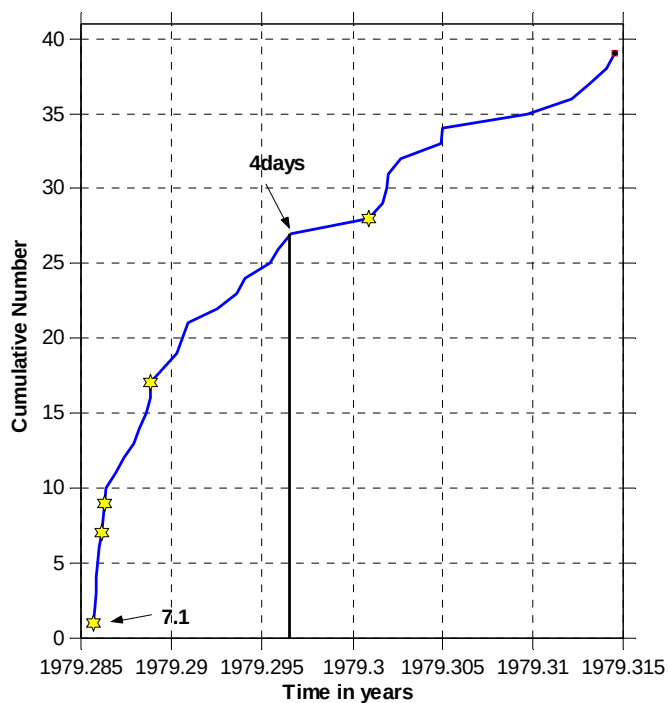
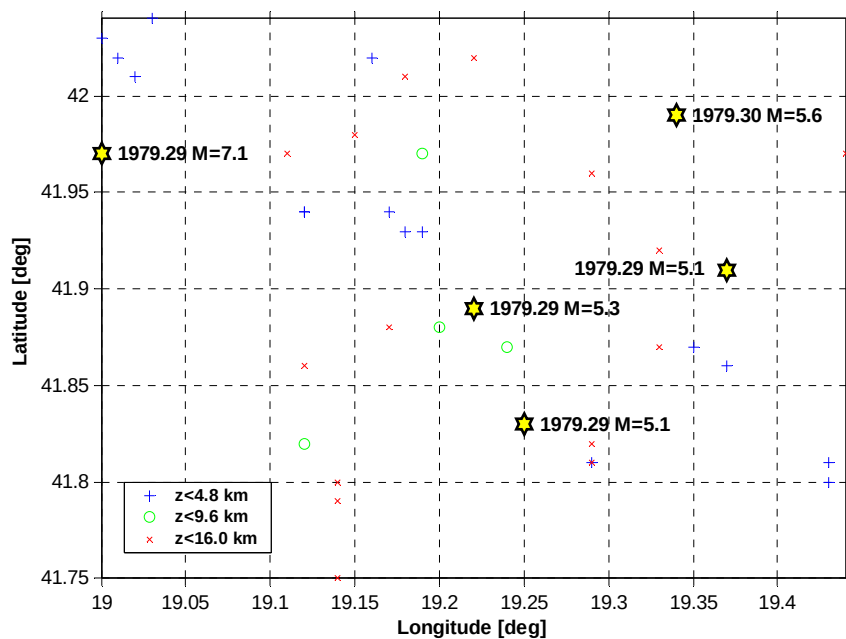
**Σχήμα 7.3.2.3:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η περίοδος ηρεμίας πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=6.3$ .

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)



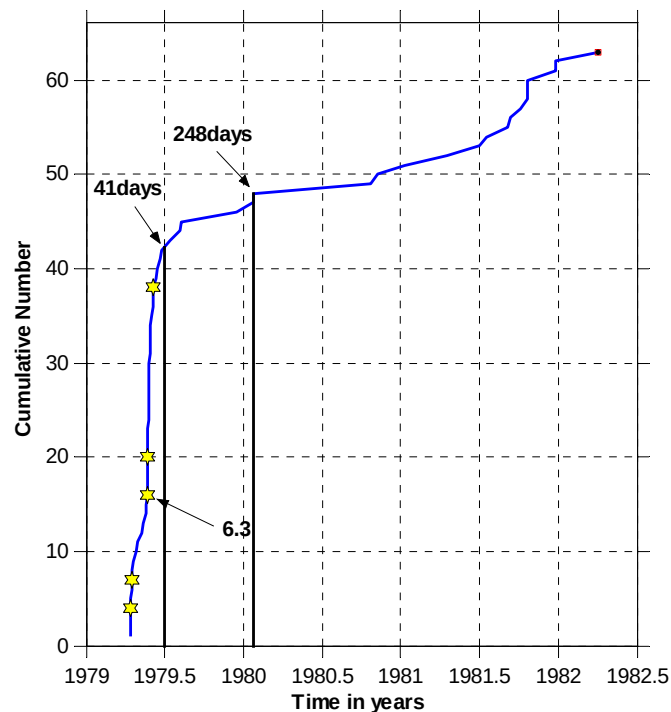
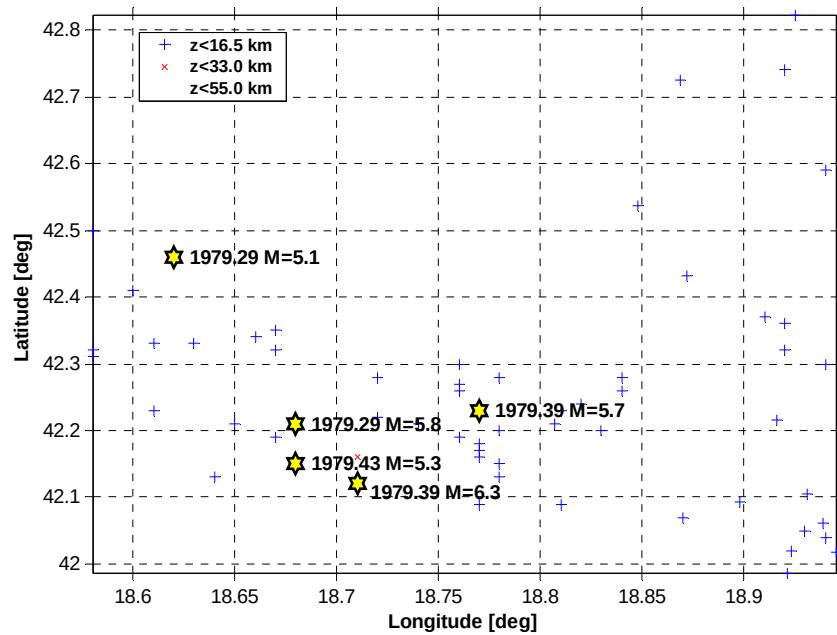
Σχήμα 7.3.2.4: Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)



Σχήμα 7.3.2.5: Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 4 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)**



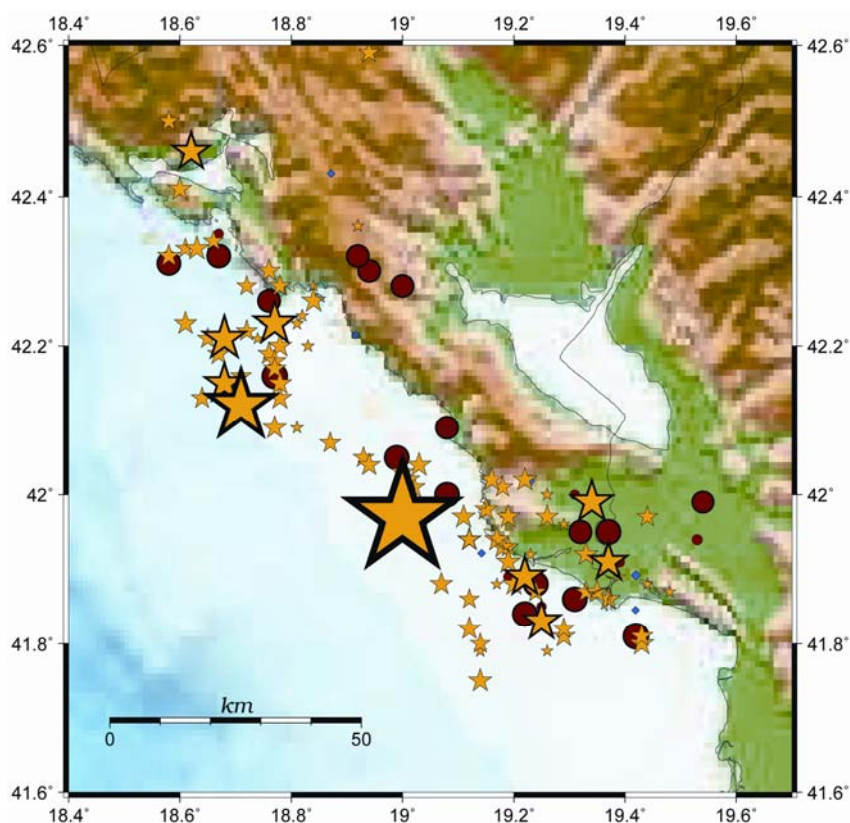
**Σχήμα 7.3.2.6:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.



### 7.3.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

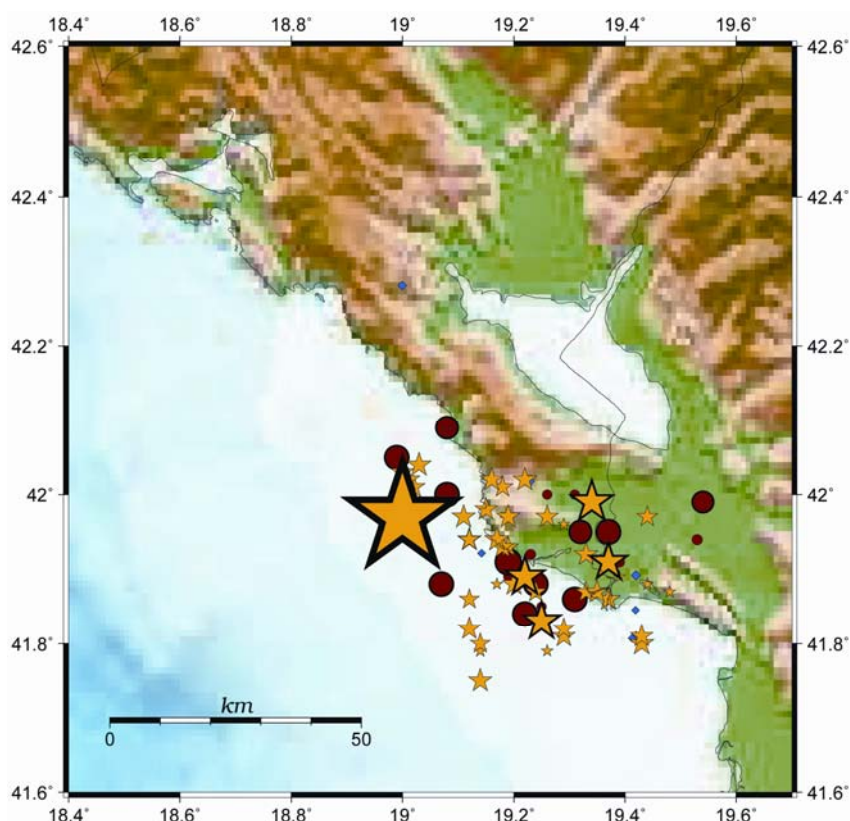
Η χαρτογράφηση των μετασεισμών με βάση την χωροχρονική τους κατανομή έγινε τόσο για την ενιαία ακολουθία συνολικά όσο και για κάθε μία από τις δύο υποακολουθίες ξεχωριστά.

Όσον αφορά την ενιαία ακολουθία οι μετασεισμοί χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες. Η πρώτη αποτελείται από μετασεισμούς που έγιναν μέχρι και 64 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (κίτρινα αστέρια), η δεύτερη από μετασεισμούς που έγιναν τις επόμενες 227 ημέρες (κόκκινοι κύκλοι) και η τρίτη από μετασεισμούς που έγιναν μετά το τέλος της δεύτερης και μέχρι το 1981 που ολοκληρώνεται και η μελέτη της ακολουθίας (μπλε ρόμβοι) (Σχήμα 7.3.3.1.). Σε κάθε ομάδα τα μεγέθη των συμβόλων έχουν μέγεθος ανάλογο του μεγέθους του σεισμού. Παρατηρούμε ότι οι μετασεισμοί των δύο πρώτων ομάδων, που είναι και οι μεγαλύτερες, έχουν την ίδια χωρική κατανομή ΒΔ-ΝΑ ανεξάρτητα από το γεγονός ότι συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.



Σχήμα 7.3.3.1: Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ενιαίας ακολουθίας

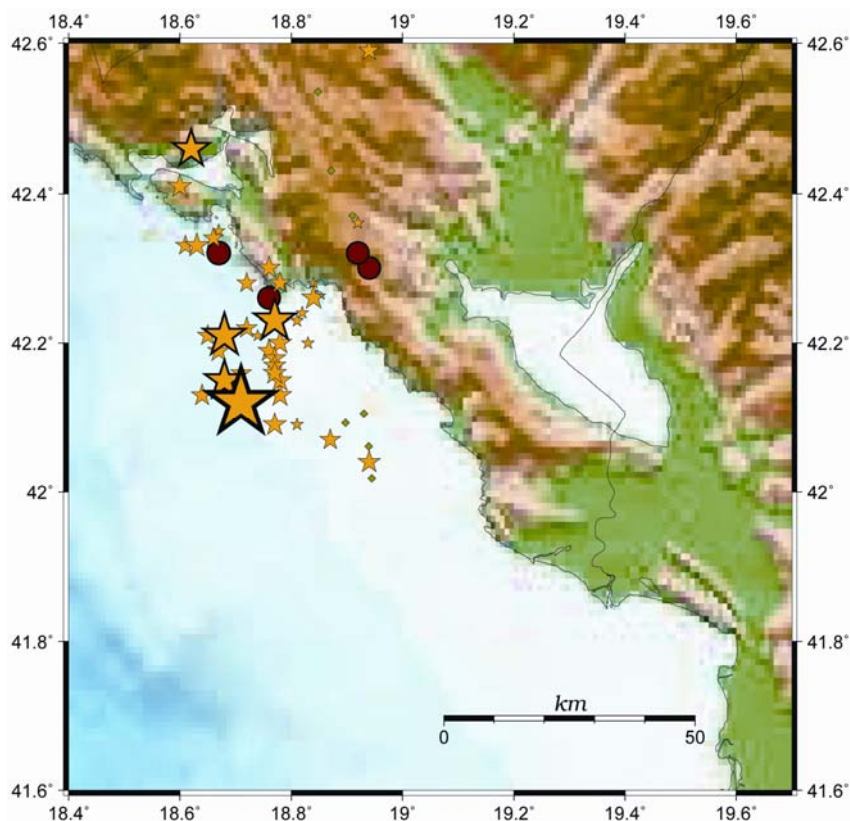
Η χαρτογράφηση των μετασεισμών της πρώτης υποακολουθίας με βάση τη χωροχρονική τους κατανομή ακολούθησε τα ίδια βήματα με αυτά της ενιαίας ακολουθίας με τη διαφορά ότι οι τρεις υποομάδες μετασεισμών που χαρτογραφήθηκαν καλύπτουν διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η πρώτη υποομάδα περιλαμβάνει μετασεισμούς που έγιναν στις πρώτες 20 ημέρες από τον κύριο σεισμό, η δεύτερη μετασεισμούς που έγιναν στις επόμενες 195 ημέρες και η τρίτη υποομάδα μετασεισμούς που καλύπτουν το εναπομείναν χρονικό διάστημα που μελετήθηκε και ανταποκρίνονται στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής (Σχήμα 7.3.3.2.).



**Σχήμα 7.3.3.2:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της πρώτης υποακολουθίας.

Τέλος όσον αφορά την δεύτερη υποακολουθία οι ομάδες μετασεισμών που έγιναν είχαν ως εξής: η πρώτη ομάδα με μετασεισμούς που έγιναν σε διάστημα 41 ημερών από τον μεγάλο μετασεισμό μεγέθους  $M=6.3$ , η δεύτερη με μετασεισμούς που έγιναν τις επόμενες 166 ημέρες και η τρίτη ομάδα με μετασεισμούς που έγιναν μέχρι το τέλος του διαστήματος μελέτης της ακολουθίας μέχρι δηλαδή τις αρχές του 1981(Σχ.7.3.3.3.).

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαυροβουνίου (Budva) (1979)



**Σχήμα 7.3.3.3:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της δεύτερης υποακολουθίας.

Και στις δύο υποακολουθίες παρατηρούμε ότι η κατανομή των μετασεισμών των δεύτερων ομάδων, που ανήκουν στα διαστήματα ομαλοποίησης των ακολουθιών, είναι η ίδια με την κατανομή των μετασεισμών των αντίστοιχων πρώτων ομάδων με τη διαφορά ότι το κύριο πλήθος των μετασεισμών των δεύτερων ομάδων συμβαίνει σε αποστάσεις μεγαλύτερες από ότι το κύριο πλήθος των μετασεισμών που ανήκουν στις πρώτες ομάδες.

#### 7.4 Σεισμική ακολουθία Μαγνησίας (Αλμυρός) (1980)

Ο κύριος σεισμός έγινε στις 9 Ιουλίου 1980 και είχε μέγεθος  $M=6.5$ . Το επίκεντρό του ήταν  $39.27^{\circ}B-22.93^{\circ}A$ . Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με παράταξη ABA-ΔΝΔ, βυθίζεται ΝΑ με γωνία κλίσης  $\sim 43^{\circ}$  και μήκος  $\sim 30km$  ( $82^{\circ}/43^{\circ}/-90^{\circ}$ ). Πρόκειται για καταστρεπτικό σεισμό του Παγασητικού κόλπου. Προκλήθηκαν καταστροφές στους νομούς Μαγνησίας Φθιώτιδας και Λαρίσης. Τραυματίστηκαν 24 άνθρωποι και καταστράφηκαν ολοσχερώς 5222 σπίτια.

**Πίνακας 7.4.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό**

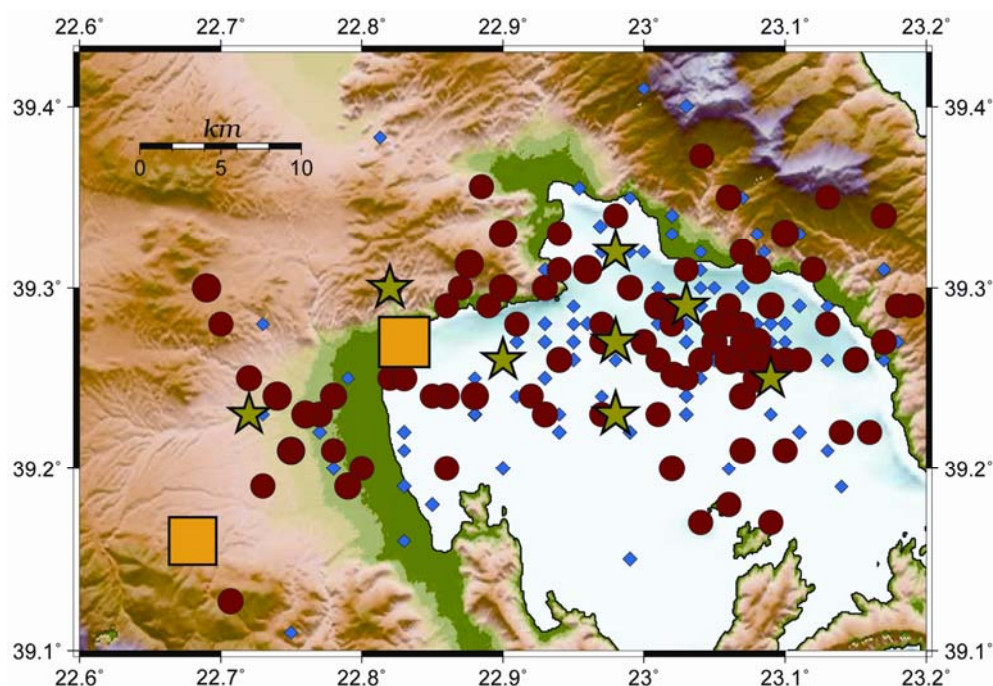
| <b>ΜΑΓΝΗΣΙΑ(Αλμυρός)</b> |            |        |                   |
|--------------------------|------------|--------|-------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b>    |            |        |                   |
| 6,5                      | 9/07/1980  | 0,091  | -                 |
| <b>Μετασεισμοί</b>       |            |        |                   |
| 6,1                      | 9/07/1980  | 0,108  | 24min 28.8sec     |
| 5,1                      | 9/07/1980  | 0,251  | 3h 50min 24sec    |
| 5,3                      | 9/07/1980  | 0,278  | 4h 29min 16.8sec  |
| 5,6                      | 10/07/1980 | 1,819  | 43h 39min 21.6sec |
| 5.0                      | 16/07/1980 | 7,004  | 7days             |
| 5,1                      | 26/07/1980 | 17,926 | 17days            |
| 5.0                      | 29/07/1980 | 20,862 | 20days            |
| 5,3                      | 11/08/1980 | 33,385 | 33days            |

##### 7.4.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.8$ . Η μετασεισμική ακολουθία αποτελείται από πλήθος μετασεισμών μεγάλων μεγεθών ( $M>5.0$ ) με κυριότερο το μετασεισμό μεγέθους  $M>6.1$  που έγινε 4 ώρες μετά τον κύριο σεισμό. Τα βάθη των μετασεισμών φτάνουν μέχρι και τα 20km με τον μεγαλύτερο αριθμό τους να ομαδοποιείται σε βάθη μικρότερα των 12km. Μετά τον κύριο σεισμό, παρατηρείται μία χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας προς το δυτικό τμήμα του ρήγματος όπου άλλωστε βρίσκεται και το επίκεντρο του ισχυρότερου μετασεισμού. Στη συνέχεια



πλήθος μετασεισμών με μεγάλα μεγέθη γίνονται και στα ανατολικά του κυρίου σεισμού και ειδικά εντός του Παγασητικού κόλπου (Σχ.7.4.1.1.).

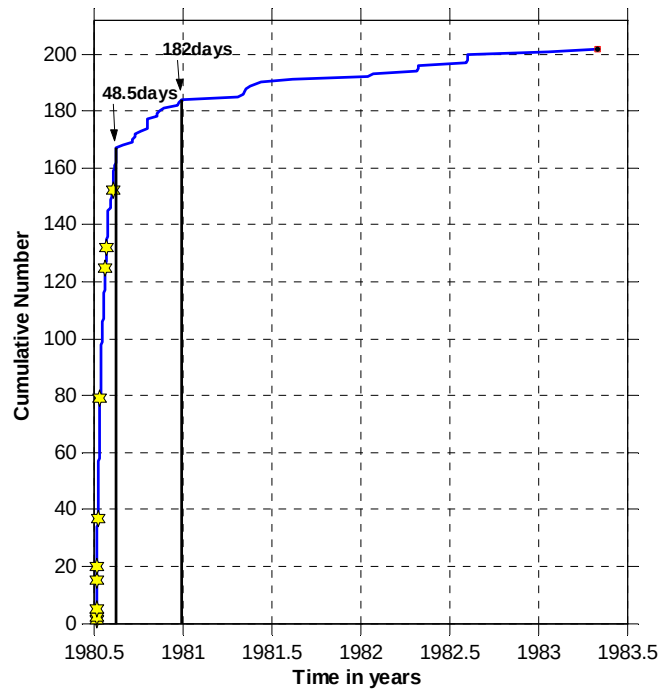
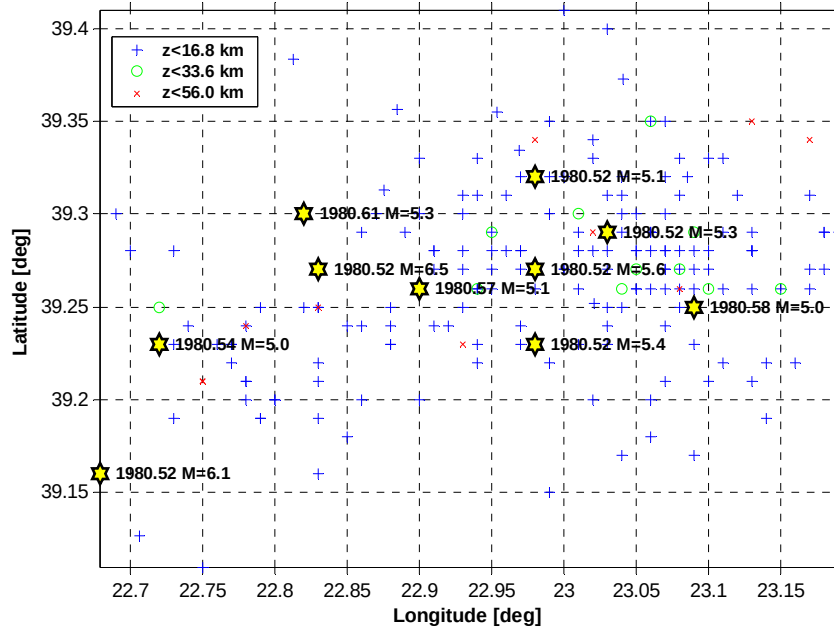


**Σχήμα 7.4.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός και ο ισχυρότερος μετασεισμός με  $M=6.1$  συμβολίζονται με κίτρινα τετράγωνα, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.7 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

## 7.4.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

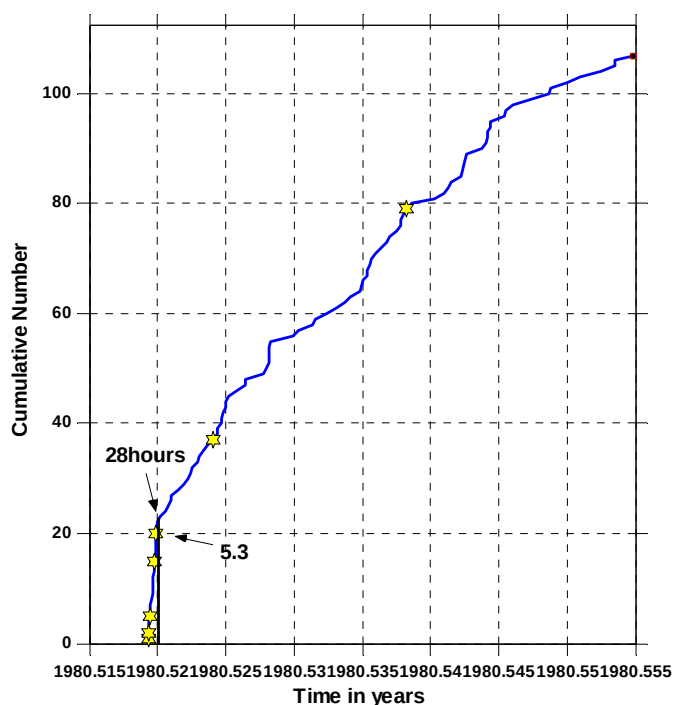
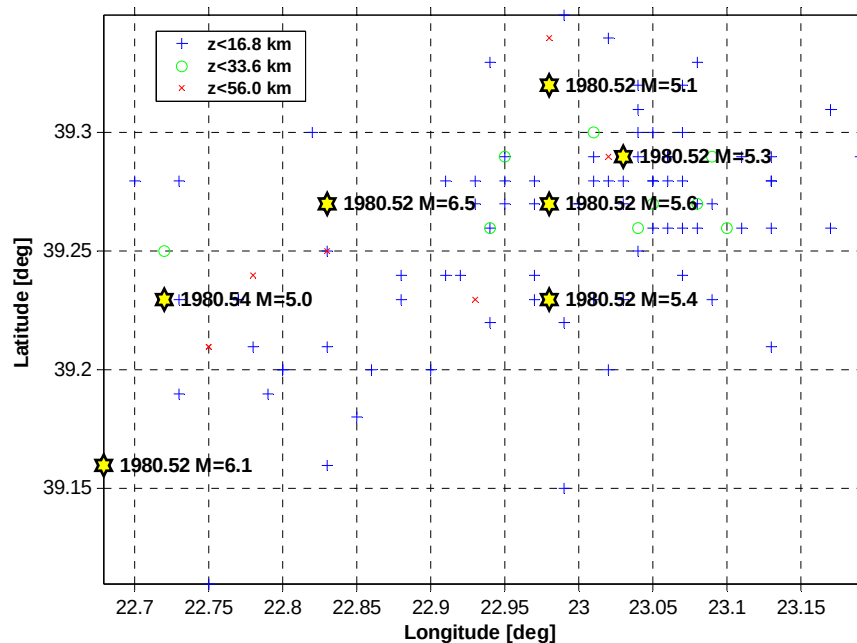
Η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 48,5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από 133.5 ημέρες, συνολικά δηλαδή 182 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.4.2.1) (κάτω). Όπως προέκυψε από τη μελέτη των πρώτων 10 ημερών της ακολουθίας, 28 ώρες μετά τον κύριο σεισμό επέρχεται μία σχετική ηρεμία (Σχήμα 7.4.2.2) (κάτω). «Σκαλοπατάκι» πριν τον ισχυρότερο μετασεισμό με  $M=6.1$  δεν παρατηρείται λόγω του ότι έγινε μόλις 4 ώρες μετά τον κύριο σεισμό. Αλλά και για τους υπόλοιπους μετασεισμούς δεν παρατηρείται κάτι ανάλογο όταν μελετήθηκαν τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα λίγο πριν τη γένεσή τους.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Μαγνησίας (Αλμυρός) (1980)



**Σχήμα 7.4.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.

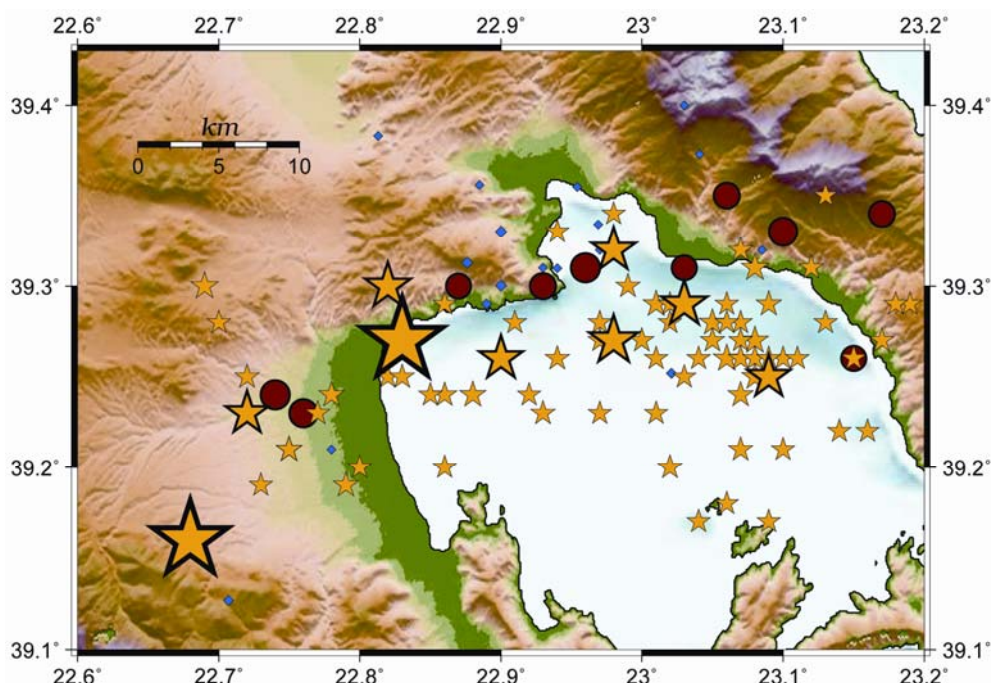
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Μαγνησίας (Αλμυρός) (1980)**



**Σχήμα 7.4.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 28 ώρες μετά τον κύριο σεισμό.

### 7.4.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί της ακολουθίας χωρίζονται και πάλι σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη χρονική περίοδο στην οποία έγιναν. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 48.5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό, η δεύτερη ομάδα μετασεισμούς που έγιναν στις επόμενες 133.5 ημέρες και η τρίτη ομάδα μετασεισμούς που έγιναν στο εναπομείναν χρονικό διάστημα μέχρι το τέλος των τριών χρόνων μελέτης της ακολουθίας (Σχήμα 7.4.3.1). Η κατανομή των μετασεισμών που ανήκουν στην δεύτερη ομάδα, δηλαδή αυτοί που έγιναν κατά την περίοδο ομαλοποίησης της ακολουθίας, είναι πολύ όμοια με την αντίστοιχη των μετασεισμών της πρώτης ομάδας.



**Σχήμα 7.4.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια διαφόρων μεγεθών ανάλογα με το μέγεθός τους, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους διαφόρων μεγεθών ανάλογα με το μέγεθός τους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.



### 7.5 Σεισμική ακολουθία Αλκυονίδων (1981)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 24 Φεβρουαρίου 1981 με μέγεθος  $M=6.7$  και επίκεντρο τον κόλπο των Αλκυονίδων (τμήμα του Κορινθιακού κόλπου) περίπου 75 χιλιόμετρα δυτικά των Αθηνών ( $38.07^{\circ}\text{B}, 23.00^{\circ}\text{A}$ ). Το ρήγμα στο οποίο οφείλεται η κύρια διάρρηξη είναι κανονικό με παράταξη ANA-ΔΒΔ και βυθίζεται BAB. Το μήκος του φτάνει τα 36km. Το ρήγμα αυτό είναι τμήμα της καλά καθορισμένης σεισμικής ζώνης που εκτείνεται κατά μήκος της κόλπων Πάτρας-Κορίνθου- Σαρωνικού. Αυτή η ζώνη ανήκει στην οπισθότοξη περιοχή του Αιγαίου (Papazachos, Comninakis, Papadimitriou and Scordilis, 1983). Ο κύριος σεισμός αλλά και οι δύο μεγαλύτεροι μετασεισμοί με μεγέθη  $M=6.4$  (25/2/1981) και  $M=6.3$  (4/3/1981) προκάλεσαν πολύ μεγάλες καταστροφές στην Κορινθία, Βοιωτία, Φωκίδα, Εύβοια και στο νομό Αττικής. Είκοσι άνθρωποι σκοτώθηκαν και 500 τραυματίστηκαν. Ο σεισμός αυτός είχε πολύ σοβαρές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες και στην Αθήνα και για το λόγο αυτό αποτελεί το δεύτερο μεγάλο σεισμό που προσβάλει μεγάλη πόλη μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978. Συνολικά καταστράφηκαν ή έπαθαν μη επισκευάσιμες βλάβες 22554 οικοδομές. Η χρονική κατανομή της συχνότητας των μετασεισμών φανερώνει ότι η κύρια ακολουθία χωρίζεται σε δύο υποακολουθίες. Μία αυτή που οφείλεται στον κύριο σεισμό και μία αυτή που οφείλεται στο μετασεισμό μεγέθους  $M=6.3$  στις 4 Μαρτίου. Το βάθος των επικέντρων των μετασεισμών φτάνει μέχρι τα 15km με το μέσο βάθος όμως να είναι ~7km και να μεγαλώνει φτάνοντας περίπου τα 10km καθώς κινούμαστε προς τα ΑΒΑ.

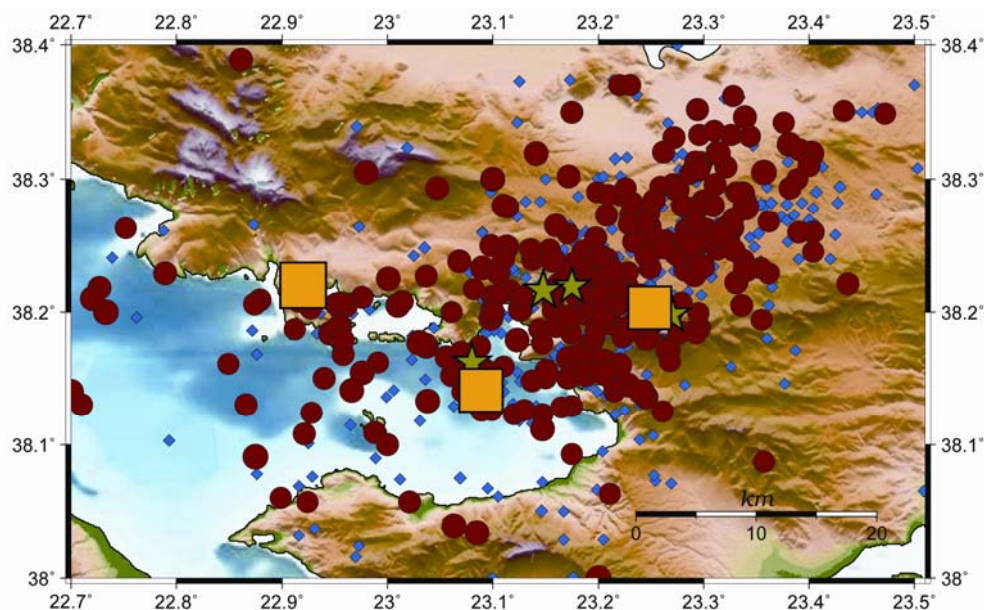
**Πίνακας 7.5.1** Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.

| ΑΛΚΥΟΝΙΔΕΣ     |            |        |                          |
|----------------|------------|--------|--------------------------|
| Κύριος σεισμός |            |        |                          |
| 6,7            | 24/02/1981 | 0,87   | -                        |
| Μετασεισμοί    |            |        |                          |
| 5,2            | 25/02/1981 | 1,081  | 5h 38min 24sec           |
| 6,4            | 25/02/1981 | 1,108  | 5h 42min 43sec           |
| 5,1            | 25/02/1981 | 1,214  | 8h 15min 21.6sec         |
| 6,3            | 4/03/1981  | 8,915  | 8days 1h 48min           |
| 5,4            | 5/03/1981  | 9,291  | 8days 10h 14min 24sec    |
| 5,4            | 7/03/1981  | 11,482 | 10days 14h 41min 16.8sec |

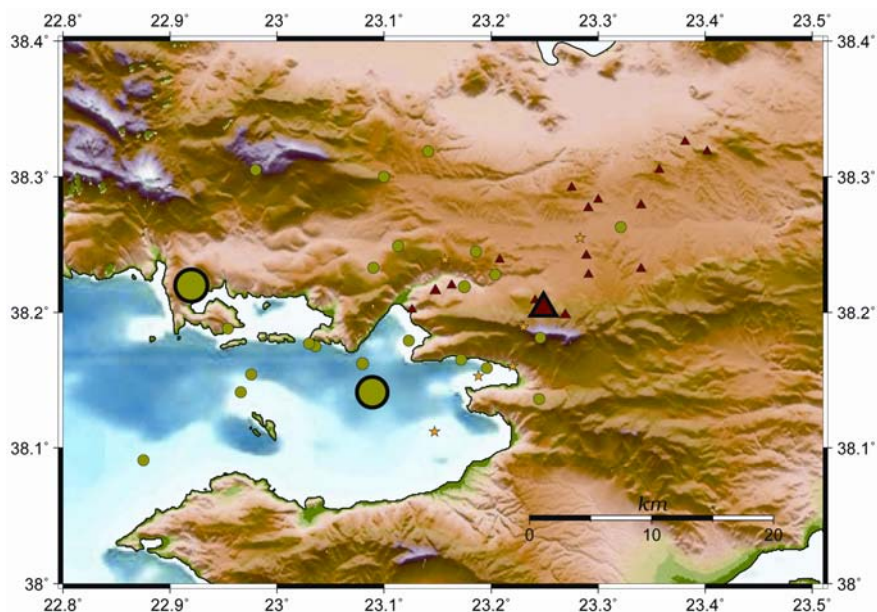
### 7.5.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής τους έχουν μεγέθη  $M > 3.7$ . Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κύρια ακολουθία χωρίζεται σε δύο υποακολουθίες. Οι μετασεισμοί λοιπόν που ακολούθησαν τον κύριο σεισμό της πρώτης υποακολουθίας κατανέμονται σε όλη την επικεντρική περιοχή, ενώ οι μετασεισμοί της δεύτερης υποακολουθίας κατανέμονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα αυτής της περιοχής (Papazachos, Comninakis, Papadimitriou and Scordilis, 1983). Στο σχήμα 7.5.1.1 φαίνεται η κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας, με τους τρεις ισχυρότερους σεισμούς να συμβολίζονται με κίτρινα τετραγωνάκια. Στο σχήμα 7.5.1.2 φαίνονται καθαρά τα χαρακτηριστικά της κατανομής των μετασεισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επίσης εμφανίζεται μία σεισμική ζώνη μεταξύ ανατολικής και δυτικής επικεντρικής περιοχής (Σχήμα 7.5.1.2). Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο σχήμα έχουν μεγέθη  $M > 4.6$  έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ξεκάθαρα. Από τα παραπάνω φαίνεται μία χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας της τα ΑΒΑ.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αλκωνίδων (1981)**



**Σχήμα 7.5.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός και οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα τετράγωνα, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.6 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.



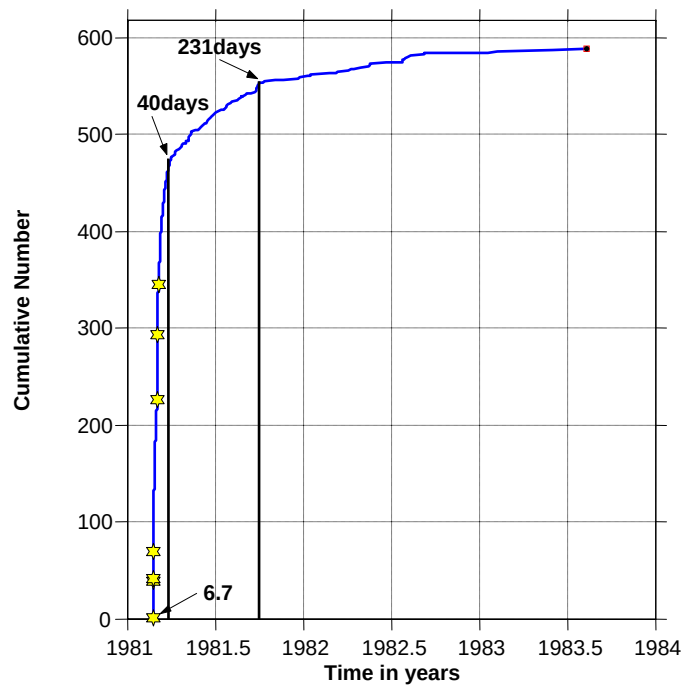
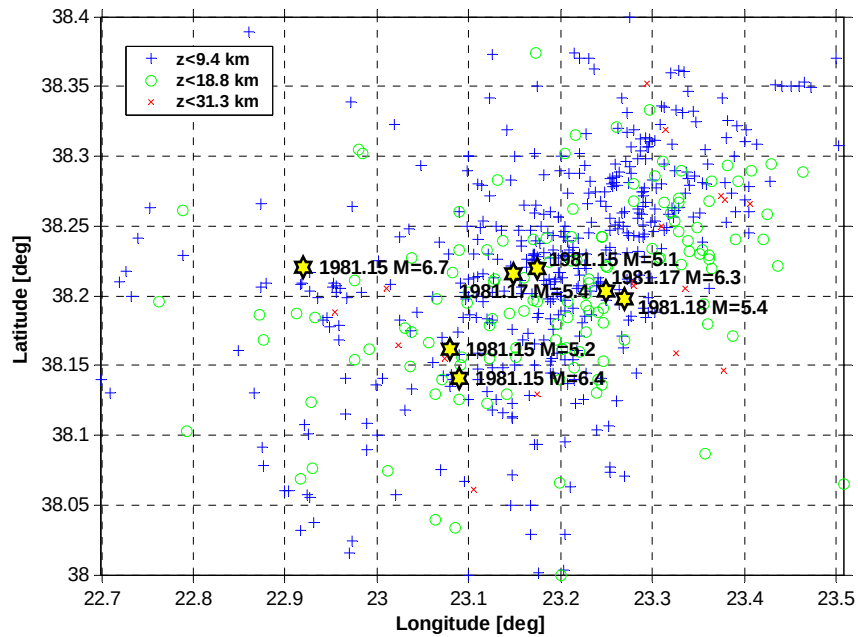
**Σχήμα 7.5.1.2:** Η χωρική κατανομή των μετασεισμών με μέγεθος  $M > 4.6$ . Οι μετασεισμοί της πρώτης υποακολουθίας συμβολίζονται με πράσινους κύκλους και της δεύτερης με κόκκινα τρίγωνα. Οι διαστάσεις τους είναι ανάλογες των μεγεθών τους.

### 7.5.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Η σεισμική δραστηριότητα αυτής της ακολουθίας βρισκόταν σε ηρεμία από τουλάχιστον το 1911. Στο διάστημα Φεβρουάριος-Απρίλιος του 1980 μία μικρή ακολουθία με σεισμούς μεγεθών μέχρι 4.7 συνέβη στο βορειότερο τμήμα της περιοχής και είχε κάποιες συνέπειες στο χωριό Καπαρέλι. Μετά από αυτή την ακολουθία καμία σεισμική δραστηριότητα δεν παρατηρήθηκε μέχρι το γεγονός του κύριου σεισμού στις 24 Φεβρουαρίου. Ο κύριος αυτός σεισμός ακολουθήθηκε από μετασεισμούς η συχνότητα των οποίων ελαττώνονταν με το χρόνο, όπως συνήθως συμβαίνει στις μετασεισμικές ακολουθίες, μέχρι τη στιγμή της εμφάνισης του ισχυρού μετασεισμού στις 4 Μαρτίου, που συνέβη στο ΒΑ τμήμα του κόλπου. Ο μετασεισμός αυτός ακολουθήθηκε επίσης από μεγάλο αριθμό μετασεισμών (Papazachos, Comninakis, Papadimitriou and Scordilis, 1983).

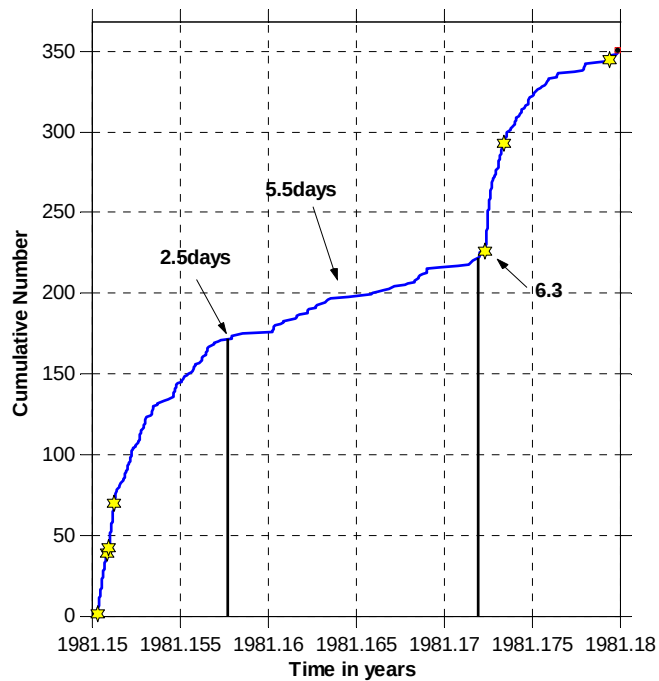
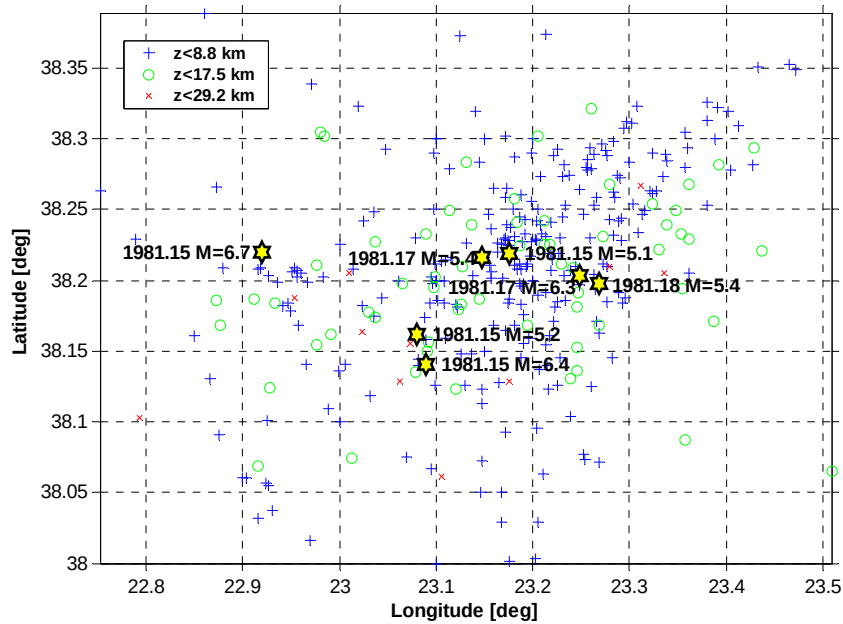
Η κύρια ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 40 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από 191 ημέρες. Συνολικά δηλαδή 231 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.5.2.1) (κάτω). Ανοίγοντας την κλίμακα του χρόνου έτσι ώστε να μελετήσουμε την πιθανή ύπαρξη μίας περιόδου σχετικής ηρεμίας πριν τον μετασεισμό στις 4 Μαρτίου, παρατηρούμε ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει ~2.5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και ~5.5 ημέρες πριν τον μετασεισμό (Σχήμα 7.5.2.2) (κάτω). Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και αμέσως πριν τον μετασεισμό στις 7/3/1981 με μέγεθος  $M=5.4$  όπου παρατηρείται επίσης μία περίοδος σχετικής ηρεμίας ~1.5 ημέρα αμέσως πριν την πραγματοποίησή του (Σχήμα 7.5.2.3) (κάτω). Μελετώντας τώρα και τη σχετική ηρεμία που επέρχεται αμέσως μετά τον κύριο σεισμό αλλά και τον μετασεισμό του Μαρτίου, παρατηρούμε ότι συμβαίνει μετά από ~2.5 (Σχήμα 7.5.2.2) (κάτω) και ~1.5 (Σχήμα 7.5.2.3) (κάτω) ημέρες αντίστοιχα για κάθε γεγονός. Χαρακτηριστικό είναι ότι η έναρξη αυτής της περιόδου σχετικής ηρεμίας αμέσως μετά τις μεγάλες διαρρήξεις συμπίπτει με την έναρξη των περιόδων της σχετικής ηρεμίας αμέσως μετά τους δύο ισχυρούς μετασεισμούς που είδαμε παραπάνω.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αλκυονίδων (1981)**



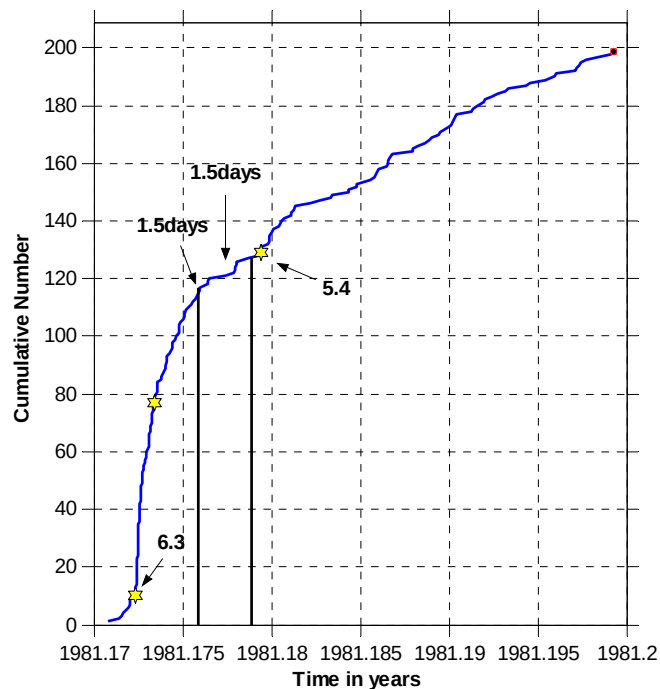
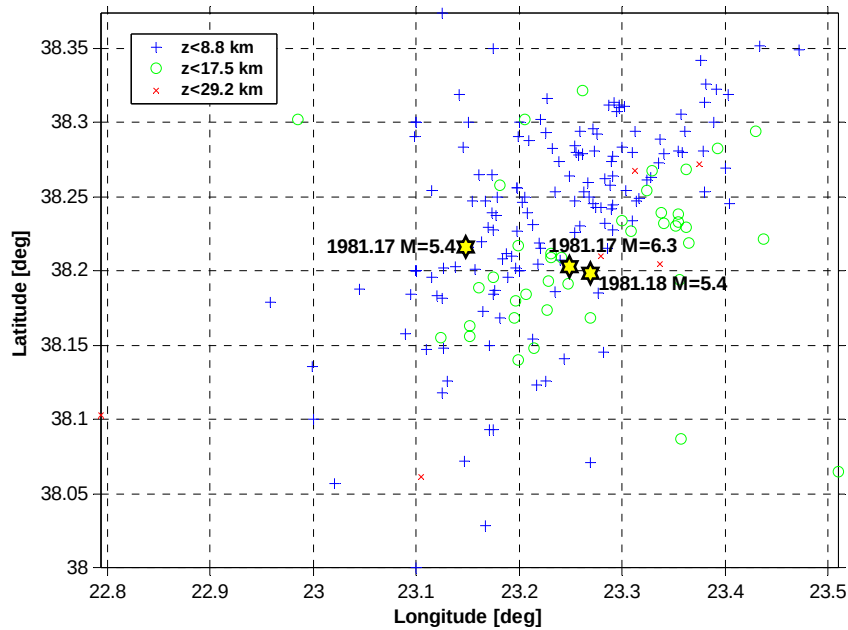
**Σχήμα 7.5.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αλκυονίδων (1981)**



**Σχήμα 7.5.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 2.5 μέρες μετά τον κύριο σεισμό. Η περίοδος σχετικής ηρεμίας(5.5 μέρες) πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους M=6.3

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αλκυονίδων (1981)**

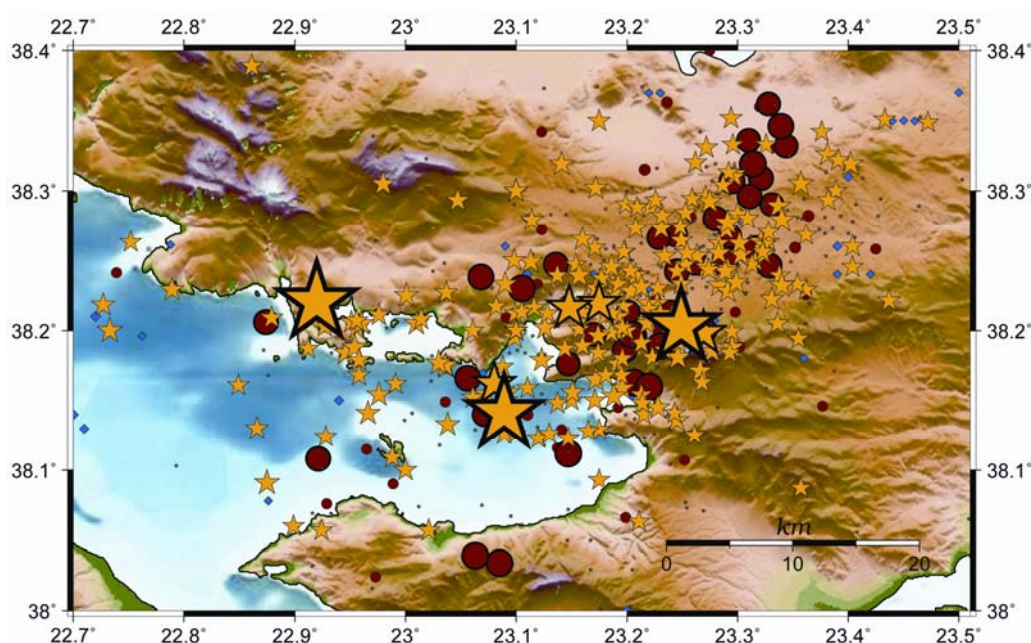


**Σχήμα 7.5.2.3:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 1.5 μέρες μετά μετασεισμό M=6.3. Η περίοδος σχετικής ηρεμίας (1.5 μέρες) πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους M=5.4.



### 7.5.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Η ταξινόμηση των μετασεισμών και η χαρτογράφησή τους έγινε σε τρεις υποομάδες με βάση το χρονικό διάστημα στο οποίο συνέβη ο καθένας. Η πρώτη υποομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 40 ημέρες από τον κύριο σεισμό, η δεύτερη αυτούς που έγιναν στις επόμενες 191 ημέρες (περίοδος ομαλοποίησης της ακολουθίας) και η τρίτη υποομάδα τους μετασεισμούς που έγιναν στο εναπομείναν χρονικό διάστημα μέχρι το τέλος των τριών χρόνων μελέτης της ακολουθίας (κανονική σεισμικότητα περιοχής) (Σχήμα 7.5.3.1). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι μετασεισμοί της δεύτερης υποομάδας ακολουθούν την κατανομή των μετασεισμών της πρώτης υποομάδας.



**Σχήμα 7.5.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων των μετασεισμών είναι ανάλογες των μεγεθών τους.

## 7.6 Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 19 Δεκεμβρίου 1981 και είχε μέγεθος  $M=7.2$ . Το επίκεντρο του τοποθετείται δυτικά των ακτών της Λέσβου ( $39.00^{\circ}B, 25.26^{\circ}A$ ). Πρόκειται για ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα με παράταξη BA-NΔ ( $40^{\circ}/67^{\circ}/-166^{\circ}$ ). Το μήκος του φτάνει τα 40 km και η επιφάνεια του τα  $1600 \text{ km}^2$ . Πρόκειται για μεγάλο σεισμό στο Β. Αιγαίο που προκάλεσε μερικές ζημιές στη Λέσβο και κυρίως στα χωριά Ίππειο και Πάμφυλα όπου κατάρρευσαν 7 σπίτια. Βλάβες παρατηρήθηκαν και στη Σκύρο όπου και εκεί κατάρρευσαν 2 σπίτια χωρίς όμως θύματα. Η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής, που μελετήθηκε για διάστημα τριών χρόνων από τον κύριο σεισμό, χωρίζεται σε δύο υποακολουθίες. Μία στο BA κλάδο του ρήγματος που οφείλεται στον κύριο σεισμό και μία στον NΔ κλάδο του ρήγματος που οφείλεται στον ισχυρότερο μετασεισμό μεγέθους  $M=6.5$  που έγινε στις 27 Δεκεμβρίου 1981. Ο διαχωρισμός των δύο υποακολουθιών έγινε χωρικά. Η πρώτη υποακολουθία περιορίζεται ανατολικά του γεωγραφικού μήκους  $25.1^{\circ}$  ενώ η δεύτερη δυτικά

**Πίνακας 7.6.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό**

| ΛΕΣΒΟΣ         |            |          |                    |
|----------------|------------|----------|--------------------|
| Κύριος σεισμός |            |          |                    |
| 7,2            | 19/12/81   | 0,59     | -                  |
| Μετασεισμοί    |            |          |                    |
| 5,1            | 19/12/1981 | 0,594    | 5min 45.6sec       |
| 5,0            | 19/12/1981 | 0,885    | 7h 4min 48sec      |
| 5,0            | 21/12/1981 | 2,579    | 47h 44min 9.6sec   |
| 5,2            | 21/12/1981 | 2,592    | 48h 2min 52.8sec   |
| 6,5            | 27/12/1981 | 8,735    | 195h 28min 48sec   |
| 5,4            | 29/12/1981 | 10,333   | 233h 49min 55.2sec |
| 5,0            | 10/04/1982 | 112,485  | 112days            |
| 5,6            | 5/10/1984  | 1021,874 | 1021days           |

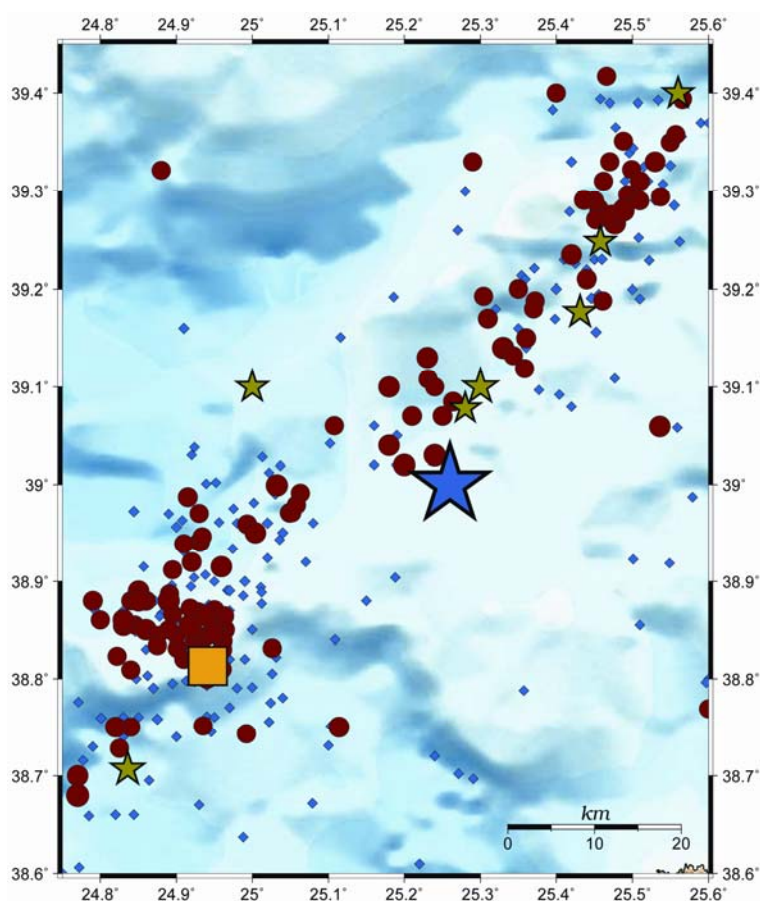
### 7.6.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μέγεθος  $M>3.6$ . Ο αριθμός των μετασεισμών ήταν ιδιαίτερα μεγάλος με κυριότερο αυτόν που έγινε 8 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και προκάλεσε και τη δεύτερη υποακολουθία μεγέθους  $M=6.5$ .

**Ενιαία ακολουθία:** Μελετώντας τις δύο υποακολουθίες συνολικά παρατηρούμε μία δικατευθυντική κατανομή τόσο των ισχυρότερων όσο και των ασθενέστερων μετασεισμών παράλληλα στην παράταξη του ρήγματος (Σχήμα 7.6.1.1.).

**1<sup>η</sup> υποακολουθία:** Μελετώντας χωριστά την πρώτη υποακολουθία φαίνεται καθαρά πως η χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας έγινε προς τα ΒΔ του κύριου σεισμού με τα επίκεντρα των ισχυρότερων μετασεισμών να συγκεντρώνονται σε εκείνη την κατεύθυνση (Σχήμα 7.6.1.1.).

**2<sup>η</sup> υποακολουθία:** Στη δεύτερη υποακολουθία παρατηρείται και πάλι μία γενική κατεύθυνση της χωρικής εξέλιξης της σεισμικότητας προς τα ΒΑ αν και φαίνεται μία αρκετά μεγάλη συγκέντρωση μετασεισμών, μικρότερων κυρίως μεγεθών, γύρω από τον μετασεισμό  $M=6.5$  (Σχήμα 7.6.1.1.).



**Σχήμα 7.6.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με μπλε αστέρι, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=6.5$  συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.6 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

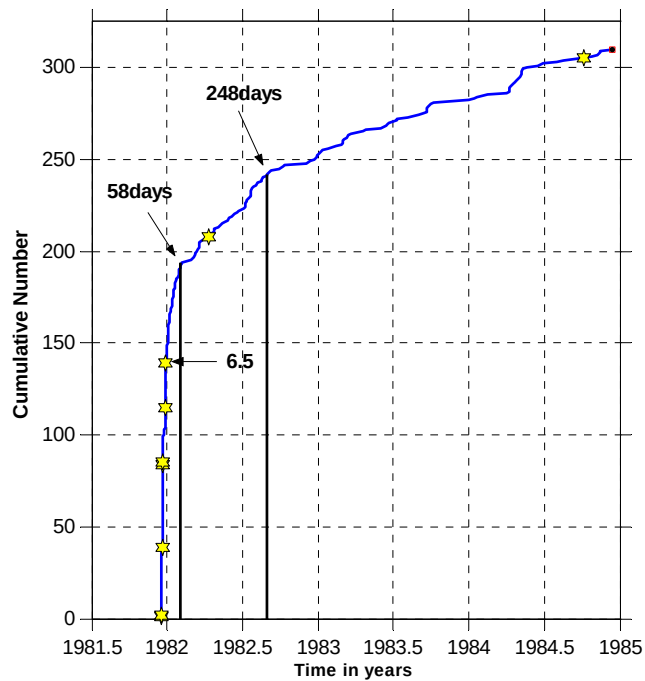
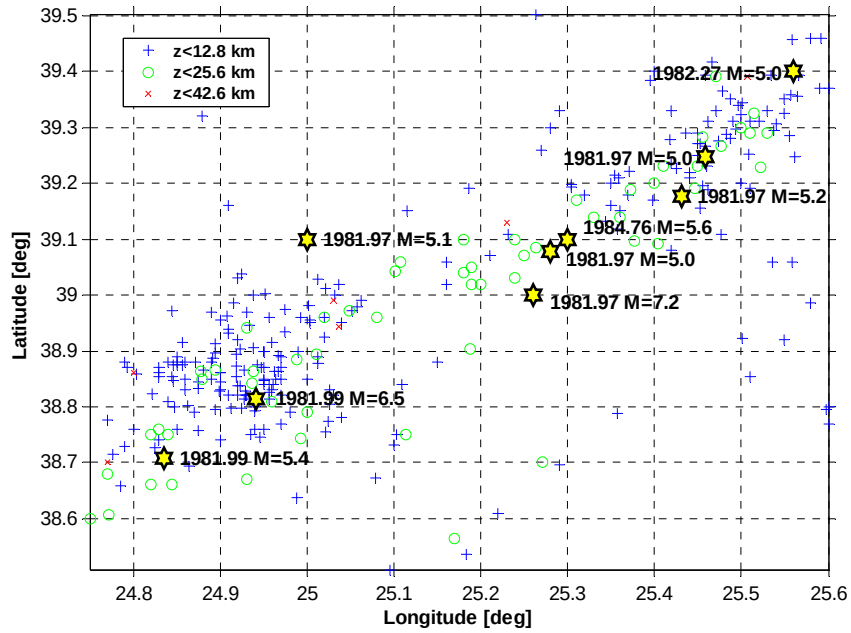
### 7.6.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

**Ενιαία ακολουθία:** Από τη μελέτη της χρονικής κατανομής, συνολικά των δύο υποακολουθιών παρατηρείται ότι η ομαλοποίηση αρχίζει να συμβαίνει 58 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και αγγίζει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής ύστερα από διάστημα 190 ημερών (Σχήμα 7.6.2.1) (κάτω). Στο σχήμα 7.6.2.2 (κάτω) φαίνεται πολύ καθαρά η περίοδος σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν τον μεγάλο μετασεισμό μεγέθους  $M=6.5$  η οποία έχει διάρκεια πέντε ημερών. Η περίοδος αυτή της σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν τον μεγάλο μετασεισμό συμπίπτει με την έναρξη του φαινομένου της σχετικής ηρεμίας αμέσως μετά τον κύριο σεισμό. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι περίπου 60 ώρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.6.2.2) (κάτω).

**1<sup>η</sup> υποακολουθία:** Η μετασεισμική δραστηριότητα αρχίζει να ελαττώνεται 54 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από διάστημα 207 ημερών (Σχήμα 7.6.2.3) (κάτω). Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι η περίοδος ομαλοποίησης οριοθετήθηκε σε ένα βαθμό γραφικά αφού όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.6.2.3 (κάτω) δεν είναι ξεκάθαρη η καμπή της καμπύλης που θα αποτελούσε και την περίοδο ομαλοποίησης της ακολουθίας.

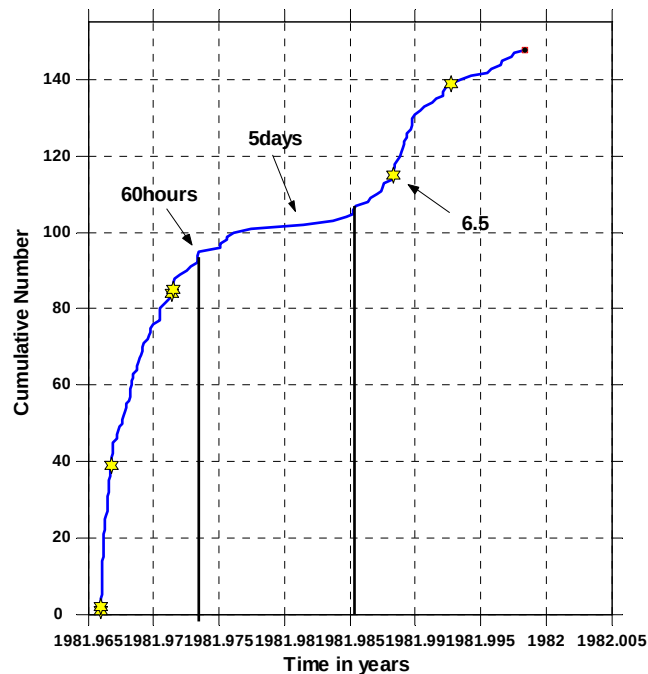
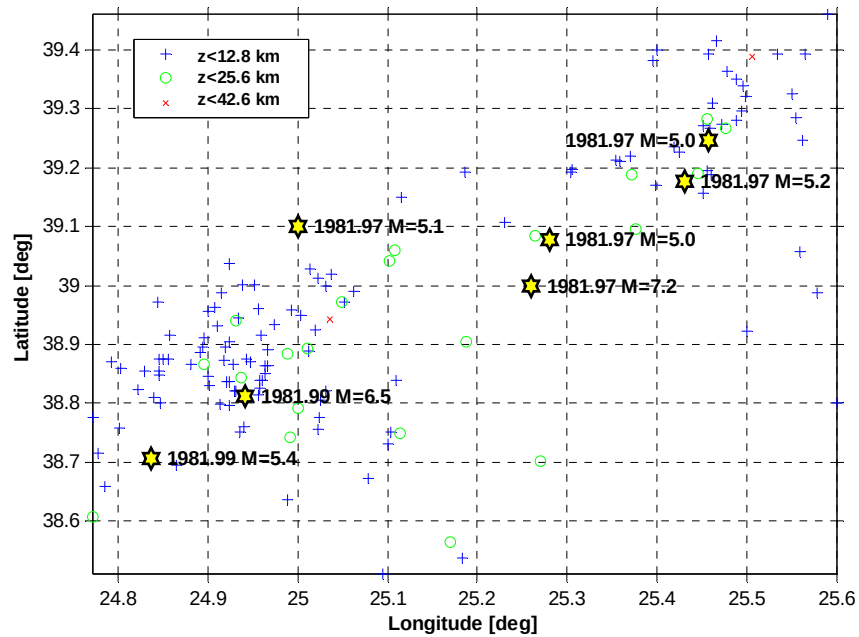
**2<sup>η</sup> υποακολουθία:** Η ομαλοποίηση της δεύτερης υποακολουθίας ξεκινάει 12 ημέρες μετά τον μετασεισμό μεγέθους  $M=6.5$  που την προκάλεσε και διαρκεί για διάστημα περίπου 23 ημερών οπότε και η σεισμικότητα φτάνει στα κανονικά της επίπεδα (Σχήμα 7.6.2.4.) (κάτω). Τρεις ημέρες μετά τον ισχυρό αυτό μετασεισμό παρουσιάζεται το φαινόμενο της σχετικής ηρεμίας (Σχήμα 7.6.2.5.) (κάτω).

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)**



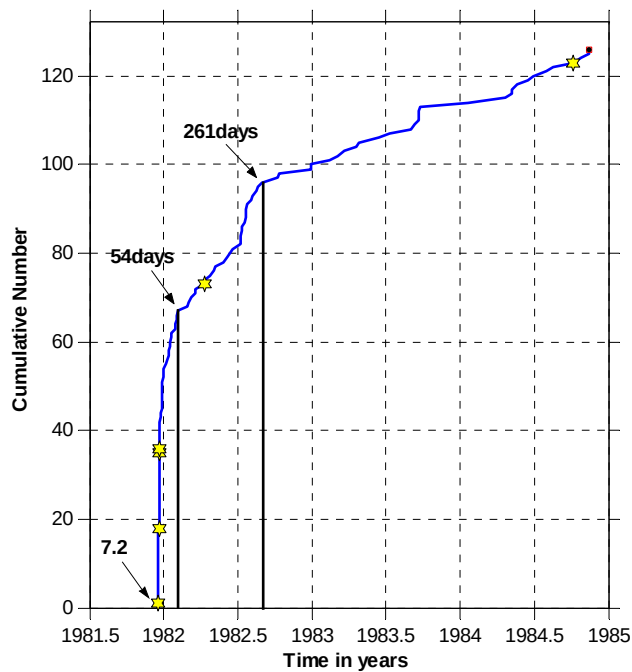
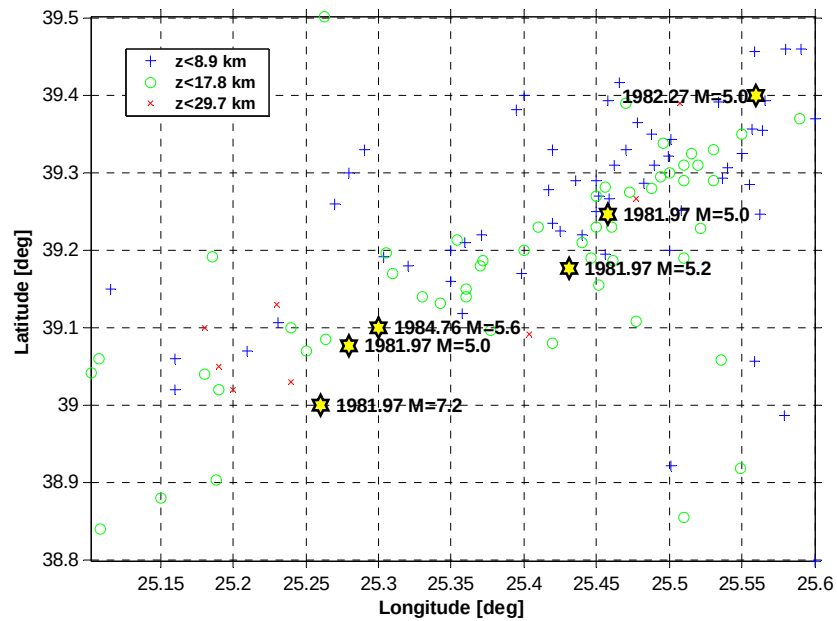
**Σχήμα 7.6.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω) Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)**



**Σχήμα 7.6.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 60 ώρες μετά τον κύριο σεισμό. Η περίοδος σχετικής ηρεμίας (5 μέρες) πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=6.5$ .

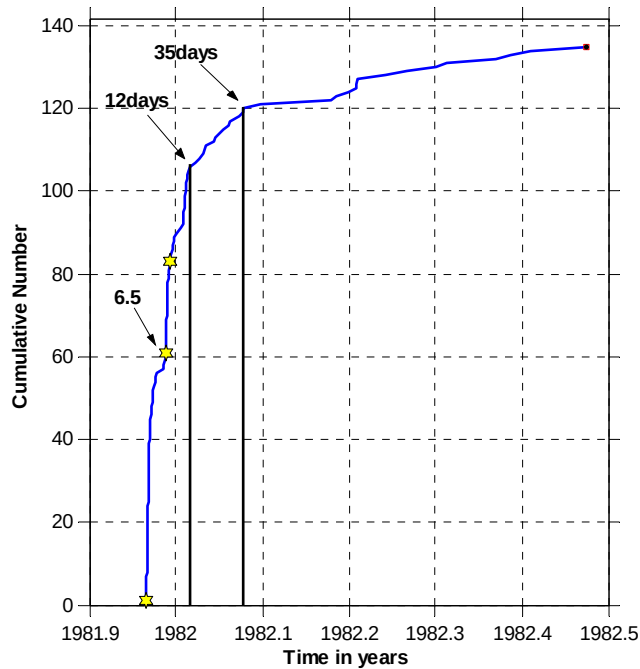
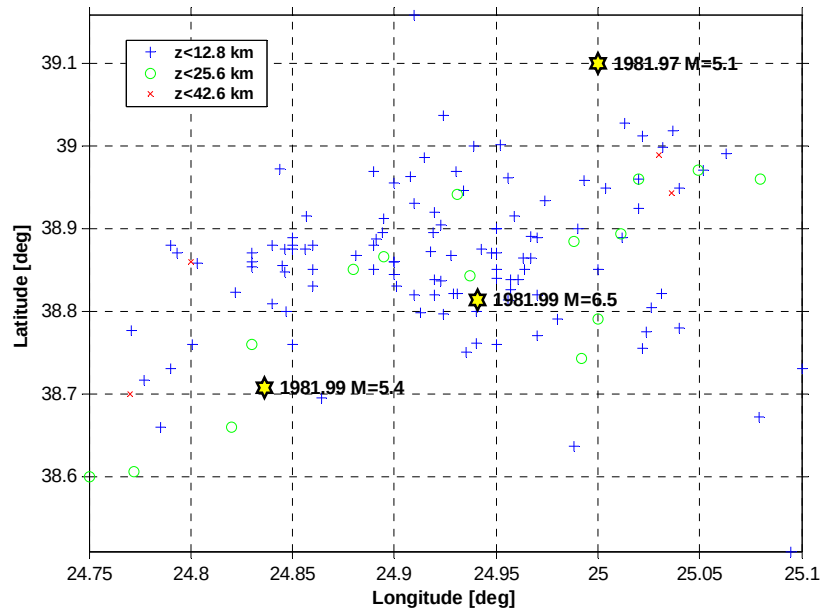
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)**



**Σχήμα 7.6.2.3:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

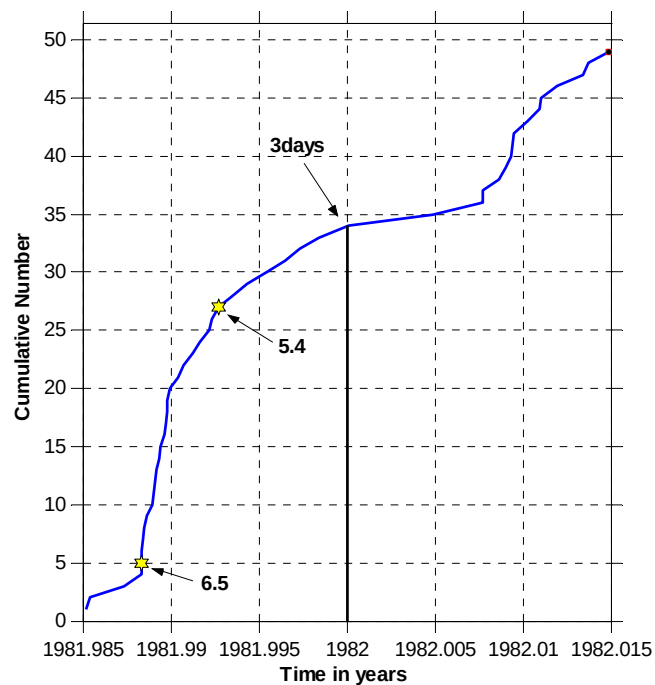
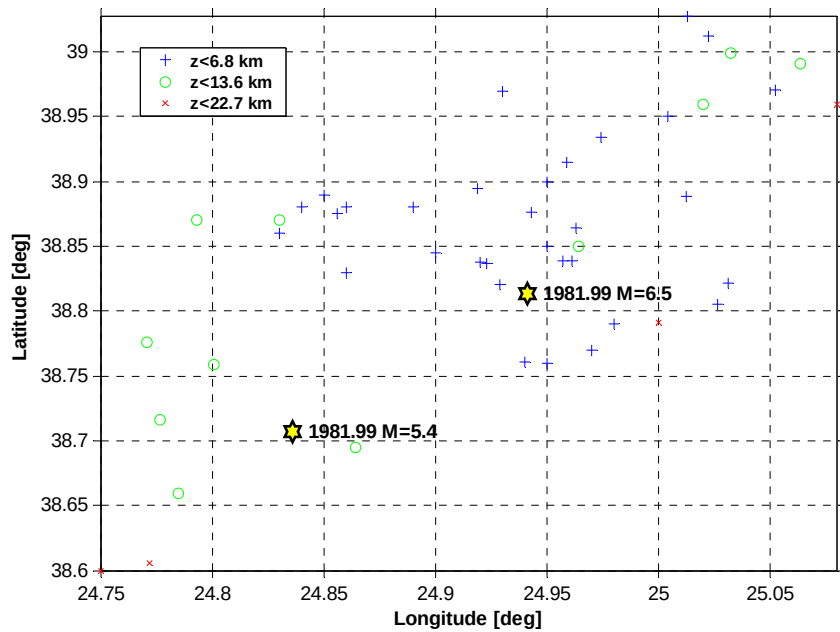


**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)**



**Σχήμα 7.6.2.4:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω) Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

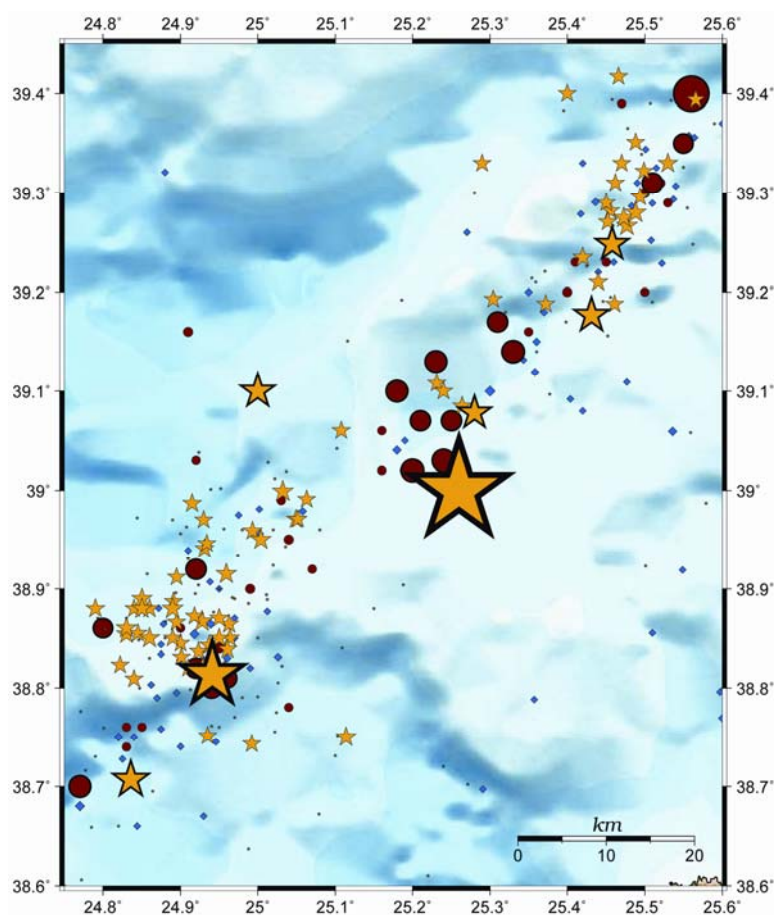
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Λέσβου (1981)**



**Σχήμα 7.6.2.5:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 3 μέρες μετά τον M=6.5.

### 7.6.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Η μελέτη της χωροχρονικής κατανομής των μετασεισμών έγινε με βάση την ενιαία ακολουθία. Οι μετασεισμοί ταξινομήθηκαν και πάλι σε τρεις ομάδες που οριοθετούνται από τα χρονικά όρια των 28 και των 248 ημερών. Παρατηρούμε ότι ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετασεισμών που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα έγιναν γύρω από τους δύο σημαντικότερους σεισμούς της ακολουθίας δηλαδή τον κύριο σεισμό και τον ισχυρότερο μετασεισμό. Ακόμη φαίνεται ότι η χωρική κατανομή όλων των μετασεισμών σε οποιαδήποτε ομάδα και αν ανήκουν ακολουθεί την παράταξη του ρήγματος κάτι το οποίο συμβαίνει και για αυτούς που οφείλονται στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής (Σχήμα 7.6.3.1.).



**Σχήμα 7.6.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, της δεύτερης ομάδας με κόκκινους κύκλους και της τρίτης ομάδας με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες των μεγεθών των μετασεισμών.

### 7.7 Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 18 Ιανουαρίου 1982 με μέγεθος  $M=7.0$ . Είχε επίκεντρο την περιοχή του Β. Αιγαίου ( $39.78^{\circ}B, 24.50^{\circ}A$ ). Πρόκειται για ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης με κανονική συνιστώσα ρήγμα. Η παράταξή του είναι ΒΑ-ΝΔ ( $225^{\circ}/89^{\circ}/-172^{\circ}$ ). Πρόκειται για ισχυρό σεισμό του βορείου Αιγαίου ο οποίος έγινε έντονα αισθητός στη Θάσο, Λέσβο και Λήμνο. Η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής, η οποία μελετήθηκε για 3 χρόνια από τον κύριο σεισμό, χωρίζεται σε δύο υποακολουθίες. Μία στο ΝΔ κλάδο του ρήγματος και μία στο ΒΑ. Ο διαχωρισμός έγινε χρονικά. Η πρώτη είναι αυτή που οφείλεται στον κύριο σεισμό μεγέθους  $M=7.0$  και διαρκεί μέχρι τα μέσα του 1983 ενώ η δεύτερη είναι αυτή που οφείλεται στο σεισμό μεγέθους  $M=6.8$  από τα μέσα του 1983 μέχρι το 1985.

**Πίνακας 7.7.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

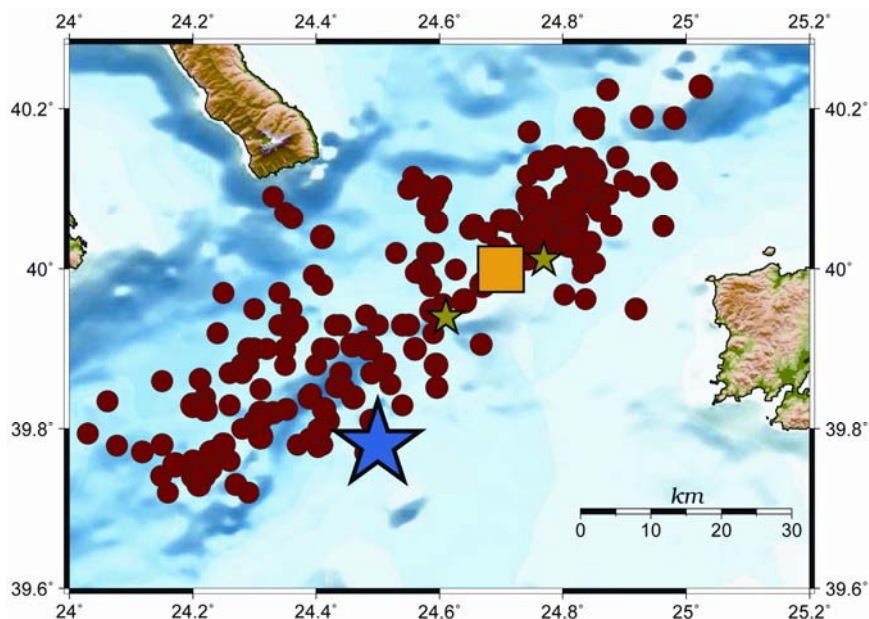
| <b>Β.ΑΙΓΑΙΟ (Θάσος)</b> |            |         |         |
|-------------------------|------------|---------|---------|
| <b>Κύριος σεισμός</b>   |            |         |         |
| 7.0                     | 18/01/1982 | 0,81    | -       |
| <b>Μετασεισμοί</b>      |            |         |         |
| 5,2                     | 10/04/1982 | 82,201  | 82days  |
| 6,8                     | 6/08/1983  | 565,655 | 565days |
| 5.0                     | 28/10/1983 | 648,214 | 648days |

#### 7.7.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής τους έχουν μέγεθος  $M>4.0$ .

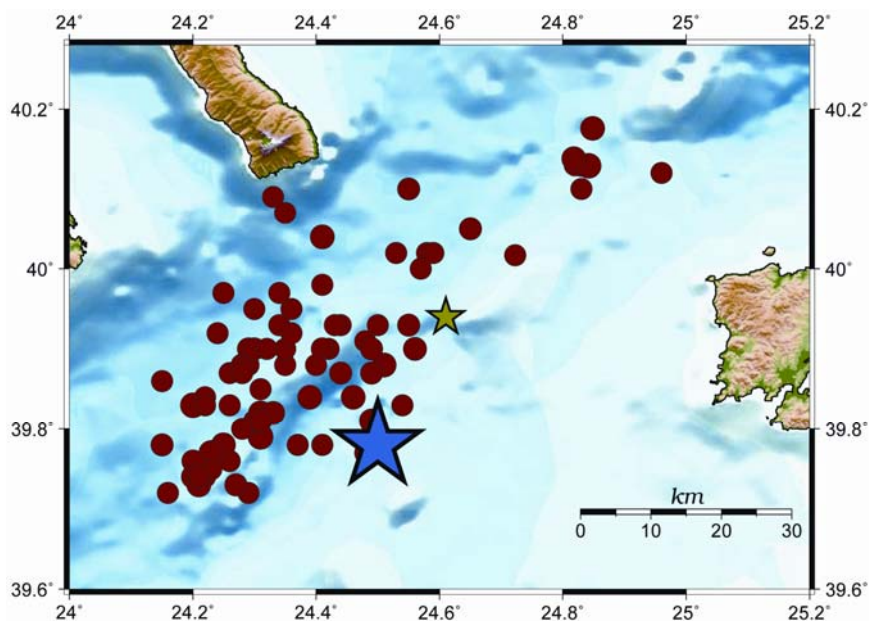
**Ενιαία ακολουθία:** Μελετώντας τις δύο ακολουθίες συνολικά παρατηρούμε ότι οι μετασεισμοί σχηματίζουν μία ενεργό ζώνη παράλληλη στο ρήγμα ΒΑ-ΝΔ και μάλιστα με τα επίκεντρα των μεγαλύτερων μετασεισμών, αλλά και του κύριου σεισμού της δεύτερης ακολουθίας, να βρίσκονται ΒΑ του κύριου σεισμού ( $M=7.0$ ) (Σχήμα 7.7.1.1.).

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)



**Σχήμα 7.7.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με μπλε αστέρι, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=6.8$  συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.

**1<sup>η</sup> υποακολουθία:** Ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=5.2$  που έγινε 82 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό έγινε στα ΒΑ του κύριου σεισμού ενώ ένα πλήθος ασθενέστερων μετασεισμών συνέβησαν κυρίως δυτικά αλλά και ανατολικά του epicέντρου αμέσως μετά την πραγματοποίησή του (Σχήμα 7.7.1.2.).

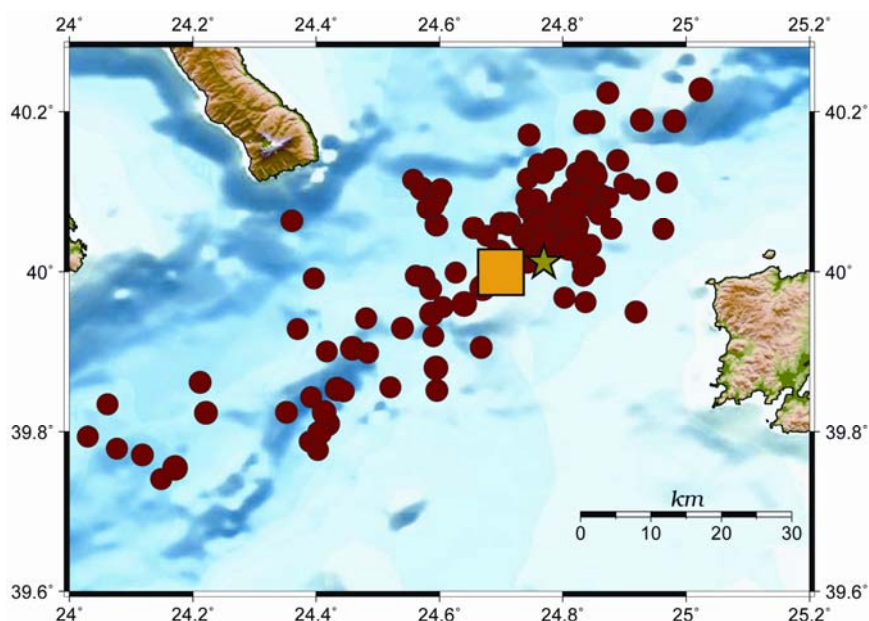


**Σχήμα 7.7.1.2:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της υποακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με μπλε αστέρι, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)**

$M=5.2$  συμβολίζεται με πράσινο αστέρι, και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.

**2<sup>η</sup> υποακολουθία:** Ο κυριότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=5.0$  γίνεται 83 ημέρες αργότερα, πολύ κοντά στον κύριο σεισμό. Το μεγαλύτερο μέρος των μετασεισμών γίνονται ΒΑ του κύριου σεισμού αν και στο ΝΔ τμήμα του ρήγματος υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετασεισμών. Παρατηρούμε δηλαδή ότι οι τάσεις συγκεντρώθηκαν κυρίως σε εμπόδια στο ΒΑ τμήμα του ρήγματος (Σχήμα 7.7.1.3.).



**Σχήμα 7.7.1.3:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της υποακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=5.0$  συμβολίζεται με πράσινο αστέρι, και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.



### 7.7.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

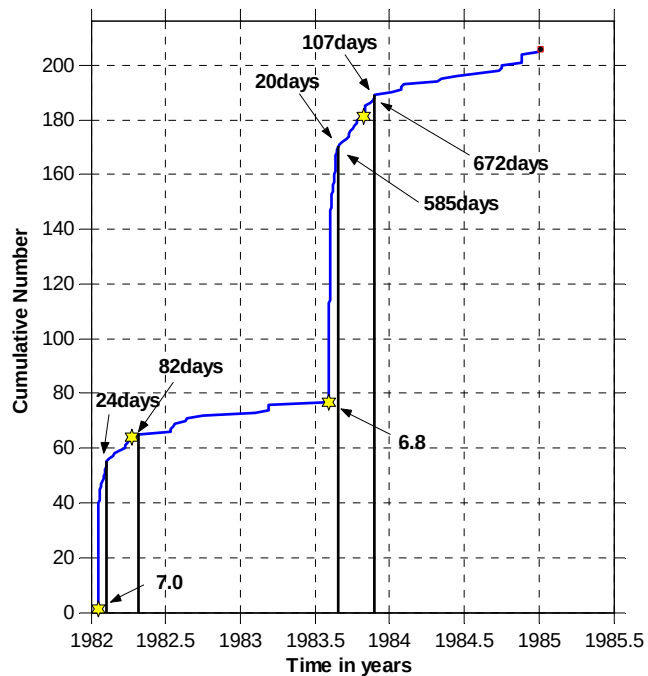
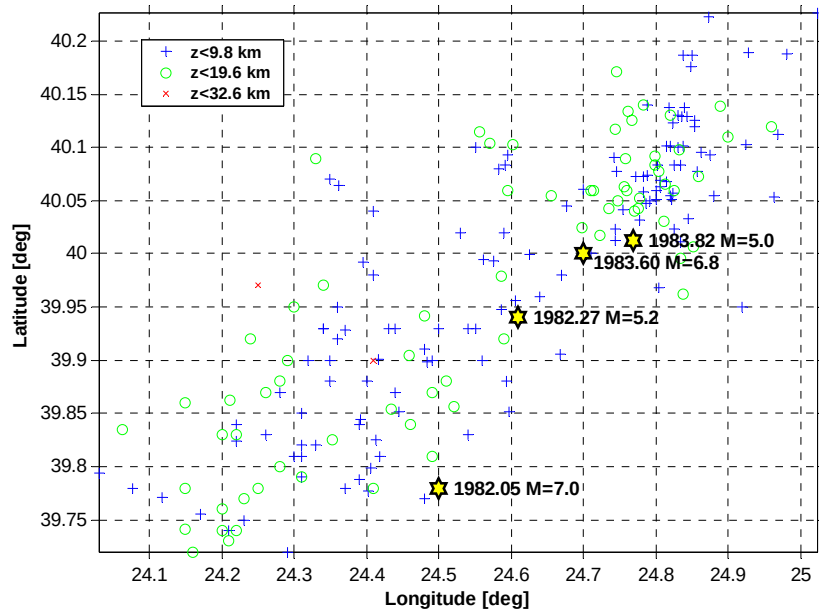
**Ενιαία ακολουθία:** Μελετώντας για τη χρονική κατανομή των μετασεισμών των δύο ακολουθιών συνολικά, παρατηρούμε ότι η ομαλοποίηση της ενιαίας ακολουθίας συμπίπτει με την ομαλοποίηση της δεύτερης ακολουθίας και ξεκινάει 585 ημέρες από τον κύριο σεισμό, ενώ αγγίζει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 87 ημέρες αργότερα, δηλαδή 672 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.7.2.1.) (κάτω).

**1<sup>η</sup> υποακολουθία:** Η μετασεισμική δραστηριότητα αρχίζει να ελαττώνεται 24 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 82 συνολικά ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.7.2.1.) (κάτω). Πολύ χαρακτηριστικό είναι στο σχήμα 7.7.2.1 (κάτω). το σημείο καμψής που δημιουργείται αμέσως πριν το μετασεισμό μεγέθους  $M=5.2$  που αντιστοιχεί στην ηρεμία πριν από τους μεγάλους μετασεισμούς. Φαίνεται παρόλα αυτά να συμπίπτει με το ξεκίνημα της ελάττωσης της σεισμικότητας γενικότερα στην ακολουθία δηλαδή στις 24 ημέρες.

**2<sup>η</sup> υποακολουθία:** Η ομαλοποίηση της δεύτερης ακολουθίας ξεκινάει 20 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό ( $M=6.8$ ) και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 87 ημέρες αργότερα, συνολικά δηλαδή 107 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.7.2.1.) (κάτω). Η σχετική ηρεμία επέρχεται 2 ημέρες μετά τον  $M=6.8$  (Σχήμα 7.7.2.2.) (κάτω) ενώ δεν παρουσιάζεται κάποιου είδους ηρεμία αμέσως πριν από τους ισχυρότερους μετασεισμούς της ακολουθίας.

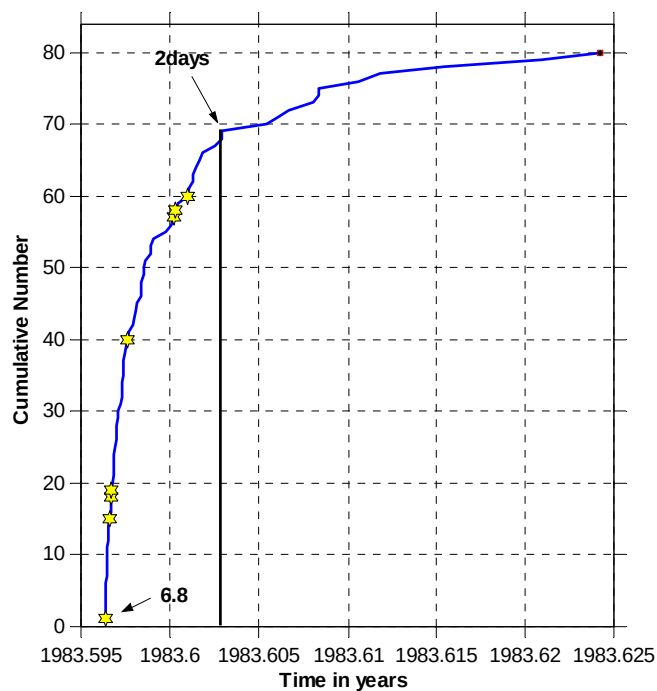
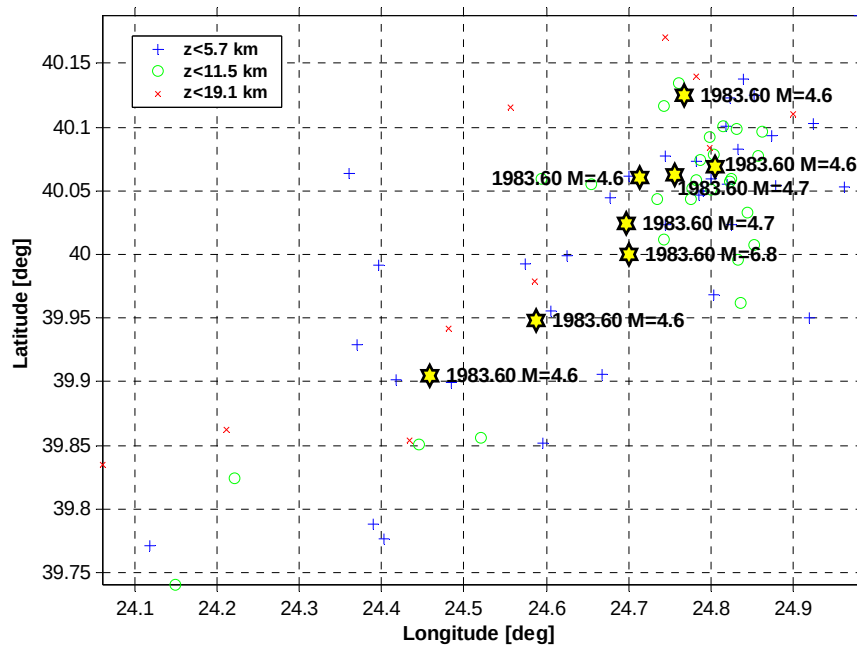


**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)**



**Σχήμα 7.7.2.1:** Χωρική(πάνω) και χρονική(κάτω) κατανομή των μετασεισμών . Φαίνονται τα όρια των περιόδων ομαλοποίησης της ενιαίας ακολουθίας, της πρώτης και της δεύτερης υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)**

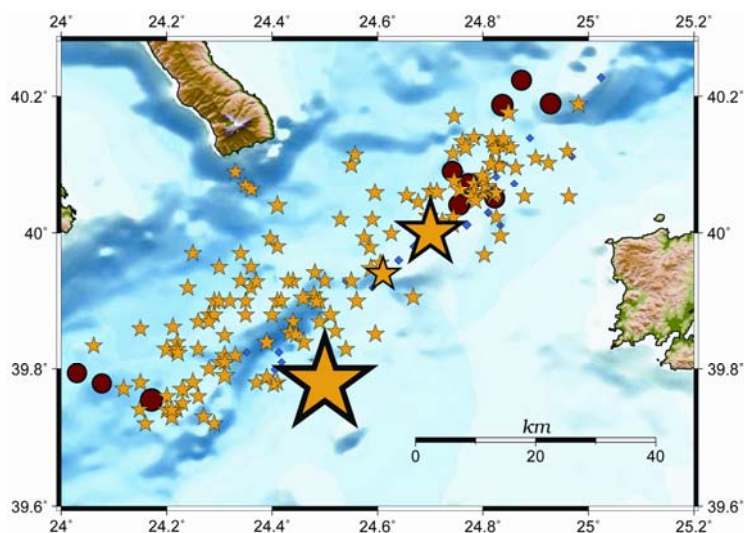


**Σχήμα 7.7.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας 2 μέρες μετά τον M=6.8.

### 7.7.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Η μελέτη της χωροχρονικής κατανομής έγινε τόσο για την ενιαία ακολουθία όσο και για τις δύο υποακολουθίες ξεχωριστά.

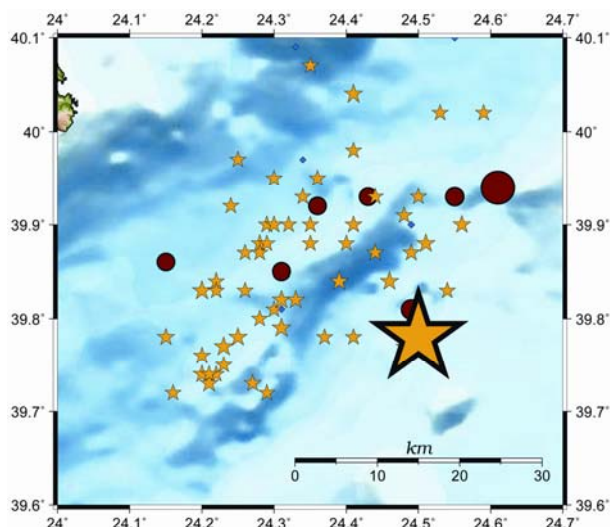
Όσον αφορά την **ενιαία ακολουθία**, οι μετασεισμοί χωρίστηκαν και πάλι σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 585 ημέρες από τον κύριο σεισμό (κίτρινα αστέρια), ανήκουν δηλαδή σε αυτήν την ομάδα όλοι οι μετασεισμοί την πρώτης υποακολουθίας και ένα μέρος της δεύτερης. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν στις επόμενες 87 ημέρες (κόκκινους κύκλους), που αποτελούν την περίοδο ομαλοποίησης της ενιαίας ακολουθίας (συμπίπτει με την περίοδο ομαλοποίησης της δεύτερης υποακολουθίας). Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν μέχρι το τέλος του διαστήματος των τριών χρόνων που έγινε η μελέτη (μπλε ρόμβους). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι οι μετασεισμοί που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα (περίοδος ομαλοποίησης) εμφανίζονται μόνο στα δύο άκρα της ενεργούς ζώνης που έχουν σχηματίσει οι μετασεισμοί χωρίς να υπάρχει κανένας μετασεισμός στο κεντρικό τμήμα αυτής της περιοχής (Σχήμα 7.7.3.1.).



**Σχήμα 7.7.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της ενιαίας ακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.

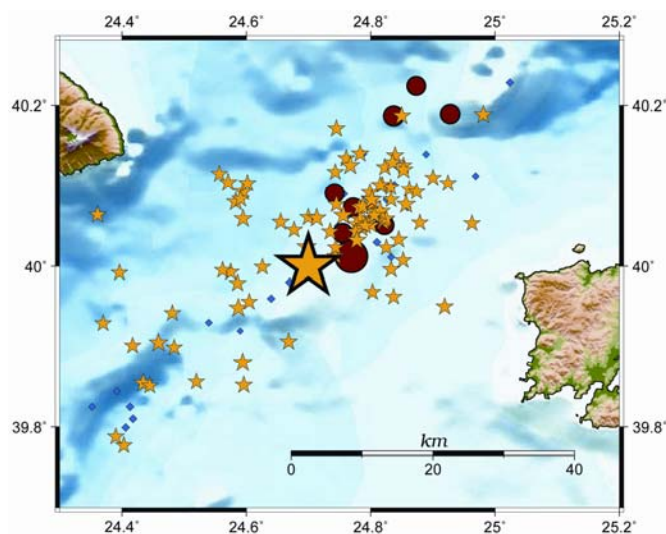
Μελετώντας ξεχωριστά την **πρώτη υποακολουθία**, που οφείλεται στον κύριο σεισμό, χωρίσαμε τους μετασεισμούς σε τρεις υποομάδες: η πρώτη περιλαμβάνει όσους μετασεισμούς έγιναν τις πρώτες 24 ημέρες από τον κύριο σεισμό, η δεύτερη όσους έγιναν τις επόμενες 58 ημέρες και η τρίτη όσους έγιναν στο εναπομείναν διάστημα μέχρι το μετασεισμό μεγέθους  $M=6.8$  (Σχήμα 7.7.3.2.).

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)



**Σχήμα 7.7.3.2:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της πρώτης υποακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.

Τέλος όσον αφορά τη **δεύτερη υποακολουθία**, που οφείλεται στον μετασεισμό μεγέθους  $M=6.8$ , οι τρεις ομάδες που χωρίστηκαν οι μετασεισμοί είναι οι εξής: η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 20 ημέρες από τον μεγάλο μετασεισμό, η δεύτερη όσους έγιναν στις επόμενες 87 ημέρες και η τρίτη όσους έγιναν στο εναπομείναν διάστημα μέχρι το τέλος της μελέτης (Σχήμα 7.7.3.3.). Από τη χωροχρονική μελέτη των μετασεισμών και των δύο υποακολουθιών παρατηρείται οι μετασεισμοί και των τριών ομάδων έχουν την ίδια διεύθυνση ανάπτυξης (BA-ND).



**Σχήμα 7.7.3.3:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της δεύτερης υποακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.

### 7.8 Σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)

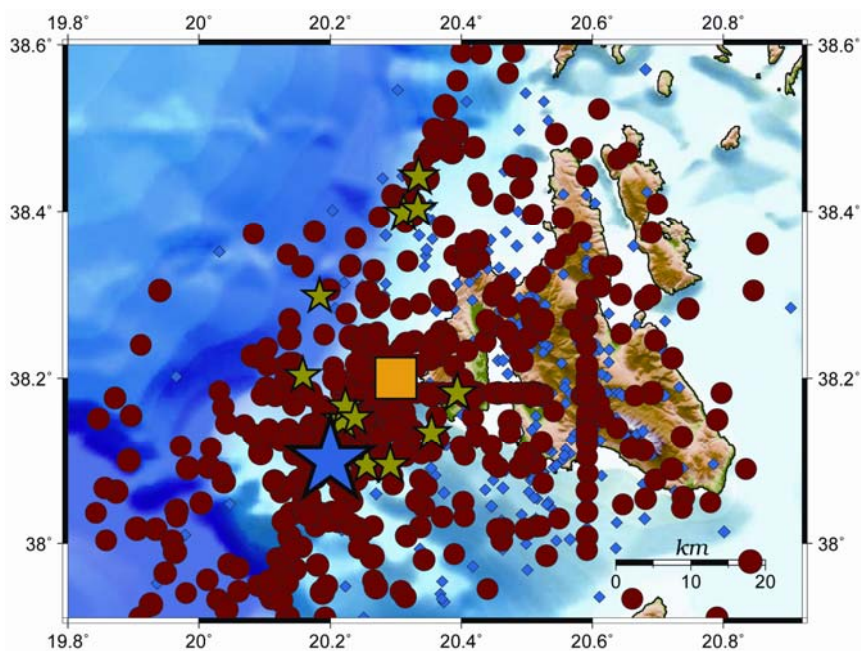
Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 17 Ιανουαρίου 1983 και είχε μέγεθος  $M=7.0$ . Το επίκεντρό του βρισκόταν στο θαλάσσιο χώρο ΝΔ της Κεφαλονιάς ( $38.1^{\circ}B-20.2^{\circ}A$ ). Η σεισμικότητα στην περιοχή οφείλεται σε ένα δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα μήκους 80km ( $40^{\circ}/57^{\circ}/172^{\circ}$ ) (Scordilis, Karakaisis, Karakostas, Panagiotopoulos, Comninakis and Papazachos, 1985). Προκάλεσε μόνο υλικές ζημιές στο νησί της Κεφαλονιάς.

**Πίνακας 7.8.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό**

| <b>ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ(Αργοστόλι)</b>                                         |            |         |                          |
|---------------------------------------------------------------------|------------|---------|--------------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b>                                               |            |         |                          |
| 7.0                                                                 | 17/01/1983 | 0,528   | -                        |
| <b>Μετασεισμοί</b>                                                  |            |         |                          |
| 5,2                                                                 | 17/01/1983 | 0,662   | 3h 12min 57.6sec         |
| 5,3                                                                 | 17/01/1983 | 0,703   | 4h 12min                 |
| 5,8                                                                 | 19/01/1983 | 2,001   | 29h 27min 36sec          |
| 5,4                                                                 | 31/01/1983 | 14,644  | 351h 27min 21.6sec       |
| 6,2                                                                 | 23/03/1983 | 65,994  | 65days                   |
| 5.0                                                                 | 24/03/1983 | 66,108  | 2h 16min 48sec           |
| 5,4                                                                 | 24/03/1983 | 66,178  | 4h 24min 57.6sec         |
| 5,1                                                                 | 24/03/1983 | 66,535  | 12h 59min 2.4sec         |
| 5,1                                                                 | 24/03/1983 | 66,816  | 19h 43min 40.8sec        |
| 5,2                                                                 | 25/03/1983 | 67,789  | 43h 4min 48sec           |
| 5.0                                                                 | 25/03/1983 | 67,875  | 45h 8min 38.4sec         |
| 5,2                                                                 | 13/05/1983 | 116,993 | 50days 23h 58min 33.6sec |
| 5,4                                                                 | 14/05/1983 | 117,967 | 51days 23h 21min 7.2sec  |
| 5,1                                                                 | 14/05/1983 | 117,976 | 51days 23h 34min 4.8sec  |
| Αναφέρεται στο χρονικό διάστημα από τον μετασεισμό $M=6,2$ και μετά |            |         |                          |

### 7.8.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής τους έχουν μεγέθη  $M > 3.6$ . Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.8.1.1 η μετασεισμική ακολουθία αποτελείται από πλήθος μετασεισμών με ισχυρότερο εξ αυτών, αυτόν που συνέβη 65 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και είχε μέγεθος  $M=6.2$ . Τα εστιακά βάθη αυτών των μετασεισμών φτάνουν μέχρι τα 15 km αν και κυρίως ομαδοποιούνται σε βάθη μικρότερα των 10km. Παρατηρείται μία BBD-NNΔ κατανομή τους ειδικότερα για τους ισχυρότερους μετασεισμούς με μεγέθη  $M > 5.0$ . Ο κύριος σεισμός έγινε στο νοτιότερο τμήμα του ρήγματος σε σχέση με τους άλλους ισχυρούς μετασεισμούς που προήλθαν από διαρρήξεις σε βορειότερα σημεία του ρήγματος. Ο ισχυρότερος μετασεισμός της ακολουθίας προήλθε από τη διάρρηξη ενός εμποδίου BA του επικέντρου του κυρίου σεισμού προφανώς λόγω της ανακατανομής των τάσεων μετά τον τελευταίο.



**Σχήμα 7.8.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με μπλε αστέρι, ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=6.2$  συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

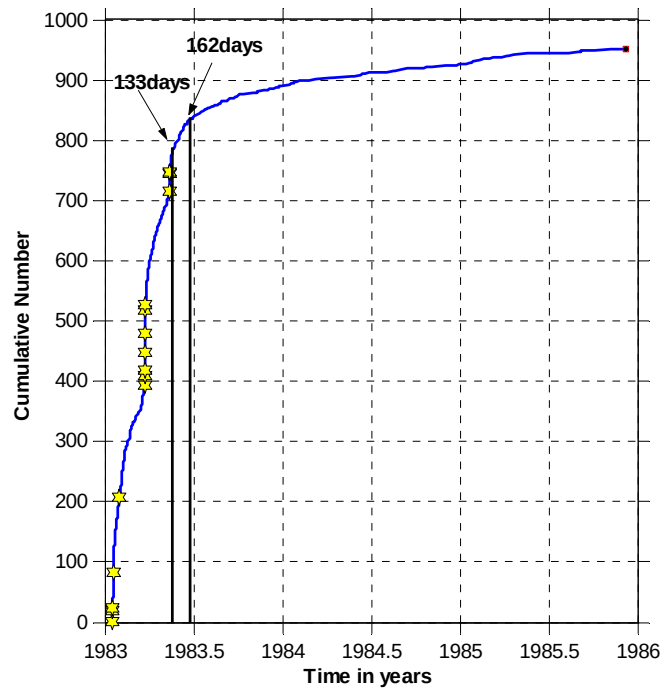
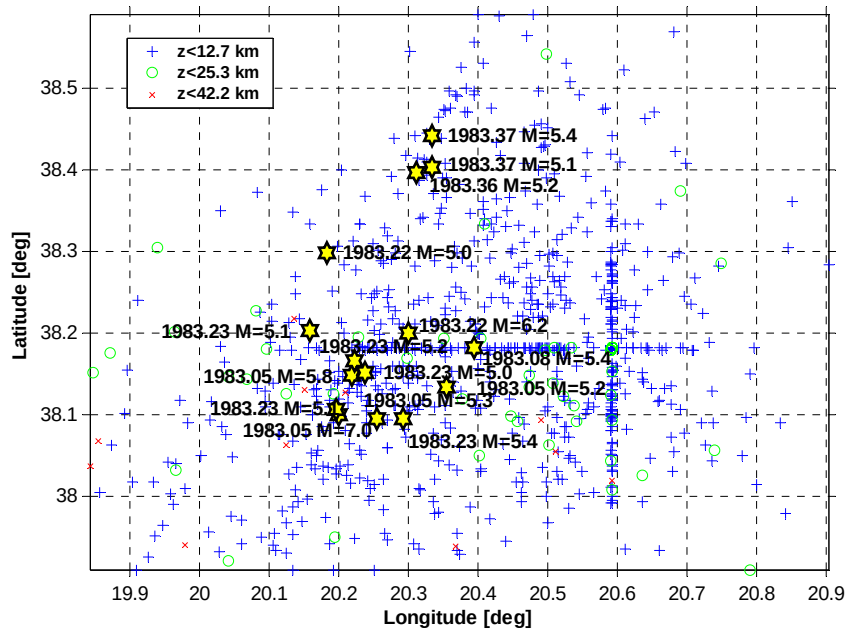


### 7.8.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 133 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει στα όρια της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 29 ημέρες αργότερα. Συνολικά δηλαδή 162 ημέρες μετά τον κύρια διάρρηξη (Σχήμα 7.8.2.1) (κάτω). Μελετώντας την ακολουθία για διάστημα 6 μηνών από τον κύριο σεισμό παρατηρούμε ότι αμέσως πριν από δύο ισχυρούς μετασεισμούς εμφανίζεται μία κατάσταση σχετικής ηρεμίας. Ειδικότερα για τον ισχυρότερο μετασεισμό της ακολουθίας, η σχετική ηρεμία ξεκινάει 19 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και διαρκεί 46 ημέρες. Ενώ για τη δεύτερη περίπτωση που αναφέρεται στον μετασεισμό μεγέθους  $M=5.2$  που έγινε 116 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό, η κατάσταση ηρεμίας ξεκινάει 42 ημέρες πριν την πραγματοποίησή του δηλαδή 7 ημέρες μετά τον μετασεισμό  $M=6.2$  (Σχήμα 7.8.2.2) (κάτω). Παρατηρώντας την εξέλιξη της ακολουθίας τις πρώτες 10 ημέρες αυτής βγαίνει το συμπέρασμα ότι η σχετική ηρεμία αμέσως μετά τον κύριο σεισμό επέρχεται ύστερα από 5 ημέρες (Σχήμα 7.8.2.3) (κάτω) ενώ μελετώντας τις πρώτες 10 ημέρες της ακολουθίας αμέσως μετά τον ισχυρότερο μετασεισμό  $M=6.2$  συμπεραίνουμε ότι η σχετική ηρεμία επέρχεται περίπου 2 ημέρες (46 ώρες) μετά (Σχήμα 7.8.2.4) (κάτω).

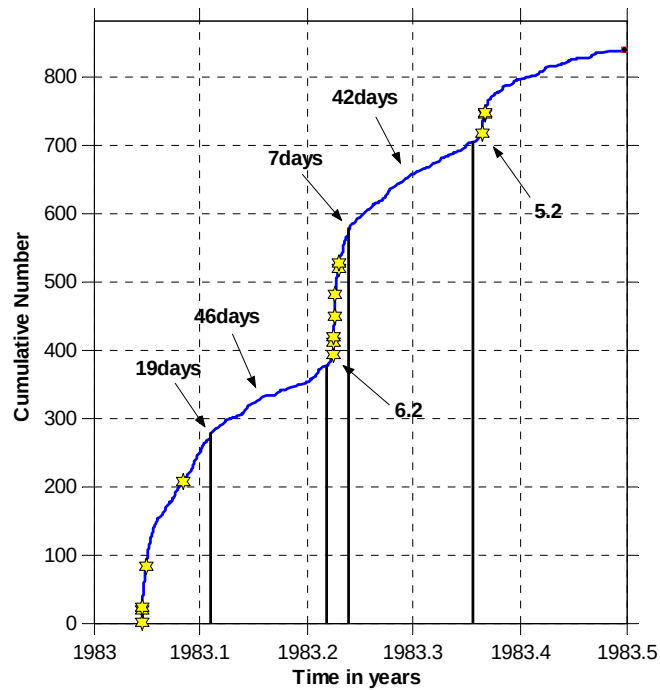
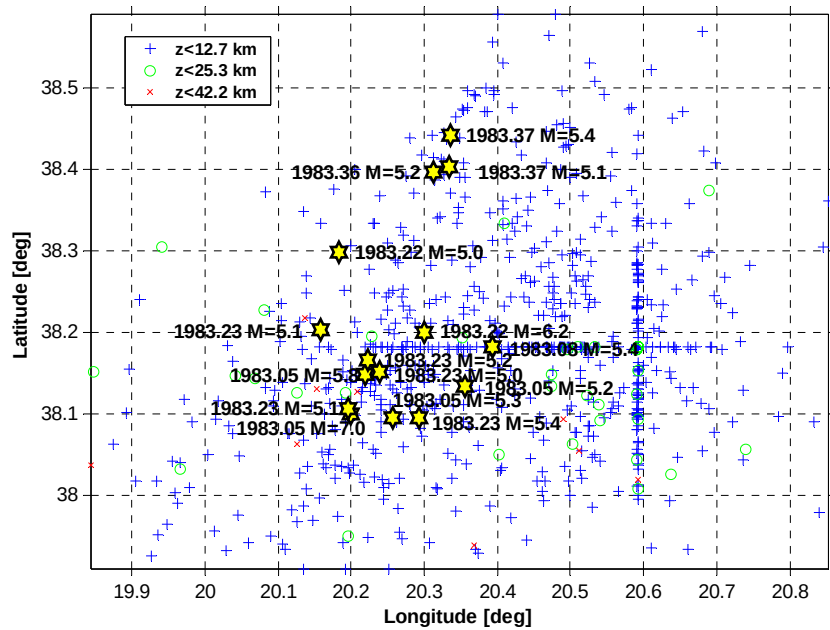


Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)



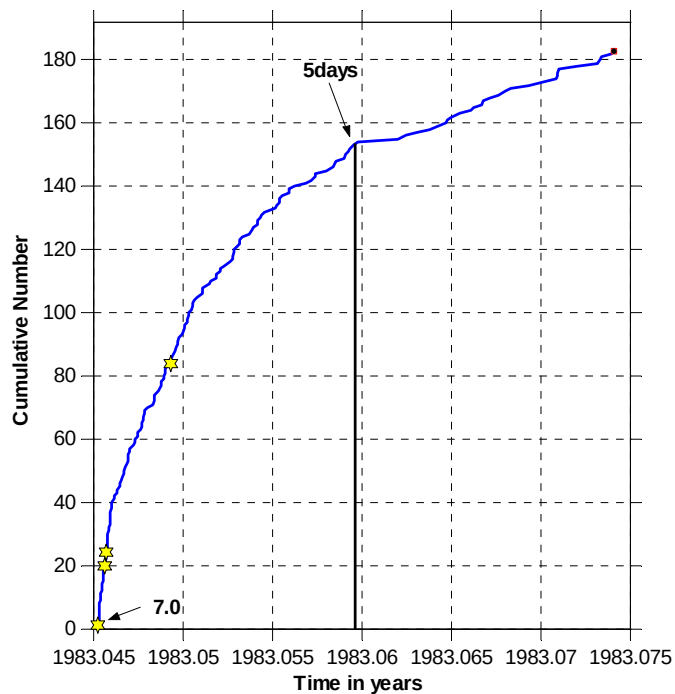
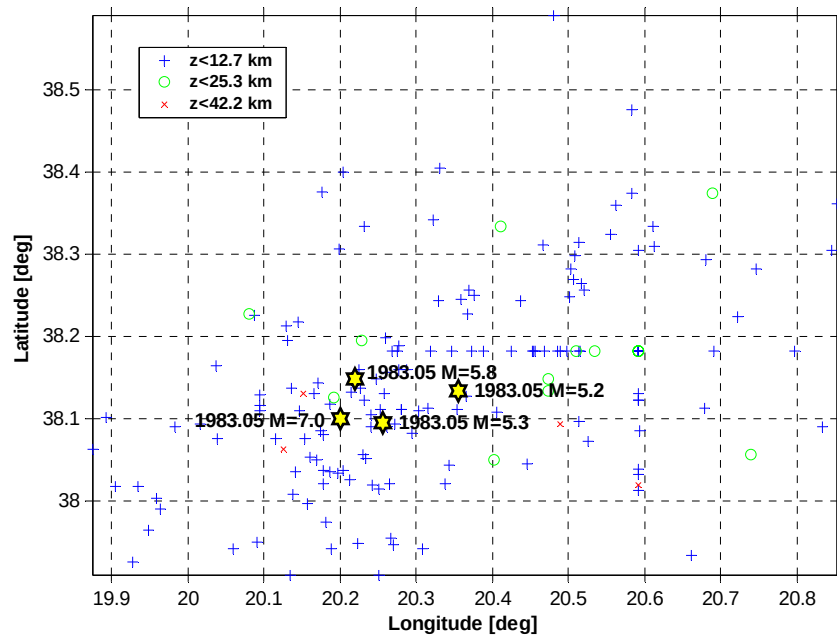
**Σχήμα 7.8.2.1:** Χωρική(πάνω) και χρονική(κάτω) κατανομή των μετασεισμών . Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)



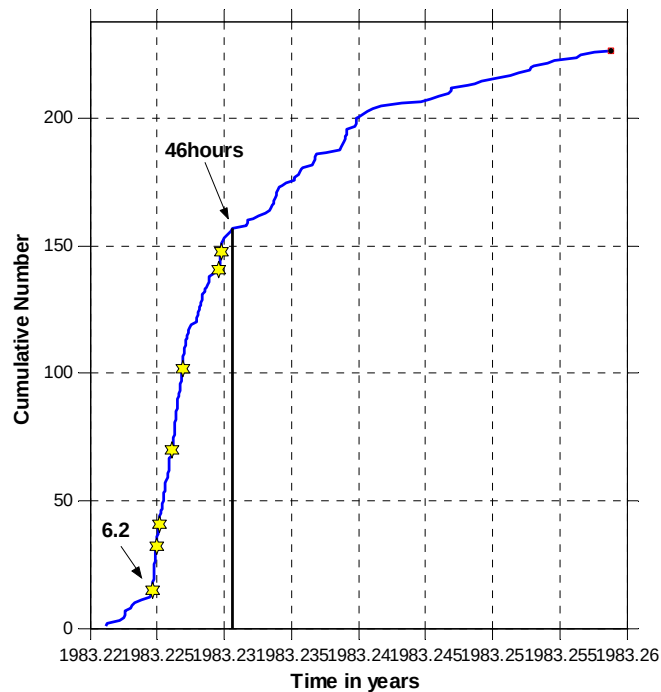
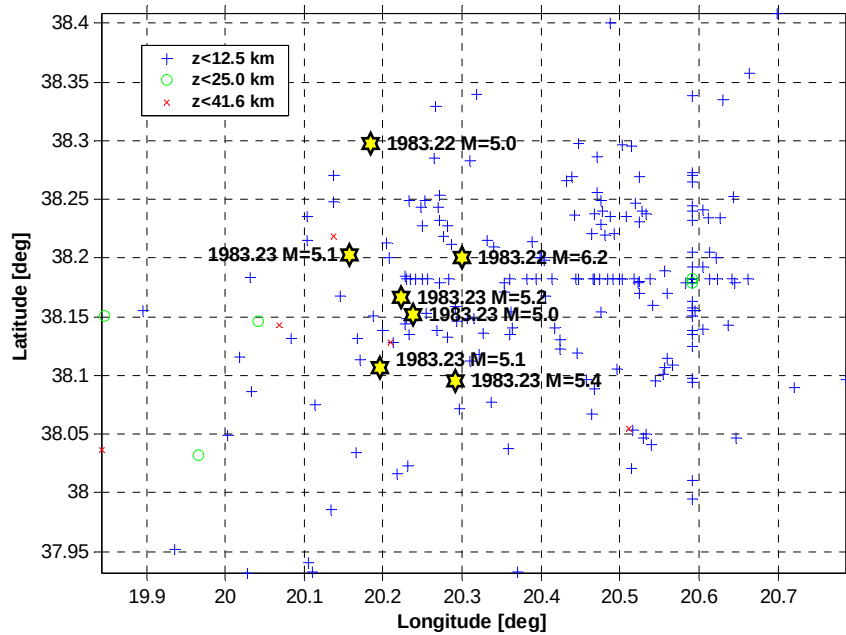
**Σχήμα 7.8.2.2:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Φαίνονται οι περίοδοι σχετικής ηρεμίας πρόδρομες των δύο ισχυρών μετασεισμών.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)



**Σχήμα 7.8.2.3:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Φαίνεται η εξασθένηση της σεισμικότητας αμέσως μετά τον κύριο σεισμό.

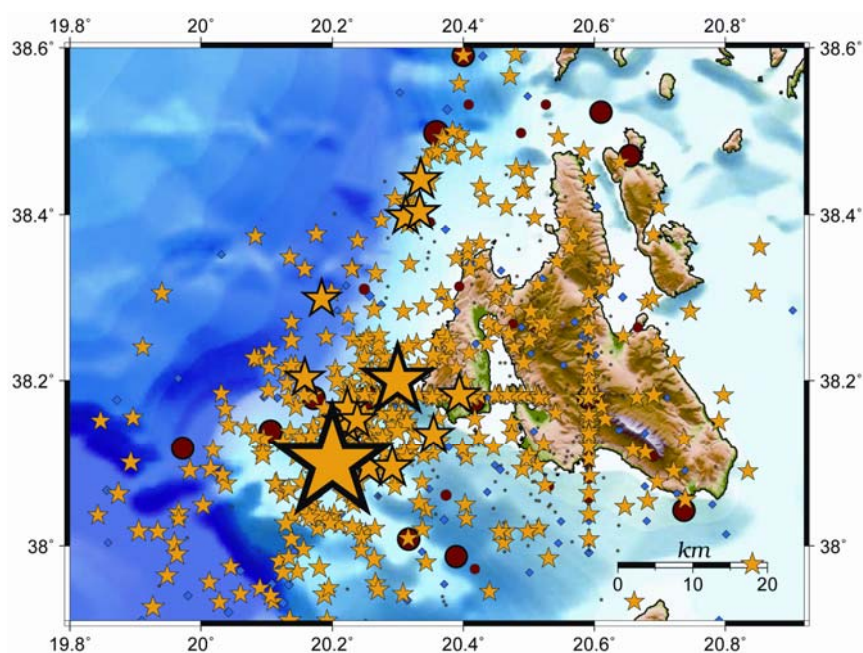
Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς (Αργοστόλι) (1983)



Σχήμα 7.8.2.4: Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Φαίνεται η εξασθένηση της σεισμικότητας μετά τον μετασεισμό M=6.2

### 7.8.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί κατά τη χαρτογράφηση της χωροχρονικής κατανομής τους χωρίζονται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει αυτούς που έγιναν τις πρώτες 133 ημέρες από τον κύριο σεισμό (κίτρινα αστέρια) η δεύτερη περιλαμβάνει αυτούς που έγιναν τις επόμενες 29 ημέρες κατά την περίοδο ομαλοποίησης της ακολουθίας (κόκκινοι κύκλοι) και η τρίτη με μετασεισμούς που οφείλονται στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής και έγιναν στο χρονικό διάστημα από την οριστική ομαλοποίηση της ακολουθίας ως το τέλος των τριών χρόνων (μπλε ρόμβοι). Ο αριθμός των μετασεισμών που ανήκουν στην πρώτη ομάδα είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των μετασεισμών των δύο άλλων ομάδων. Οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας και πάλι συμβαίνουν σε μακρινές αποστάσεις από τον κύριο σεισμό κατά το πλείστον (Σχήμα 7.8.3.1).



**Σχήμα 7.8.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.

### 7.9 Σεισμική ακολουθία Ηλείας (Κυλλήνη) (1988)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 16 Οκτωβρίου 1988 και είχε μέγεθος  $M=6.0$ . Το επίκεντρό του ήταν στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κυλλήνης και Ζακύνθου ( $37.91^{\circ}B, 21.06^{\circ}A$ ). Πρόκειται για ένα ανάστροφο ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα, παράταξης περίπου B-N που βυθίζεται προς τα ανατολικά (προς τη μεριά της Πελοποννήσου). Ανήκει στη σεισμική ζώνη που εκτείνεται ΒΔ-ΝΑ με πολύ υψηλή σεισμική δραστηριότητα. Αυτή η ζώνη καταλαμβάνει την περιοχή κοντά στο ΒΔ τμήμα του ελληνικού τόξου και η σεισμικότητά της οφείλεται στη σύγκλιση της πλάκας της Μεσογείου με τη μικροπλάκα του Αιγαίου. Κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα περισσότεροι από 20 σεισμοί με μεγέθη  $M>5.0$  συνέβησαν σε απόσταση μικρότερη των 20km από το επίκεντρο του σεισμού του 1988 (Karakostas, Scordilis, Papaioannou, Papazachos and Mountrakis, 1993). Ο συγκεκριμένος σεισμός προκάλεσε καταστροφές στην Ηλεία και έγινε έντονα αισθητός στη Ζάκυνθο καθώς και στην Αχαΐα και την Αιτωλοακαρνανία.

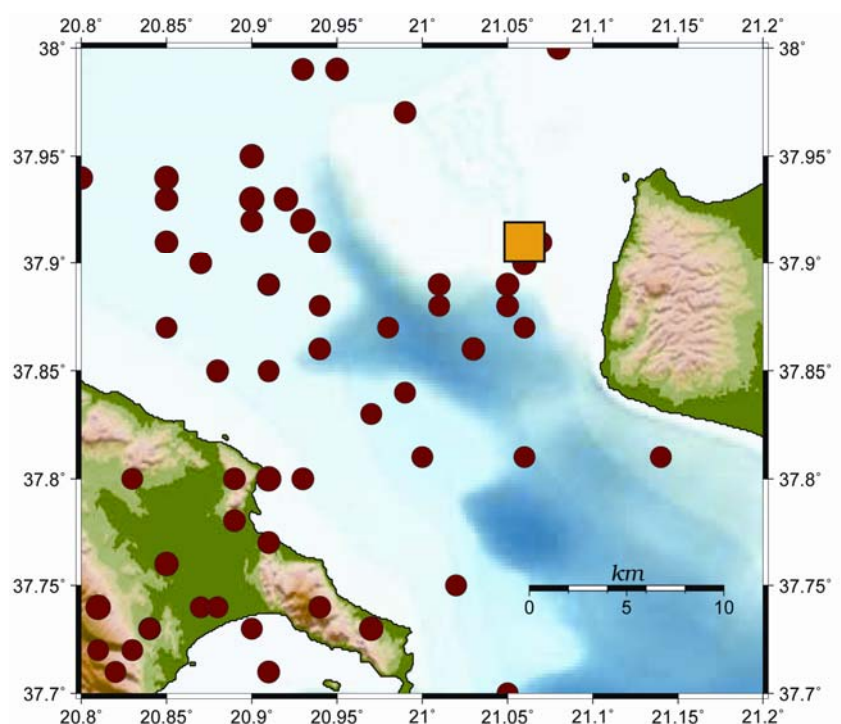
**Πίνακας 7.9.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| <b>ΗΛΕΙΑ (Κυλλήνη)</b> |            |         |         |
|------------------------|------------|---------|---------|
| <b>Κύριος σεισμός</b>  |            |         |         |
| 6                      | 16/10/1988 | 0,524   | -       |
| <b>Μετασεισμοί</b>     |            |         |         |
| 4,8                    | 31/10/1988 | 15,124  | 15days  |
| 4,8                    | 24/05/1990 | 585,833 | 585days |

#### 7.9.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής τους έχουν μέγεθος  $M>4$ . Οι μετασεισμοί ομαδοποιούνται σε βάθος περίπου 5km αλλά φτάνουν και σε βάθη κοντά στα 16km. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 7.9.1.1. έχουμε μία σχεδόν B-N έκταση των μετασεισμών, με το επίκεντρο του κύριου σεισμού να βρίσκεται στη μέση περίπου. Αυτό δείχνει ότι η χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας έγινε και προς τις δύο μεριές του ρήγματος με τον κύριο σεισμό να γίνεται στο μέσο του. Το μήκος της ενεργούς ζώνης που σχηματίζουν οι

μετασεισμοί είναι 17km που είναι σε καλή συμφωνία με το μήκος ρήγματος ικανού να δώσει σεισμό μεγέθους  $M=6.0$ .



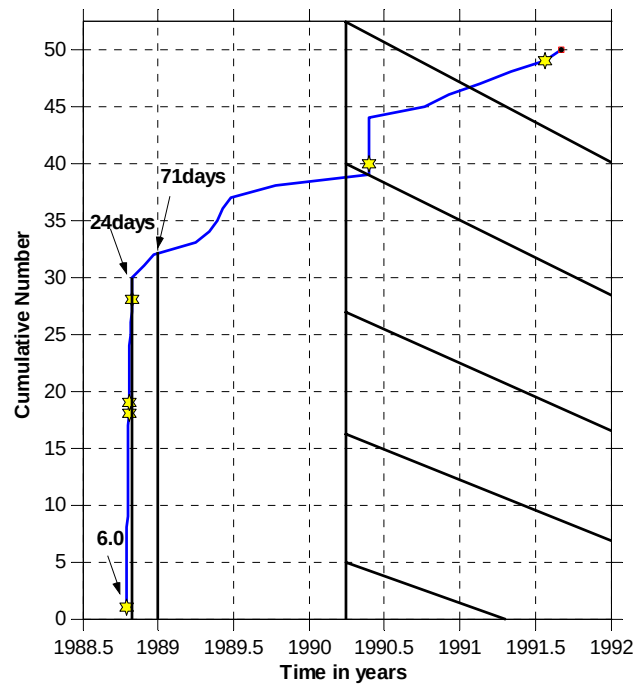
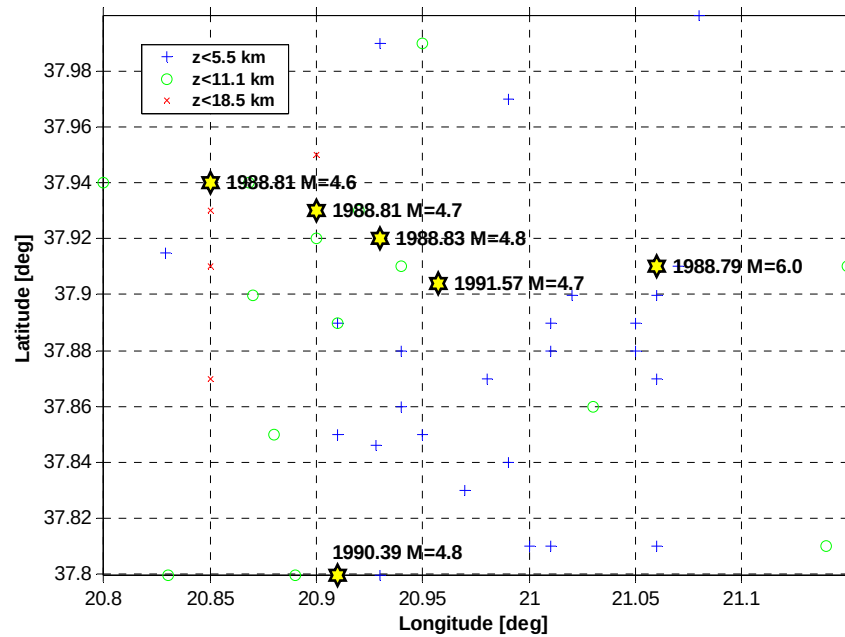
**Σχήμα 7.9.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.

## 7.9.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Όσον αφορά τη χρονική κατανομή και σε αυτήν την ακολουθία αμέσως μετά τον κύριο σεισμό έχουμε ένα πλήθος μετασεισμών η συχνότητα των οποίων όμως μειώνεται έπειτα από κάποιο χρονικό όριο. Το όριο αυτό είναι οι 24 ημέρες και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 71 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.9.2.1.) (κάτω). Θα πρέπει να τονιστεί ότι η μελέτη της χρονικής κατανομής των μετασεισμών έγινε μέχρι τις 24/5/1990 διότι στη συνέχεια παρατηρείται μία ασυνήθιστη σεισμικότητα, χωρίς όμως να δικαιολογείται από τα δεδομένα, ίσως λόγω του γεγονότος ότι αυτά είναι πολύ λίγα για εκείνο το χρονικό διάστημα. Μελετώντας τις πρώτες 20 ημέρες της σεισμικότητας βλέπουμε ότι η σχετική ηρεμία αμέσως μετά τον κύριο σεισμό επέρχεται ύστερα από μόλις 17 ώρες (Σχήμα 7.9.2.2.) (κάτω). Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε και μία περίοδο ηρεμίας, αμέσως πριν τον μετασεισμό μεγέθους  $M=4.8$  (31/10/1988), που συμβαίνει 7 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό.

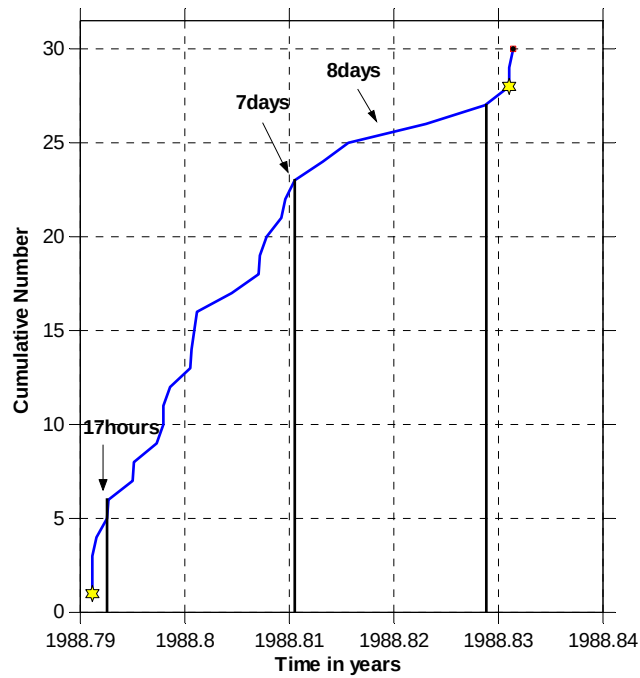
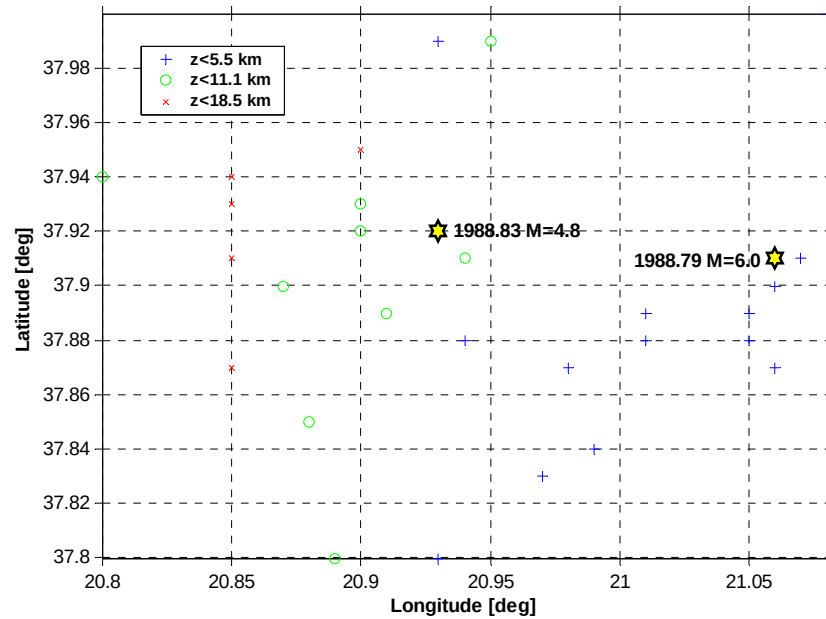


**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Ηλείας (Κυλλήνη) (1988)**



**Σχήμα 7.9.2.1:** Χωρική(πάνω) και χρονική(κάτω) κατανομή των μετασεισμών . Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

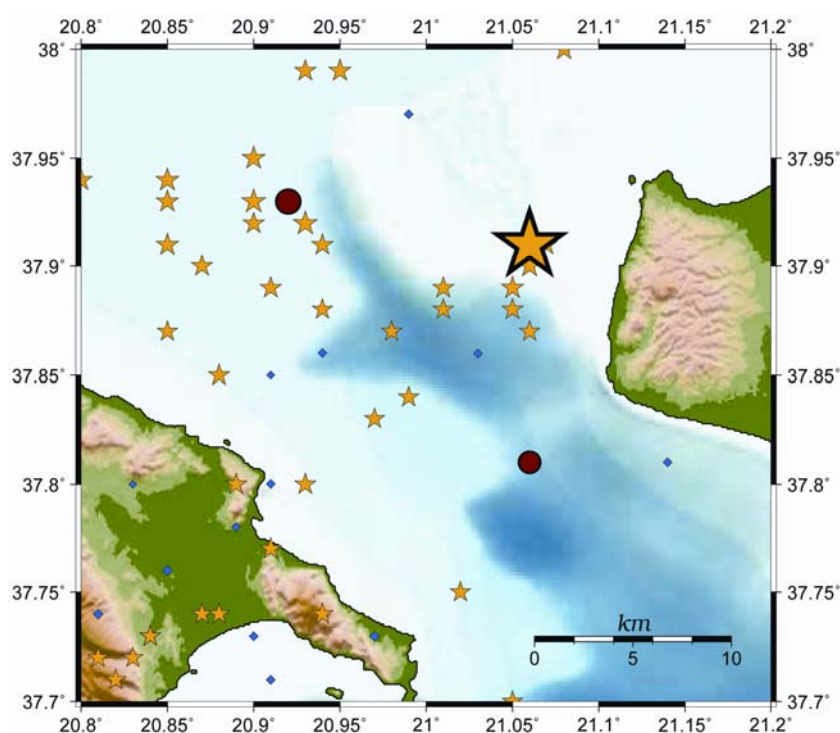
Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Ηλείας (Κυλλήνη) (1988)



**Σχήμα 7.9.2.2:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών. Φαίνονται η ελάττωση σεισμικότητας μετά τον κύριο σεισμό και η περίοδος σχετικής ηρεμίας πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=4.8$ .

### 7.9.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι τρεις ομάδες στις οποίες χωρίστηκαν οι μετασεισμοί για τη μελέτη της χωροχρονικής τους κατανομής είναι οι εξής: η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει μετασεισμούς που έγιναν στις πρώτες 24 ημέρες από τον κύριο σεισμό (κίτρινα τρίγωνα) , η δεύτερη ομάδα όσους έγιναν στις επόμενες 47 ημέρες(περίοδος ομαλοποίησης) (κόκκινοι κύκλοι) και η τρίτη ομάδα όσους μετασεισμούς έγιναν στο εναπομείναν διάστημα μέχρι δηλαδή τις 24/5/1990 (μπλε ρόμβοι). Τα δεδομένα είναι πολύ λίγα ώστε να μπορέσει να βγει κάποιο τεκμηριωμένο συμπέρασμα από τη μελέτη της χωροχρονικής κατανομής των μετασεισμών της συγκεκριμένης ακολουθίας (Σχήμα 7.9.3.1).



**Σχήμα 7.9.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.

### 7.10 Σεισμική ακολουθία Πρέβεζας (1990)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 16 Ιουνίου 1990 με μέγεθος  $M=6.0$ . Το επίκεντρό του βρίσκεται κοντά στην πόλη της Πρέβεζας με επικεντρικές συντεταγμένες  $39.10^{\circ}B, 20.70^{\circ}A$ . Το ρήγμα στο οποίο οφείλεται ο κύριος σεισμός είναι ένα ανάστροφο ρήγμα ΒΑ-ΝΔ παράταξης και ΒΔ διεύθυνσης βυθίσεως. Το μήκος του φτάνει τα 20 χιλιόμετρα. Ο σεισμός προκάλεσε βλάβες στην περιοχή της Πρέβεζας όπου τραυματίστηκε ελαφρά ένα άτομο. Έγινε αισθητός στη ΒΔ ηπειρωτική Ελλάδα και στο νησί της Κέρκυρας. Ο σεισμός αυτός του Ιουνίου του 1990 όπως θα φανεί και στη συνέχεια είχε ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση γειτονικών δομών. Τα δεδομένα για λεπτομερή επεξεργασία αυτών των δομών δεν είναι επαρκή.

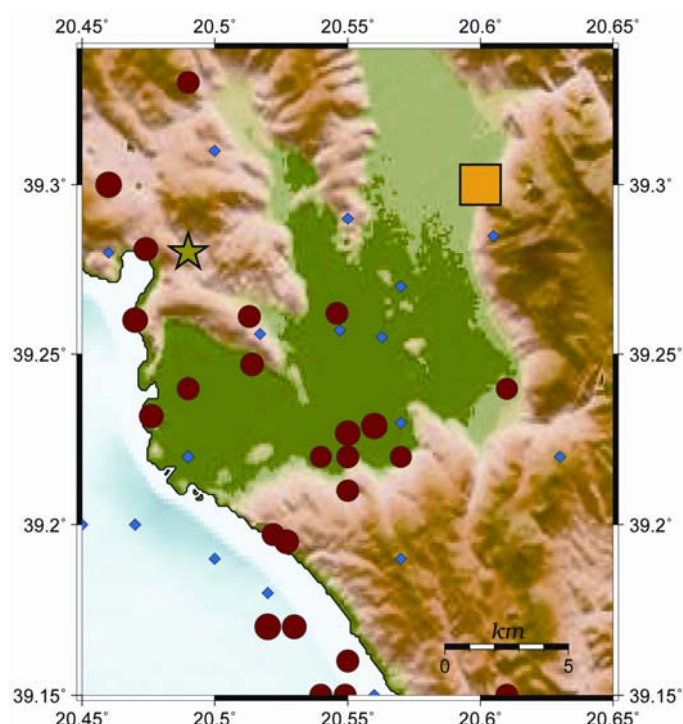
**Πίνακας 7.10.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| <b>ΠΡΕΒΕΖΑ</b>        |            |          |          |
|-----------------------|------------|----------|----------|
| <b>Κύριος σεισμός</b> |            |          |          |
| 6.0                   | 16/06/1990 | 0,094    | -        |
| <b>Μετασεισμοί</b>    |            |          |          |
| 4,9                   | 4/08/1990  | 49,312   | 49days   |
| 4,9                   | 15/03/1991 | 272,562  | 272days  |
| 4,9                   | 26/08/1992 | 802,630  | 802days  |
| 4,9                   | 31/05/1993 | 1080     | 1080days |
| 5,3                   | 13/06/1993 | 1093,976 | 1093days |

#### 7.10.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.6$ . Η κατανομή των μετασεισμών γίνεται κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος με τον κύριο σεισμό να γίνεται στο ΒΑ άκρο του και τους υπόλοιπους μετασεισμούς στα ΝΔ του. Το γεγονός αυτό φανερώνει μία μονοκατευθυντική διάδοση της σεισμικότητας προς τα ΝΔ (Σχήμα 7.10.1.1). Ακόμη φαίνεται ότι τα μεγέθη των μετασεισμών είναι μικρότερα από 5.0 εκτός από ενός ο

οποίος όπως θα φανεί και στη συνέχεια προήλθε από την ενεργοποίηση γειτονικών δομών.



**Σχήμα 7.10.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, ο μετασεισμός με μέγεθος  $M=5.3$  με πράσινο αστέρι (γειτονικές δομές), οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

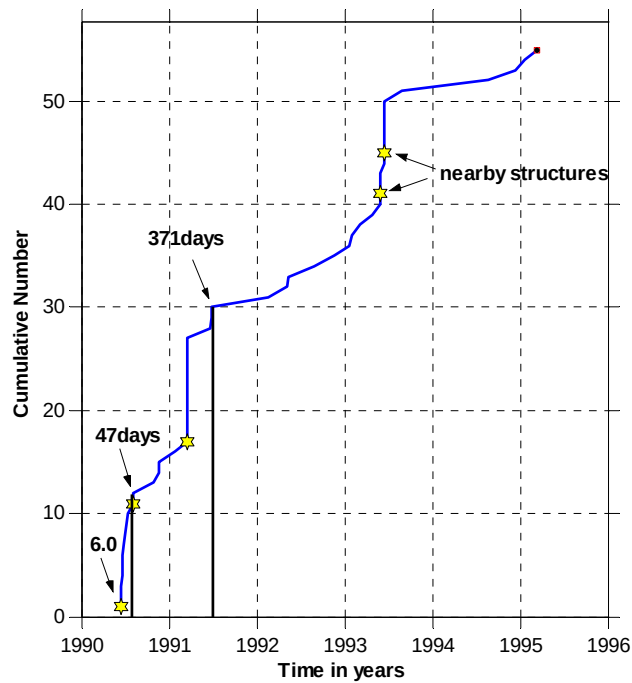
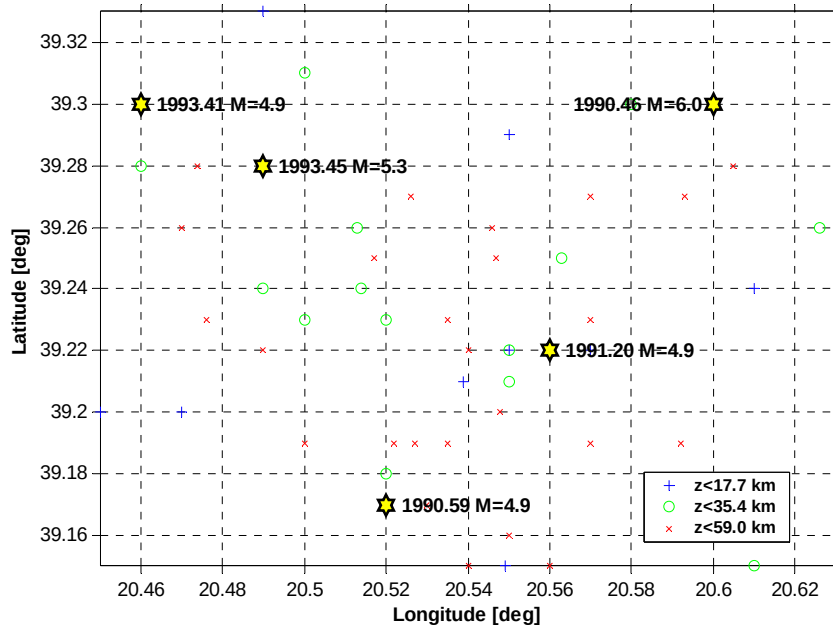
### 7.10.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Αρχικά θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι τα δεδομένα για τη μελέτη της χρονικής κατανομής των μετασεισμών της μετασεισμικής ακολουθίας είναι περιορισμένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κατά τη μελέτη της καμπύλης του αθροιστικού αριθμού των μετασεισμών σε σχέση με τον χρόνο να γίνονται δεκτές ορισμένες συνθήκες ώστε αυτό να βοηθήσει στην καλύτερη ερμηνεία της χρονικής κατανομής των μετασεισμών. Μία τέτοια συνθήκη είναι ο σχεδιασμός μίας νοητής καμπύλης γραμμής που ενώνει το κατώτατο και το ανώτατο όριο της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας (Σχήμα 7.10.2.1) (κάτω). Με βάση αυτό η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 47 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από 324 ημέρες (Σχήμα 7.10.2.1) (κάτω).

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί το φαινόμενο της ενεργοποίησης γειτονικών δομών που αναφέρθηκε παραπάνω. Όπως πολύ χαρακτηριστικά φαίνεται τόσο στο πάνω (χωρικά) όσο και στο κάτω (χρονικά) τμήμα του σχήματος 7.10.2.1. γίνονται σεισμοί τρία χρόνια μετά τον κύριο σεισμό οι οποίοι δεν ανήκουν στη μετασεισμική του ακολουθία. Οι σημαντικότεροι από αυτούς που φαίνονται και στο σχήμα είναι δύο, με μεγέθη  $M=5.3$  και  $M=4.9$ . Από αυτό γίνεται αντιληπτό ότι στην περιοχή ενεργοποιήθηκαν κάποιες γειτονικές δομές που έδωσαν αυτούς τους σεισμούς. Παρόλα αυτά τα δεδομένα για περαιτέρω μελέτη αυτών των δομών είναι ελάχιστα.

Όσον αφορά το φαινόμενο της περιόδου σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν από μεγάλους μετασεισμούς είναι ιδιαίτερα εμφανές στη συγκεκριμένη ακολουθία. Στο σχήμα 7.10.2.2 (κάτω) φαίνονται χαρακτηριστικά οι δύο περίοδοι σχετικής ηρεμίας της ακολουθίας ως πρόδρομες των δύο ισχυρότερων μετασεισμών μεγέθους  $M=4.9$ . Η πρώτη διαρκεί περίπου 34 ημέρες πριν τον ισχυρό μετασεισμό και η δεύτερη 123 ημέρες μέχρι τον επόμενο μεγάλο μετασεισμό. Τα χρονικά αυτά διαστήματα βεβαίως επιδέχονται αμφισβήτηση αφού τα δεδομένα για τον καθορισμό τους είναι ιδιαιτέρως περιορισμένα. Τέλος όσον αφορά το φαινόμενο της σχετικής ηρεμίας που επέρχεται μετά τις 2-3 πρώτες ημέρες από τον κύριο σεισμό, δεν είναι εμφανές στη συγκεκριμένη ακολουθία πιθανώς λόγω των λίγων δεδομένων.

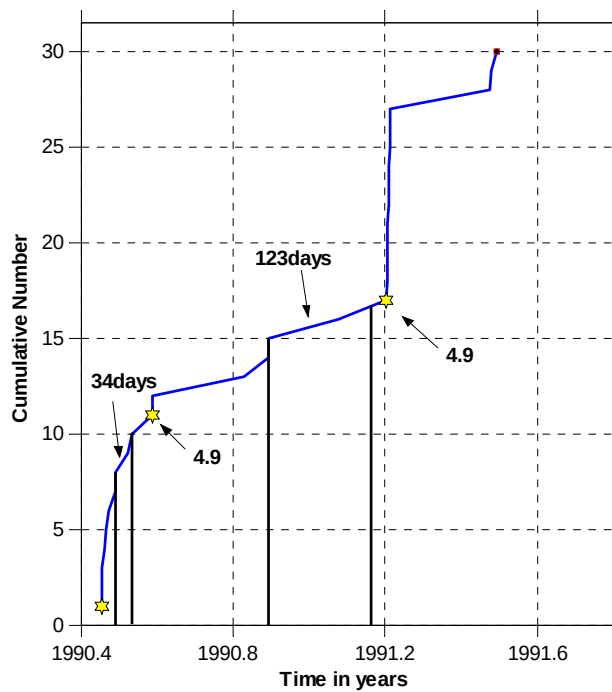
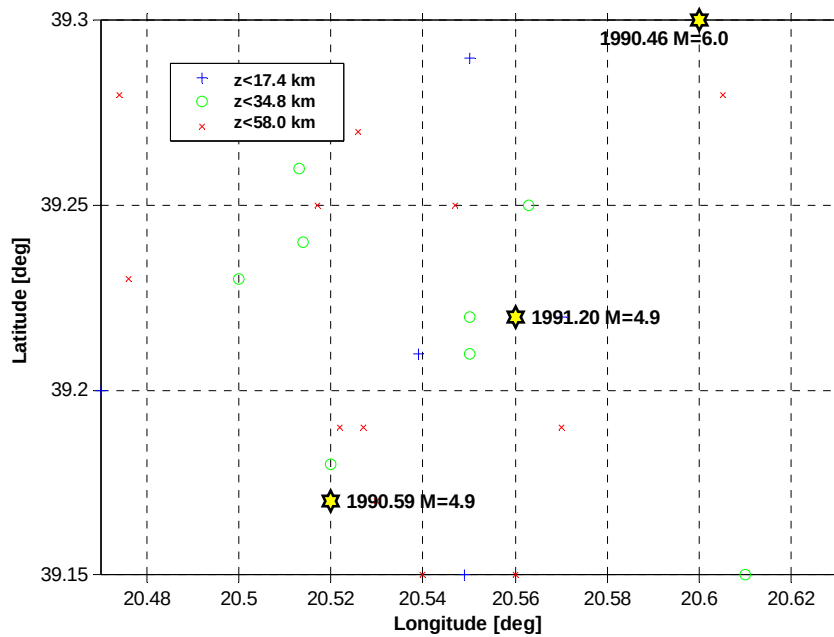
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Πρέβεζας (1990)**



**Σχήμα 7.5.2.1:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών. Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια. Προβάλλονται οι γειτονικές δομές.



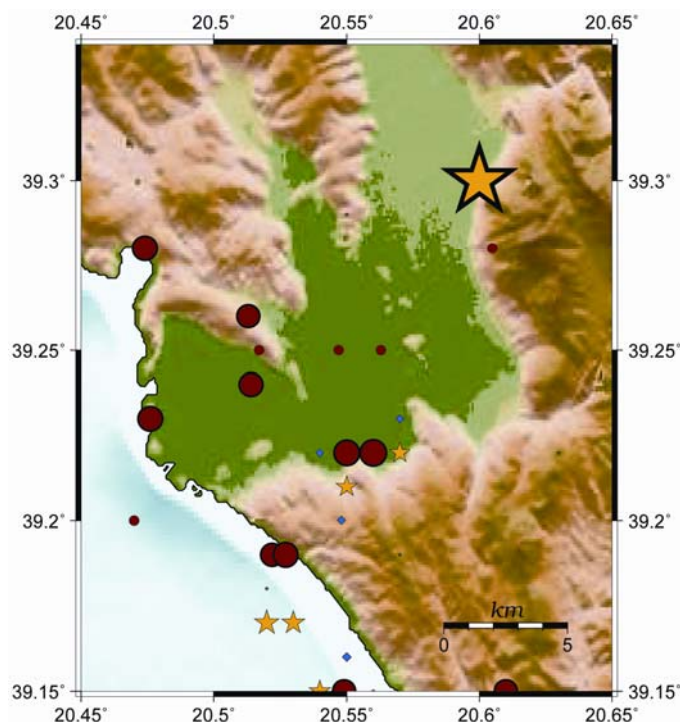
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Πρέβεζας (1990)**



**Σχήμα 7.10.2.2:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών. Φαίνονται οι περίοδοι σχετικής ηρεμίας πρόδρομες των δύο μεγάλων μετασεισμών.

### 7.10.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη χρονική στιγμή στην οποία έγιναν. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει όσους έγιναν τις πρώτες 47 ημέρες, η δεύτερη όσους έγιναν στις επόμενες 324 ημέρες και η τρίτη όσους έγιναν στο εναπομείναν διάστημα μέχρι τις αρχές του 1993 όπου στα δεδομένα αρχίζει να εισέρχεται η επίδραση από τις γειτονικές δομές (Σχήμα 7.10.3.1.).



**Σχήμα 7.10.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων των μετασεισμών είναι ανάλογες των μεγεθών τους.

### 7.11 Σεισμική ακολουθία Πέλλας (Αριδαία) (1990)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 21 Δεκεμβρίου 1990 και είχε μέγεθος  $M=6.0$ . Το επίκεντρό του ( $40.9^{\circ}B, 22.4^{\circ}A$ ) τοποθετείται κοντά στο χωριό Γουμένισσα περίπου 50km ΒΔ της Θεσσαλονίκης. Από τη χωρική κατανομή των μετασεισμών και το μηχανισμό γένεσης του κύριου σεισμού βρέθηκε ότι το κύριο σεισμογενές ρήγμα είναι ένα κανονικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΑ το οποίο βυθίζεται προς νότο με μία γωνία κλίσης  $\sim 45^{\circ}$  ( $54^{\circ}/45^{\circ}/-84^{\circ}$ ) και αποτελεί κομμάτι της σεισμογενούς ζώνης ρηγμάτων που ανήκει στην οπισθότοξη περιοχή του Αιγαίου (Panagiotopoulos, Papadimitriou, Papaioannou, Scordilis and Papazachos, 1990). Προκάλεσε αρκετές καταστροφές στην Πέλλα, την πόλη της Έδεσσας και στο Κιλκίς. Ένας άνθρωπος σκοτώθηκε και 60 τραυματίστηκαν.

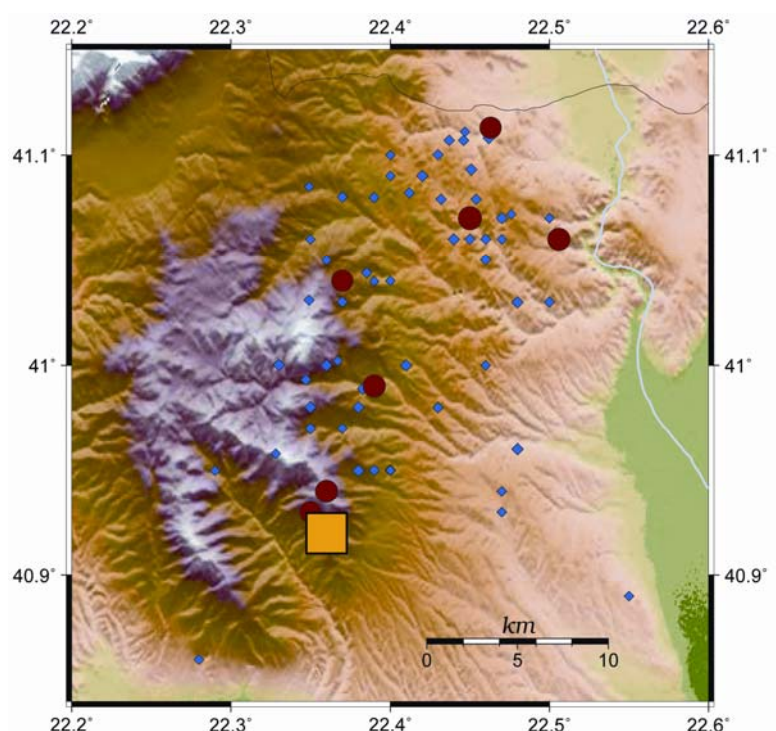
**Πίνακας 7.11.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| <b>ΠΕΛΛΑ(Αριδαία)</b> |            |         |                   |
|-----------------------|------------|---------|-------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b> |            |         |                   |
| 6.0                   | 21/12/1990 | 0,29    | -                 |
| <b>Μετασεισμοί</b>    |            |         |                   |
| 4,3                   | 21/12/1990 | 0,68    | 9h 21min 36sec    |
| 4,4                   | 24/12/1990 | 3,107   | 67h 36min 28.8sec |
| 4,3                   | 3/03/1991  | 72,423  | 72days            |
| 4,3                   | 3/10/1992  | 652,764 | 652days           |

#### 7.11.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής είχαν μεγέθη  $M>3.1$ . Οι μετασεισμοί σχηματίζουν μία ενεργό ζώνη  $\sim 15\text{km}$  με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ που βρίσκεται σε καλή συμφωνία με την διεύθυνση του ρήματος που προκάλεσε τον κύριο σεισμό. Ο κύριος σεισμός εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό τμήμα αυτής της ζώνης ενώ ο ισχυρότερος μετασεισμός μεγέθους  $M=4.4$ , που έγινε 67 ώρες αργότερα, στο βορειοανατολικό τμήμα αυτής. Αυτό δείχνει μία χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας προς τα ΒΑ (Σχήμα 7.11.1.1). Οι

μετασεισμοί ομαδοποιούνται σε μέσο βάθος ~5km με τον κύριο σεισμό να γίνεται βαθύτερα από κάθε άλλο ισχυρό μετασεισμό.

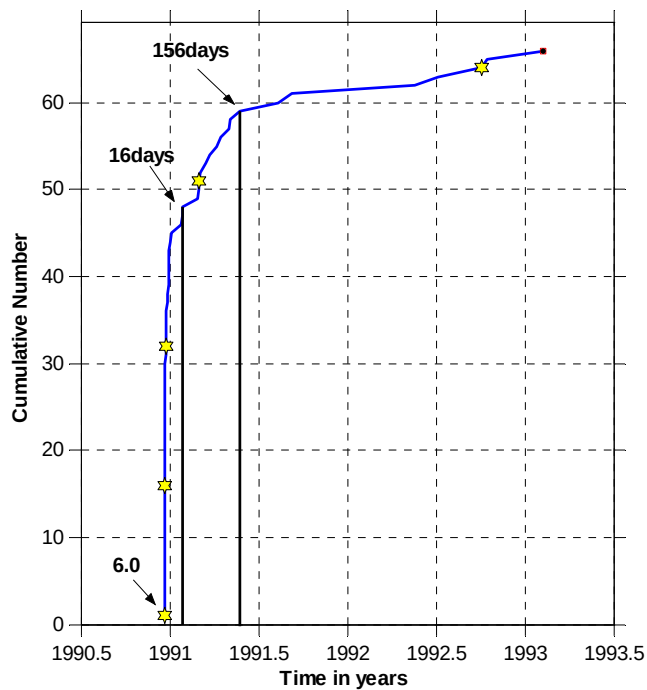
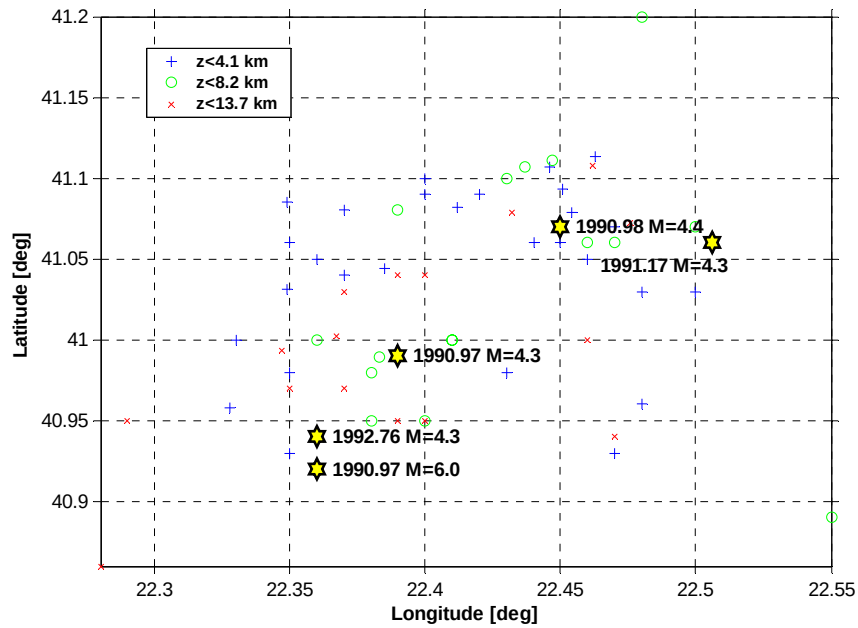


**Σχήμα 7.11.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.1 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

### 7.11.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

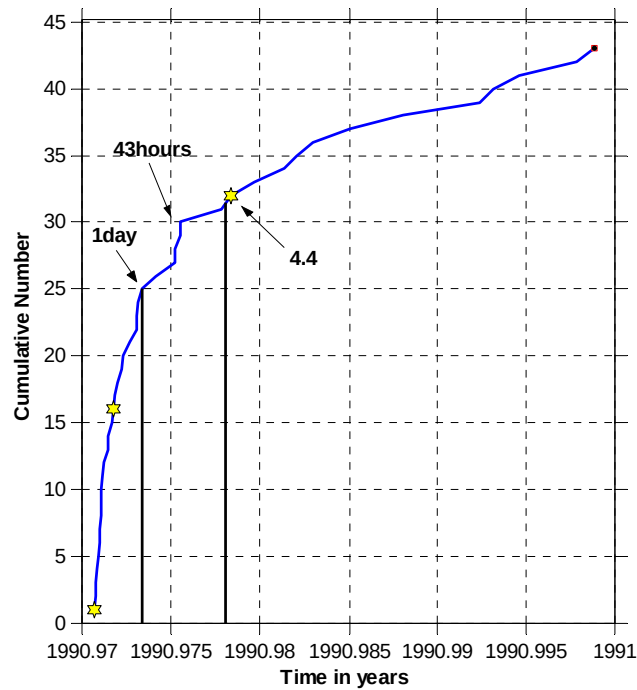
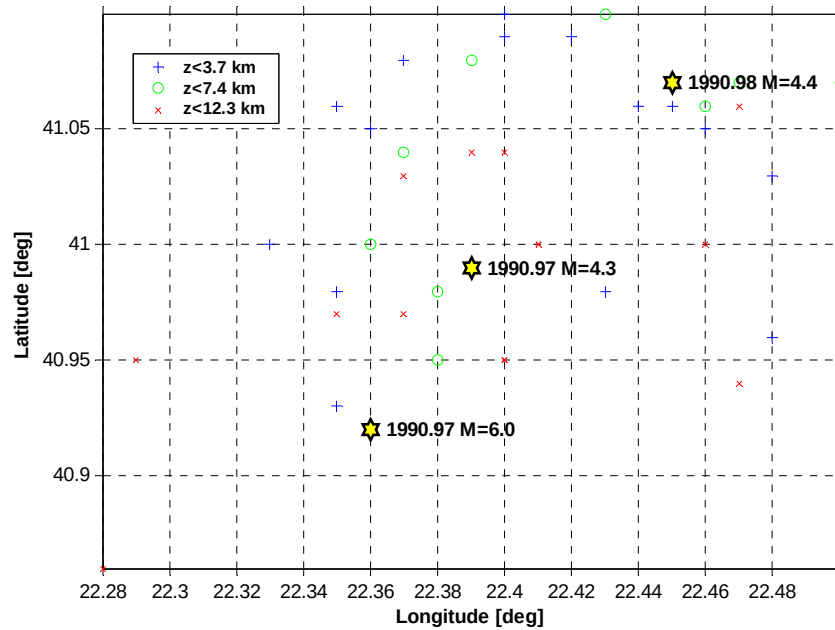
Η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 16 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 140 ημέρες μετά (Σχήμα 7.11.2.1) (κάτω) . Μελετώντας τις πρώτες 10 ημέρες της μετασεισμικής ακολουθίας βγαίνει το συμπέρασμα ότι ξεκινάει η ελάττωση της σεισμικότητας μία μόλις ημέρα μετά τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.11.2.2) (κάτω). Η ελάττωση αυτή όμως συμπίπτει με την αναμενόμενη περίοδο σχετικής ηρεμίας που οφείλεται στον επερχόμενο ισχυρό μετασεισμό μεγέθους  $M=4.4$  που θα γίνει μετά από 43 ώρες (Σχήμα 7.11.2.2) (κάτω).

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Πέλλας (Αριδαία) (1990)



**Σχήμα 7.11.2.1:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών . Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

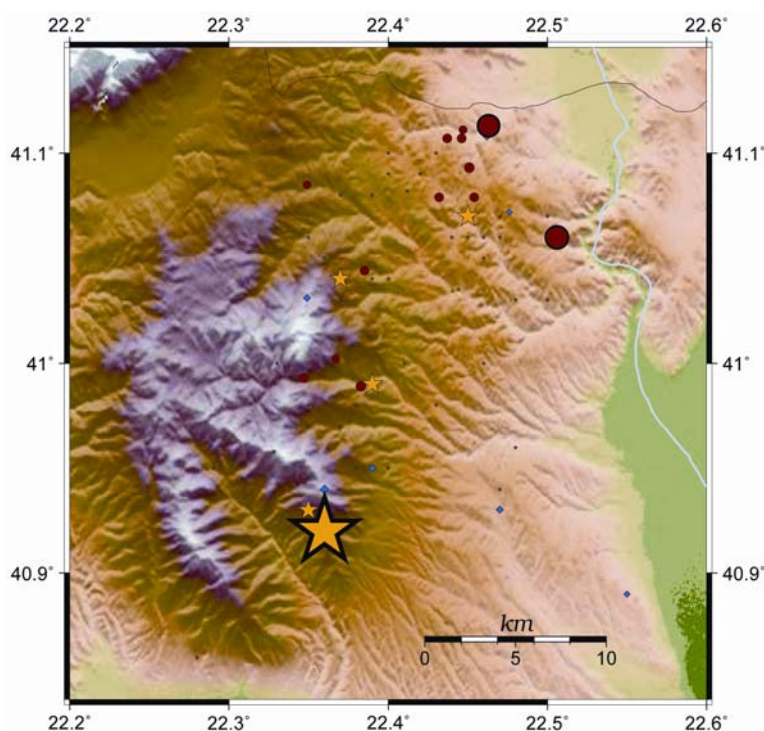
Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Πέλλας (Αριδαία) (1990)



**Σχήμα 7.11.2.2:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Φαίνεται η ελάττωση της σεισμικότητας αμέσως μετά τον κύριο σεισμό που συμπίπτει με την περίοδο ηρεμίας πρόδρομη του μετασεισμού με μέγεθος  $M=4.4$

### 7.11.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Η μετασεισμική ακολουθία χωρίζεται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που έγιναν τις πρώτες 16 ημέρες από τον κύριο σεισμό (κίτρινα αστέρια). Η δεύτερη τους μετασεισμούς που έγιναν στις επόμενες 124 ημέρες (περίοδος ομαλοποίησης) (κόκκινοι κύκλοι) και η τρίτη όσους έγιναν στο εναπομείναν διάστημα μέχρι την ολοκλήρωση των τριών χρόνων (μπλε ρόμβοι) (Σχήμα 7.11.3.1). Όπως παρατηρείται οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας κατανέμονται με την ίδια διεύθυνση όπως οι αντίστοιχοι της πρώτης, ενώ οι ισχυρότεροι από αυτούς γίνονται σε μεγάλη απόσταση από τον κύριο σεισμό, κάτι φυσιολογικό αν αναλογιστούμε τη χρονική στιγμή στην οποία έγιναν και η οποία δικαιολογεί την μακρινή απόσταση στην οποία συνέβησαν.



**Σχήμα 7.11.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες του μεγέθους των μετασεισμών.



## 7.12 Σεισμική ακολουθία Κοζάνης-Γρεβενών (Κνίδη) (1995)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 13 Μαΐου 1995 και είχε μέγεθος  $M=6.5$ . Οι επικεντρικές του συντεταγμένες ήταν  $40.13^{\circ}B-21.67^{\circ}A$ . Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα με μικρή οριζόντιας μετατόπισης συνιστώσα, έχει μήκος  $L=30km$  και πλάτος  $w=10km$  ( $237^{\circ}/45^{\circ}-101^{\circ}$ ). Η παράταξή του είναι ABA ( $B65^{\circ}A$ ), βυθίζεται προς BBA με γωνία κλίσης  $\sim 35^{\circ}$  και η μέση μετατόπισή του κατά τη διάρκεια της γένεσης του σεισμού ήταν  $\sim 50cm$ . Η διάρρηξη έγινε αρχικά στο κεντρικό, βαθύτερο τμήμα του ρήγματος, κάτω από το βουνό Βούρινος, και στη συνέχεια μεταδόθηκε προς τα ρηχότερα τμήματά του (Papazachos, Karakostas, Kiratzi, Papadimitriou and Papazachos, 1997). Προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές τόσο στα γύρω χωριά όσο και στις δύο πλησιέστερες μεγάλες πόλεις, την Κοζάνη και τα Γρεβενά.

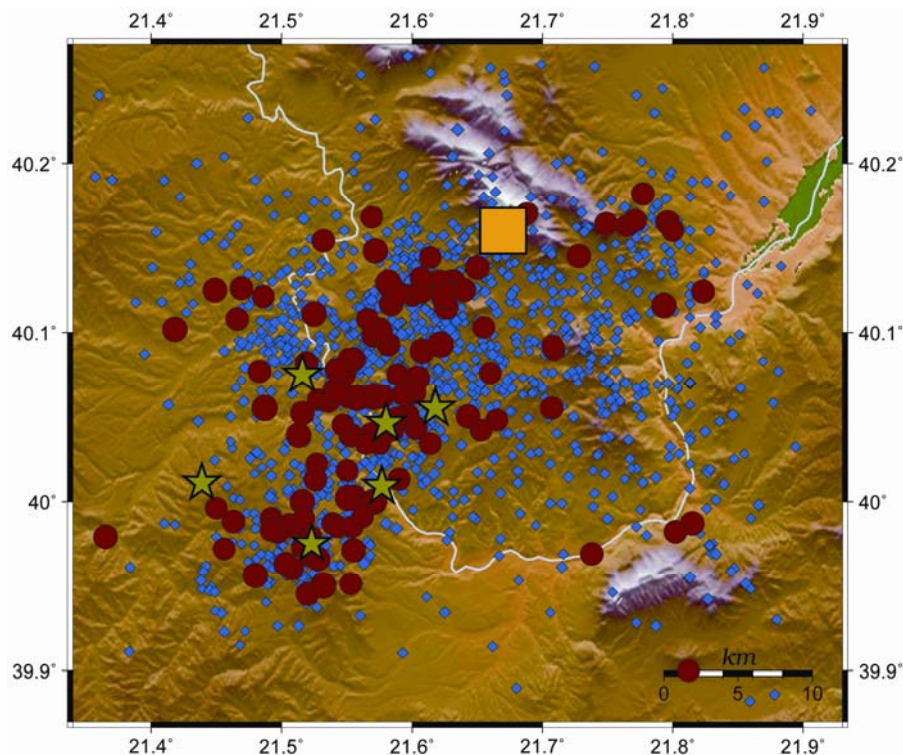
**Πίνακας 7.12.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό**

| KOZANH-ΓREBENA(Κνίδη) |            |        |                      |
|-----------------------|------------|--------|----------------------|
| Κύριος σεισμός        |            |        |                      |
| 6,6                   | 13/05/1995 | 0,366  | -                    |
| Μετασεισμοί           |            |        |                      |
| 5,2                   | 15/05/1995 | 2,176  | 43h 26min 24sec      |
| 5,3                   | 17/05/1995 | 4,176  | 91h 26min 24sec      |
| 5,0                   | 17/05/1995 | 4,406  | 96h 57min 36sec      |
| 5,1                   | 19/05/1995 | 6,283  | 6days 9h 31min 12sec |
| 5,2                   | 17/07/1995 | 65,971 | 65days 14h           |
| 5.0                   | 19/09/1997 | 860,5  | 860days 3h           |

### 7.12.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη τόσο της χωρικής αλλά και της χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.0$ . Οι μετασεισμοί ομαδοποιούνται μεταξύ 5-15km βάθους, οριοθετώντας ένα επίπεδο που βυθίζεται B με γωνία  $\sim 35^{\circ}$ , πάνω στο οποίο πιθανότατα πραγματοποιήθηκε και ο κύριος σεισμός. Η κύρια ομάδα μετασεισμών παρουσιάζει μία ABA έκταση. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί περιορίζονται στο δυτικό τμήμα της ζώνης διάρρηξης

ενώ η μετασεισμική δραστηριότητα είναι εμφανώς μικρότερη στο ανατολικό τμήμα της ζώνης όπως φαίνεται στο σχήμα 7.12.1.1. Γενικά το επίπεδο του ρήγματος μπορεί να διαιρεθεί σε τρία τμήματα. Το δυτικό όπου και συμβαίνουν οι μεγαλύτεροι μετασεισμοί, το κεντρικό που αποτελεί μία σχεδόν ασεισμική περιοχή και το ανατολικό όπου συνέβη ο κύριος σεισμός και κάποιοι μικροί μετασεισμοί. Η σεισμική δραστηριότητα ξεκίνησε κοντά στο δυτικό όριο της ασεισμικής περιοχής και ο κύριος σεισμός συνέβη στο βαθύ ανατολικό της όριο. Έπειτα η μετασεισμική δραστηριότητα άρχισε στο ανατολικό τμήμα του επιπέδου του ρήγματος και συνεχίστηκε κυρίως στο δυτικό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γένεση του κύριου σεισμού ανακατένειμε τις τάσεις Coulomb στην περιοχή με αποτέλεσμα αυτές να συγκεντρωθούν σε μεγάλο βαθμό στο δυτικό τμήμα και να προκαλέσουν τους μετασεισμούς (Papazachos, Karakostas, Kiratzi, Papadimitriou and Papazachos, 1997).

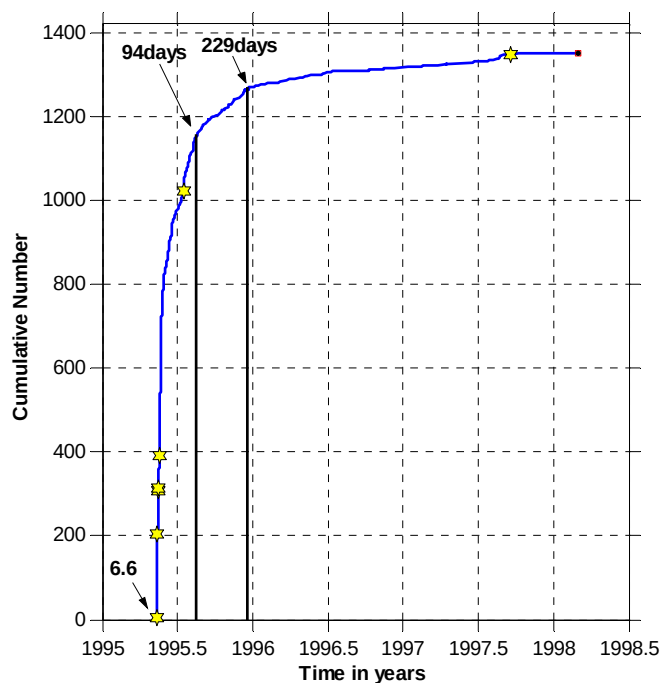
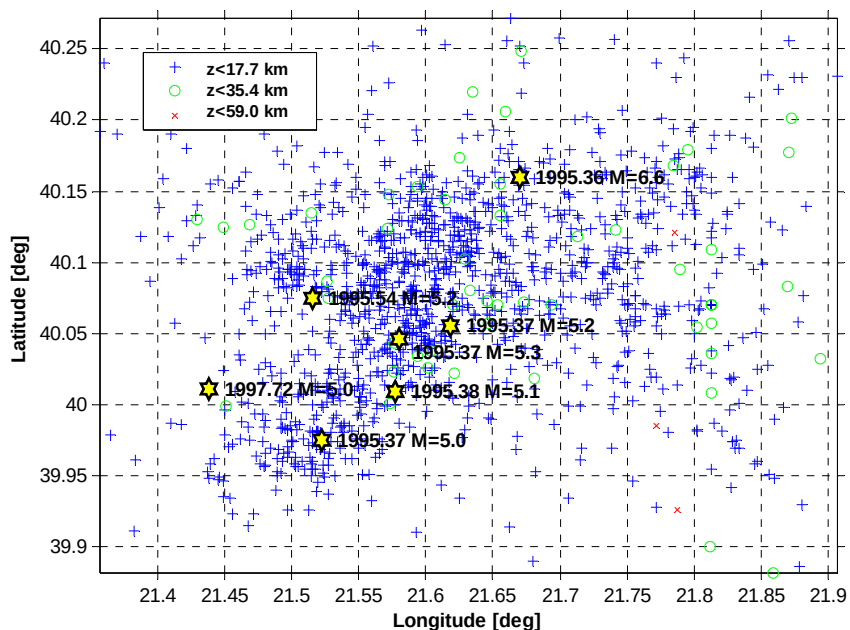


**Σχήμα 7.12.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $2.9 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

### 7.12.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

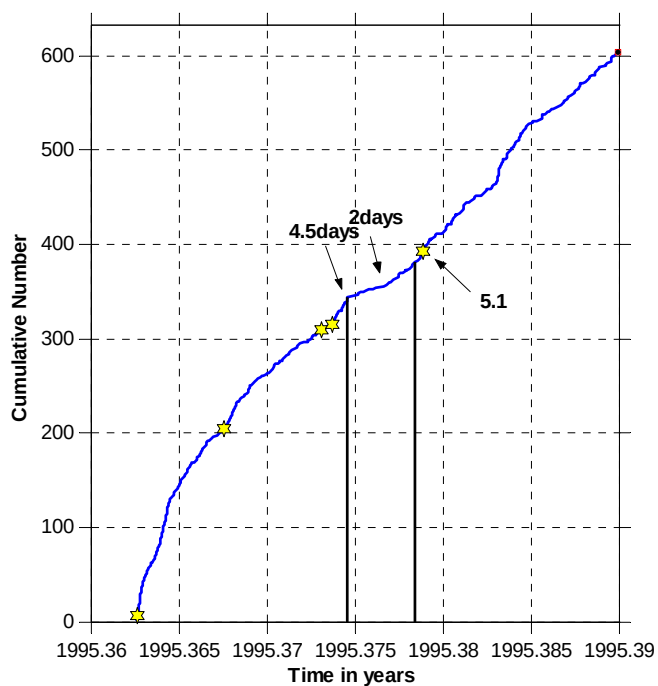
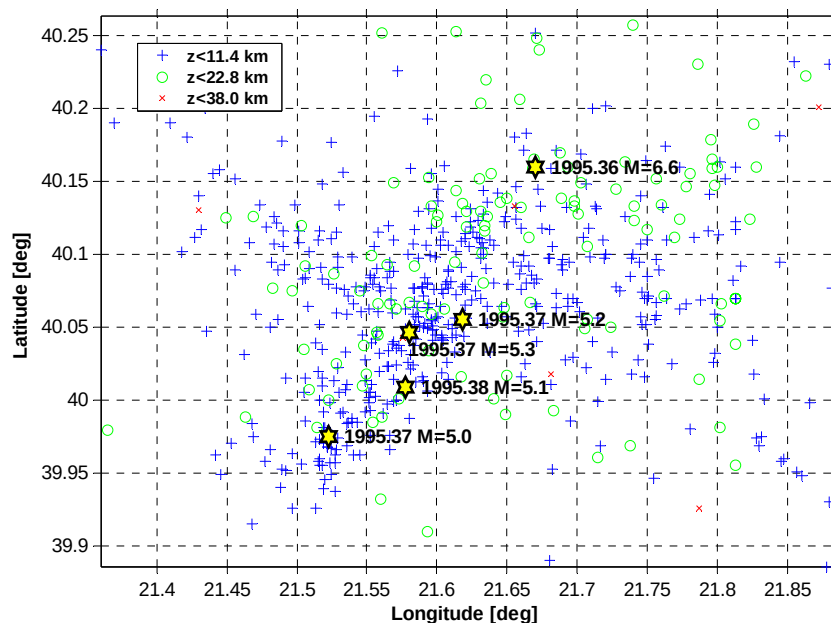
Όσον αφορά τη χρονική κατανομή των μετασεισμών, όπως φαίνεται και από το σχήμα 7.12.2.1 (κάτω), η σεισμική ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 94 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής έπειτα από 135 ημέρες. Στα σχήματα 7.12.2.2 (κάτω) και 7.12.2.3 (κάτω) θα παρατηρήσουμε το φαινόμενο της σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν από τη γένεση ενός μεγάλου μετασεισμού. Στο σχήμα 7.12.2.2 (κάτω) φαίνεται το σημείο καμπής που δημιουργείται αμέσως πριν από τον μετασεισμό μεγέθους  $M=5.1$  που έγινε 6 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό. Η ηρεμία-σημείο καμπής εμφανίζεται 4,5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και διαρκεί περίπου 2 ημέρες μέχρι τον  $M=5.1$ . Στο σχήμα 7.12.2.3 (κάτω) παρατηρούμε την σχετική ηρεμία που επέρχεται στην σεισμική ακολουθία πριν τη γένεση του μετασεισμού με μέγεθος  $M=5.2$ . Αυτή αρχίζει 11,5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και διαρκεί περίπου 53 ημέρες μέχρι τον  $M=5.2$ . Πολύ χαρακτηριστικό επίσης είναι το σχήμα 7.12.2.4 (κάτω) που δείχνει την σχετική ηρεμία που επέρχεται αμέσως μετά τον μετασεισμό μεγέθους  $M=5.2$  (21 ώρες).

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Κοζάνης-Γρεβενών (Κνίδη) (1995)**



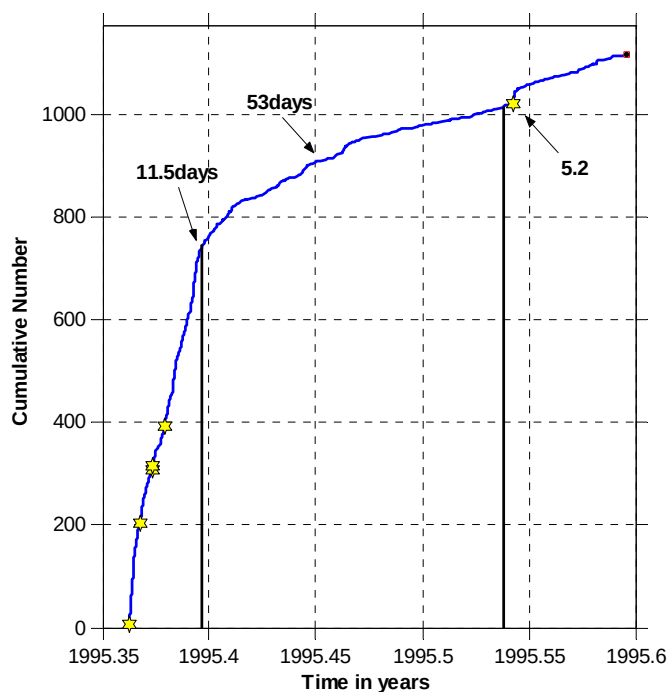
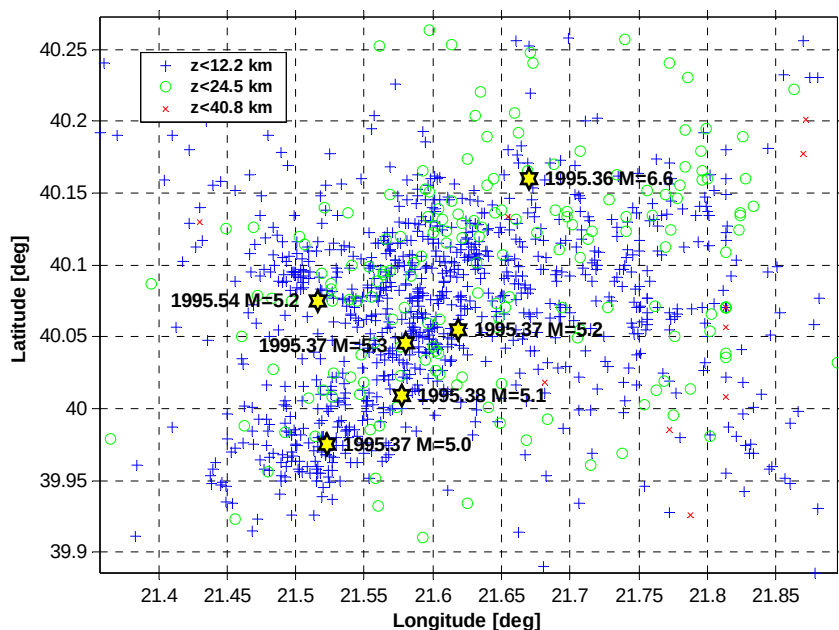
**Σχήμα 7.12.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Κοζάνης-Γρεβενών (Κνίδη) (1995)**



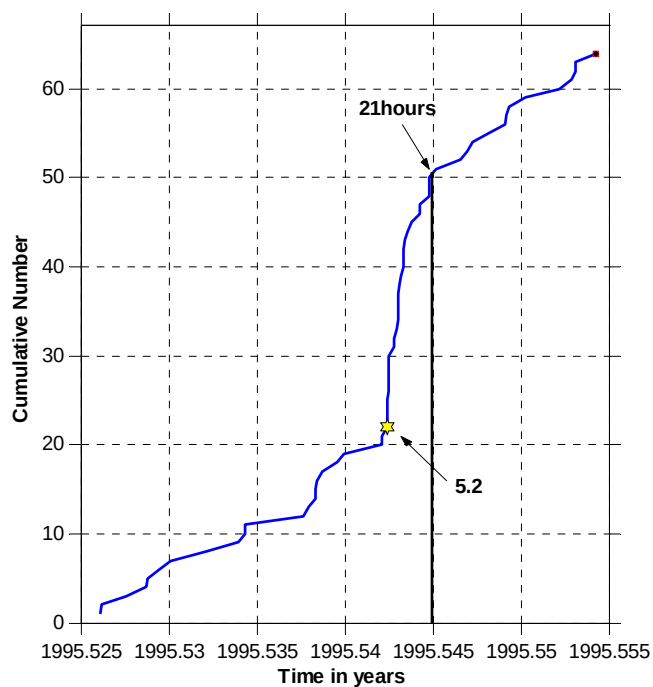
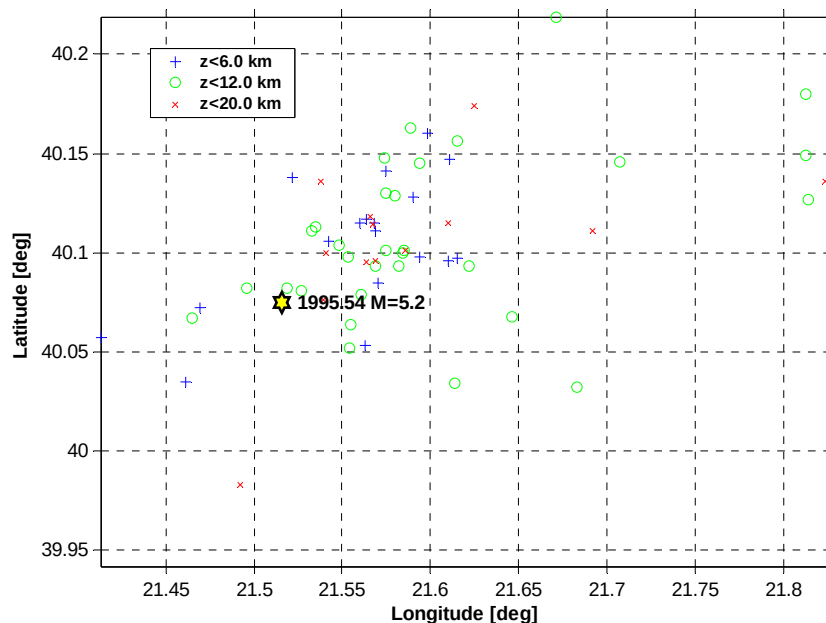
**Σχήμα 7.12.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η περίοδος ηρεμίας πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=5.1$

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Κοζάνης-Γρεβενών (Κνίδη) (1995)**



**Σχήμα 7.12.2.3:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η περίοδος ηρεμίας πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=5.2$

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Κοζάνης-Γρεβενών (Κνίδη) (1995)**

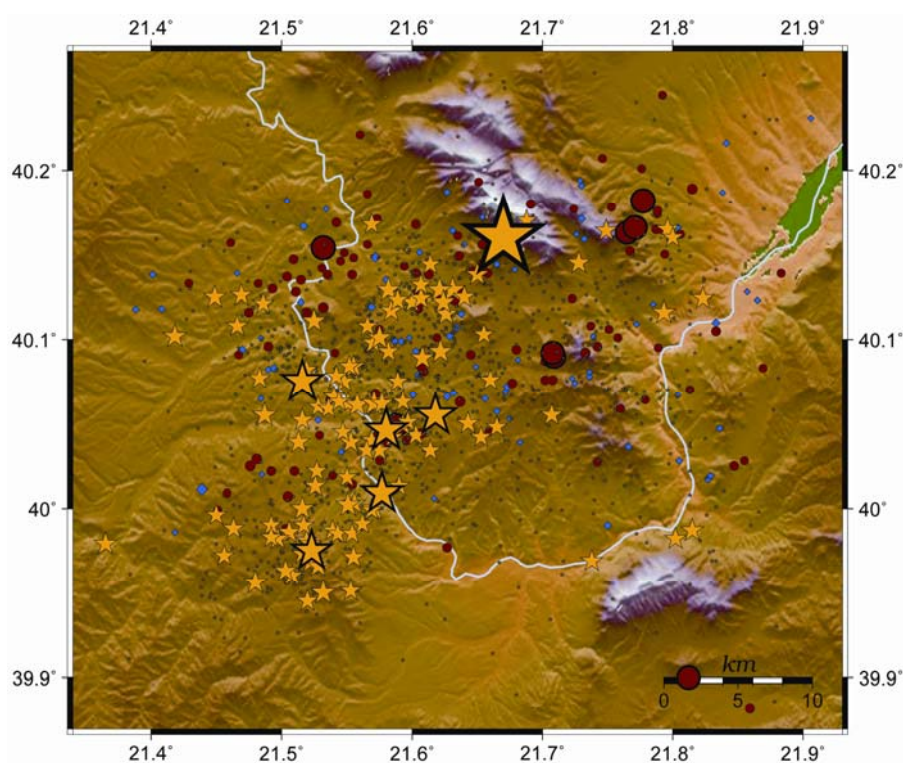


**Σχήμα 7.12.2.4:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένιση σεισμικότητας 21 ώρες μετά τον μετασεισμό με μέγεθος M=5.2



### 7.12.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Για την χαρτογράφηση ταυτόχρονα της χωρικής και χρονικής κατανομής των μετασεισμών της ακολουθίας τους ταξινομήσαμε σε τρεις ομάδες. Η πρώτη που περιέχει μετασεισμούς που έγιναν από τη στιγμή της κύριας διάρρηξης και σε χρονικό διάστημα 94 ημερών (κίτρινα αστέρια), η δεύτερη από τις 94 ημέρες και για διάστημα 135 ημερών (κόκκινοι κύκλοι) και η τρίτη μέχρι το τέλος της τριετίας (μπλε ρόμβοι) (Σχήμα 7.12.3.1). Ο αριθμός των μετασεισμών που ανήκουν στην πρώτη ομάδα είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους αριθμούς μετασεισμών που ανήκουν στις δύο άλλες ομάδες παρότι η χρονική διάρκεια της πρώτης ομάδας είναι πολύ μικρότερη από τις άλλες δύο κάτι που είναι φυσιολογικό.



**Σχήμα 7.12.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες των μεγεθών των μετασεισμών.

### 7.13 Σεισμική ακολουθία Αιγίου (1995)

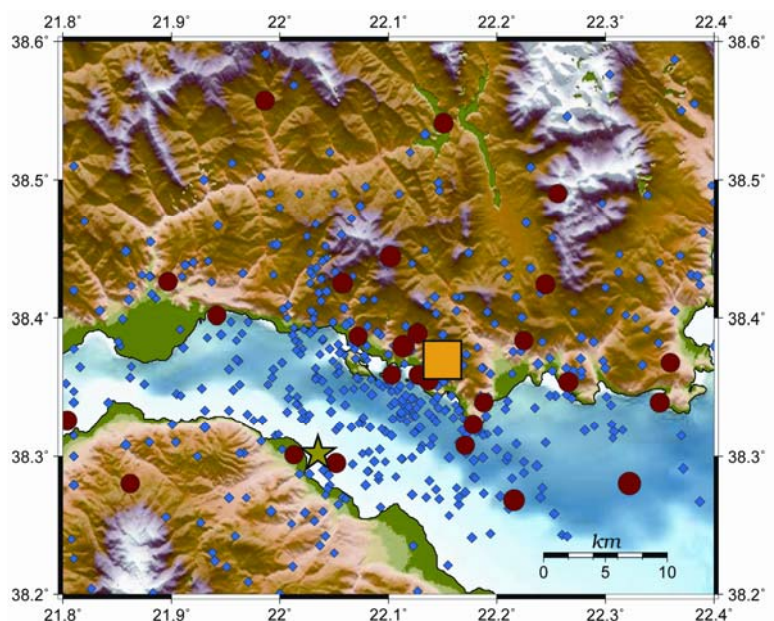
Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας αυτής έγινε στις 15 Ιουνίου 1995 και είχε μέγεθος  $M=6.4$ . Το εστιακό του βάθος υπολογίσθηκε ίσο με 10km, και οι επικεντρικές του συντεταγμένες σε  $38^{\circ} 21.7' \text{ B}$ ,  $22^{\circ} 12.0' \text{ A}$ , περίπου 15km BBA της πόλης του Αιγίου. Η μοντελοποίηση των P και SH κυμάτων προσδιόρισε τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού,  $277^{\circ}/33^{\circ}/-77^{\circ}$  (Bernard et al., 1997). Πρόκειται δηλαδή για κανονικό ρήγμα με παράταξη περίπου Α–Δ και μικρής γωνίας κλίσης ( $\sim 33^{\circ} \text{ B}$ ).

**Πίνακας 7.13.1. Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας . Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| ΑΙΓΙΟ          |            |        |                          |
|----------------|------------|--------|--------------------------|
| Κύριος σεισμός |            |        |                          |
| 6,4            | 15/06/1995 | 0,1    | -                        |
| Μετασεισμοί    |            |        |                          |
| 5,6            | 15/06/1995 | 0,21   | 2h 38min 24sec           |
| 4,9            | 3/07/1995  | 18,937 | 18days 22h 29min 16.8sec |
| 4,7            | 5/07/1995  | 20,767 | 21days 3h 31min 12sec    |

#### 7.13.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιούνται για την μελέτη της χωρικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.2$ . Το ίδιο ισχύει και για την μελέτη της χρονικής τους κατανομής. Οι μετασεισμοί αυτοί σχηματίζουν μία ενεργό ζώνη περίπου 20km Α-Δ και 10km Β-Ν, ΒΒΑ του ρήγματος του Αιγίου και ομαδοποιούνται κυρίως μεταξύ 5-9km σε βάθος. Παρόλα αυτά στο ΒΑ τμήμα οι μετασεισμοί σχηματίζουν μία ζώνη που το βάθος της φτάνει τα 13km. Συγκεντρώνονται κατά κύριο λόγο στα δυτικά της ζώνης διάρρηξης, που οφείλονται πιθανώς στην κατανομή των τάσεων Coulomb μετά τον κύριο σεισμό οι οποίες αυξήθηκαν τόσο προς τα ανατολικά όσο και προς τα δυτικά του ρήγματος. Κάτι ανάλογο δεν συνέβη στο ανατολικό τμήμα της διάρρηξης αφού αρκετά ποσά ενέργειας είχαν απελευθερωθεί στην περιοχή αυτή εξαιτίας του σεισμού στο γειτονικό Γαλαξίδι το 1992 (Σχήμα 7.13.1.1).

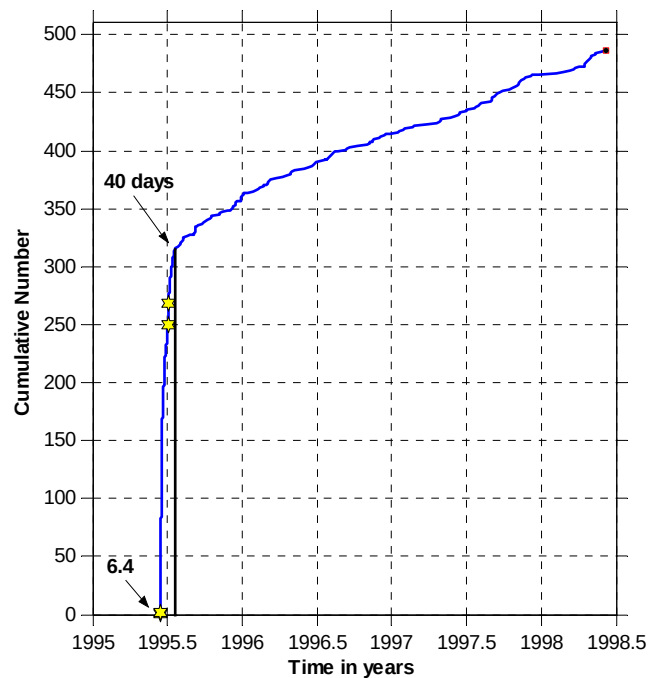
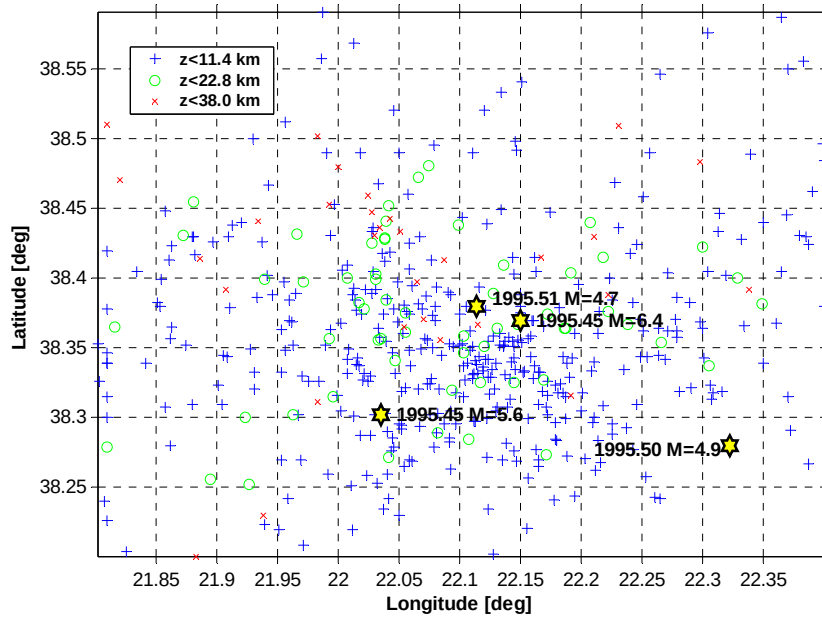


**Σχήμα 7.13.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, ο μετασεισμός με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζεται με πράσινο αστέρι, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.2 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

### 7.13.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

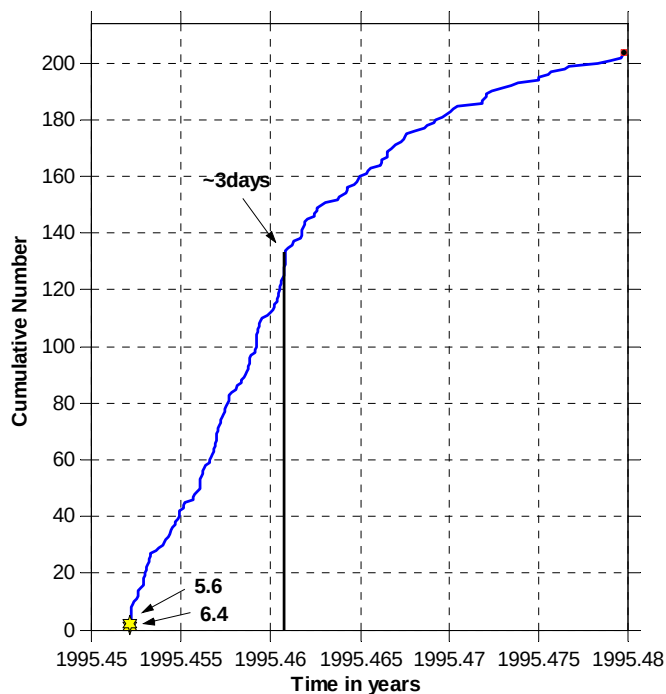
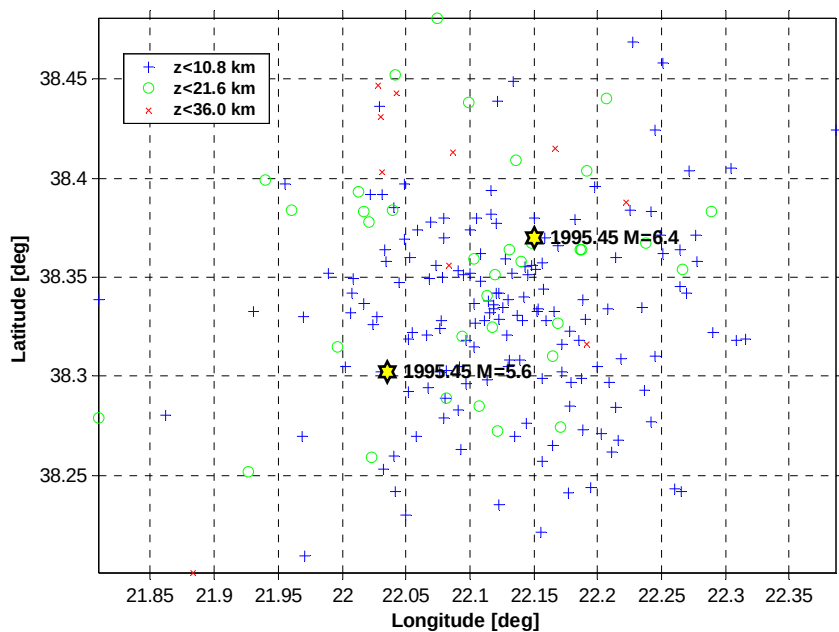
Όσον αφορά τη χρονική κατανομή των μετασεισμών όπως φαίνεται και από τα σχήματα 7.13.2.1 και 7.13.2.2, τρεις ημέρες και οχτώ ώρες μετά τον κύριο σεισμό αρχίζει να επέρχεται μία σχετική ηρεμία στην σεισμική ακολουθία ενώ αυτή αρχίζει να ομαλοποιείται, τελικώς, σαράντα ημέρες μετά τον κύριο σεισμό. Χαρακτηριστικό εδώ είναι το γεγονός ότι ενώ μετά από το χρονικό όριο των σαράντα ημερών η καμπύλη του σχήματος 7.13.2.2 θα έπρεπε να είναι παράλληλη σχεδόν με τον άξονα του χρόνου, παραπέμποντας έτσι στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής, παρουσιάζεται μία συνεχής ανοδική πορεία. Επιπροσθέτως θα πρέπει να τονισθεί το γεγονός της μη ύπαρξης της χαρακτηριστικής περιόδου ηρεμίας αμέσως πριν από τους μεγαλύτερους μετασεισμούς της ακολουθίας και ειδικότερα του μεγαλύτερου εξ αυτών με  $M=5.6$ .

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Αγίου (1995)



**Σχήμα 7.3.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνεται η αφετηρία της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αγίου (1995)**

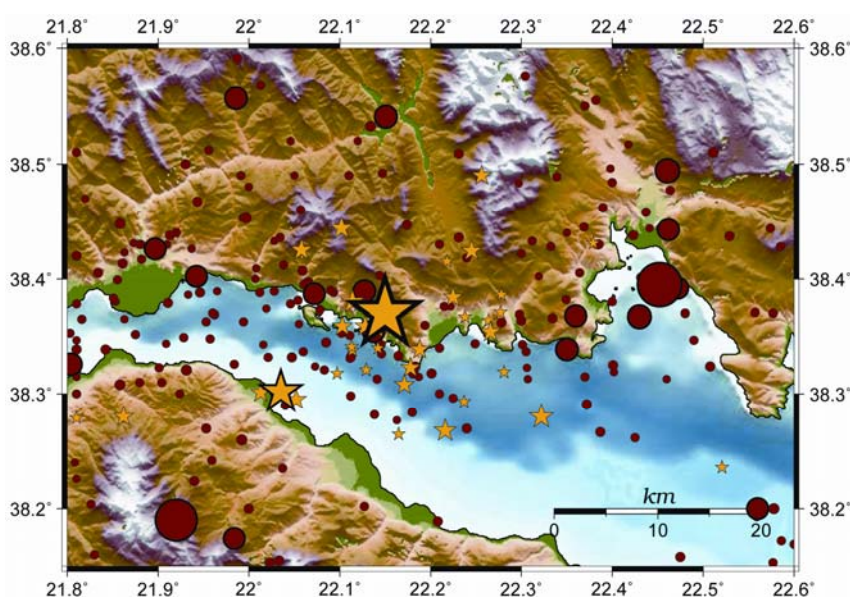


**Σχήμα 7.13.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας ~3 μέρες μετά τον κύριο σεισμό.



### 7.13.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί κατανέμονται και χαρτογραφούνται συγχρόνως χωρικά και χρονικά (Σχήμα 7.13.3.1). Η ταξινόμηση των μετασεισμών έγινε σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα γεγονότα που συνέβησαν από τον κύριο σεισμό και για τις επόμενες 40 ημέρες (κίτρινα αστέρια) ενώ η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα γεγονότα που συνέβησαν στο χρονικό διάστημα μετά τις 40 ημέρες από τον κύριο σεισμό, όταν αρχίζει και η ομαλοποίηση της ακολουθίας, και φτάνει μέχρι την ολοκλήρωση των τριών χρόνων (κόκκινα τρίγωνα). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η ταξινόμηση των μετασεισμών δεν γίνεται σε τρεις ομάδες όπως είναι το φυσιολογικό αλλά μόλις σε δύο, χωρίς δηλαδή να υπάρχουν συμβάντα που να ανήκουν στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω όταν αναφερόμασταν στη χρονική κατανομή των μετασεισμών, ότι η καμπύλη της ακολουθίας (Σχήμα 7.13.2.2) δεν γίνεται σε κανένα χρονικό διάστημα οριζόντια κάτι που σημαίνει ότι δεν αγγίζει την κανονική σεισμικότητα της περιοχής σε κανένα σημείο. Χαρακτηριστικό επίσης στη χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών είναι το γεγονός ότι οι ισχυροί μετασεισμοί, που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα, έγιναν και σε πολύ πιο μακρινή απόσταση από τον κύριο σεισμό σε σχέση με τα μεγαλύτερα γεγονότα που ανήκουν στην πρώτη ομάδα. Αυτό δείχνει και τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ του χρόνου και της απόστασης που συμβαίνει ένας μετασεισμός από τον κύριο σεισμό.



**Σχήμα 7.13.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Τα μεγέθη των συμβόλων είναι ανάλογα των μεγεθών των μετασεισμών.

#### 7.14 Σεισμική ακολουθία Καρπάθου (1996)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 20 Ιουλίου 1996 με μέγεθος  $M=6.2$ . Το επίκεντρό του βρισκόταν στην περιοχή Κατάβεια ( $36.07^{\circ}\text{B}-27.46^{\circ}\text{A}$ ). Πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα παράταξης σχεδόν B-N, κλίνει προς τα δυτικά με γωνία κλίσης  $\sim 47^{\circ}$  ( $184^{\circ}/47^{\circ}/-98^{\circ}$ ). Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός στην Κάρπαθο και σε διάφορα άλλα μέρη της περιοχής.

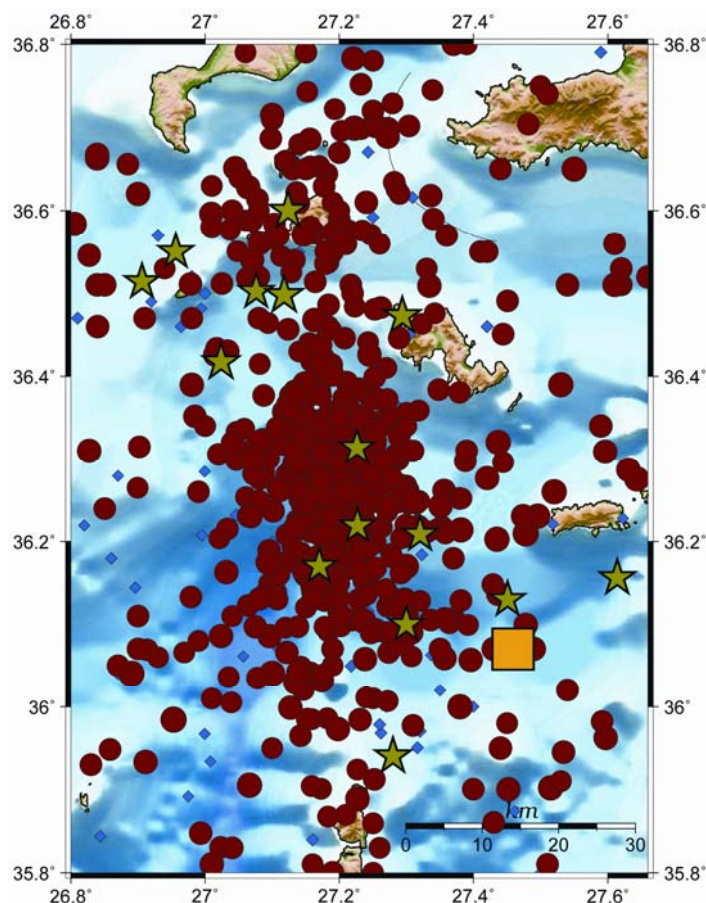
**Πίνακας 7.14.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| <b>ΚΑΡΠΑΘΟΣ</b>       |            |         |                         |
|-----------------------|------------|---------|-------------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b> |            |         |                         |
| 6,2                   | 20/07/1996 | 0       | -                       |
| <b>Μετασεισμοί</b>    |            |         |                         |
| 5.0                   | 20/07/1996 | 0,381   | 9h 8min 38.4sec         |
| 5.0                   | 20/07/1996 | 0,809   | 19h 24min 57.6sec       |
| 5.0                   | 21/07/1996 | 1,054   | 1day 14h 12sec          |
| 5.0                   | 22/07/1996 | 2,072   | 2days 1h 43min 40.8sec  |
| 5,1                   | 22/07/1996 | 2,210   | 2days 5h 2min 24sec     |
| 5,1                   | 22/07/1996 | 2,356   | 2days 8h 32min 38.4sec  |
| 5.0                   | 24/07/1996 | 4,247   | 4days 5 h 55min 40.8sec |
| 5,2                   | 25/07/1996 | 5,060   | 5days 1h 26min 24sec    |
| 5.0                   | 26/07/1996 | 6,223   | 6days 5h 21min 7.2sec   |
| 5.0                   | 28/07/1996 | 8,043   | 8days 1h 1min 55.2sec   |
| 5,2                   | 6/11/1996  | 109,506 | 109days                 |



### 7.14.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής είχαν μεγέθη  $M > 4.2$ . Παρατηρείται ένα πλήθος μετασεισμών με ισχυρότερο αυτόν που έγινε 5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό με μέγεθος  $M=5.2$ . Είναι χαρακτηριστική η ΒΒΔ-ΝΝΑ κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών ( $M > 5.0$ ) και επομένως γίνεται άμεσα αντιληπτή η χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας από το νότιο τμήμα του ρήγματος, όπου έγινε και ο κύριος σεισμός, προς το βόρειο (Σχήμα 7.14.1.1). Κάνοντας μία τομή ΒΒΔ-ΝΝΑ μπορεί να παρατηρηθεί ότι στο ΒΒΔ τμήμα και μέχρι το μέσο περίπου της απόστασης, οι μετασεισμοί ομαδοποιούνται σε ένα βάθος περίπου 10-15km ενώ προς το ΝΝΑ τμήμα το αντίστοιχο βάθος φτάνει στα 15-20km (Σχήμα 7.14.1.1).

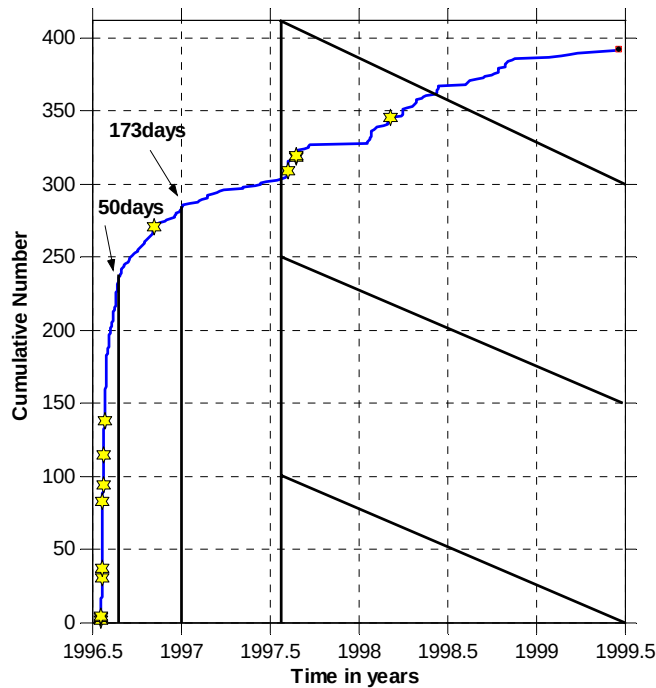
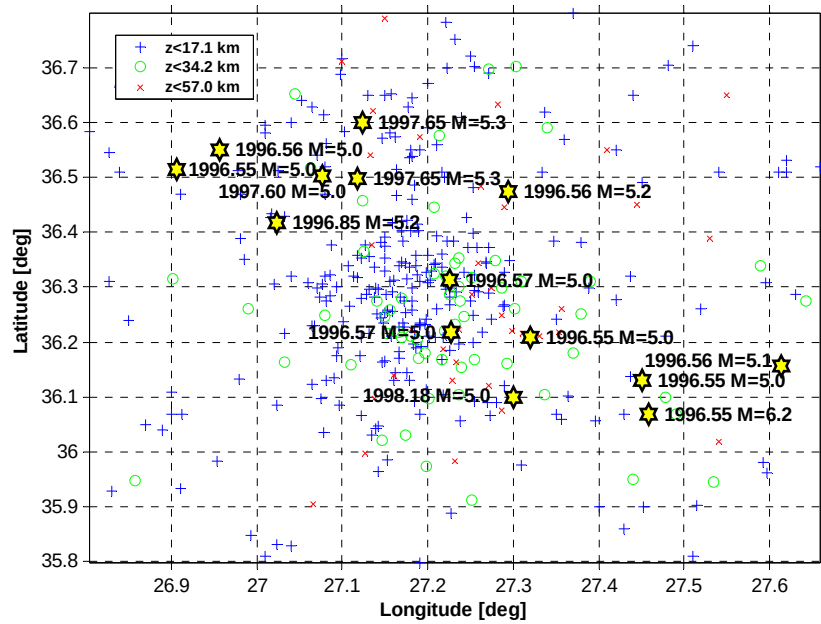


**Σχήμα 7.14.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.1 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους.

#### 7.14.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

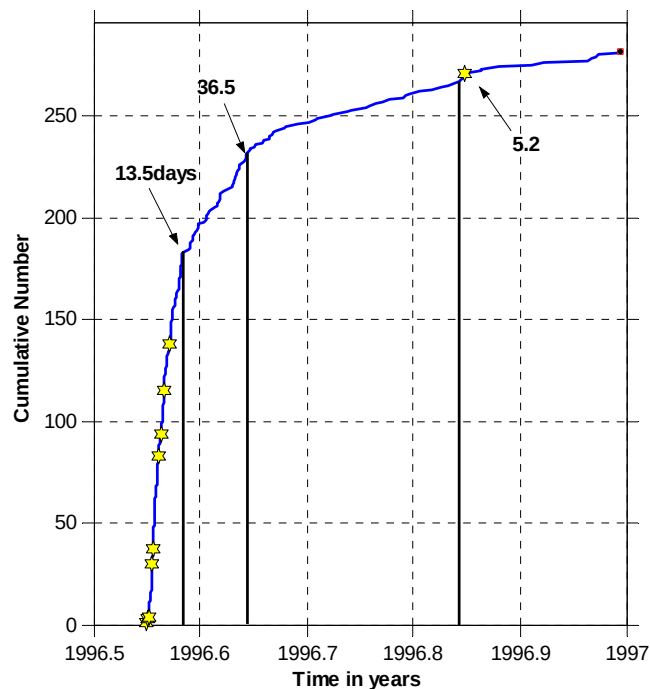
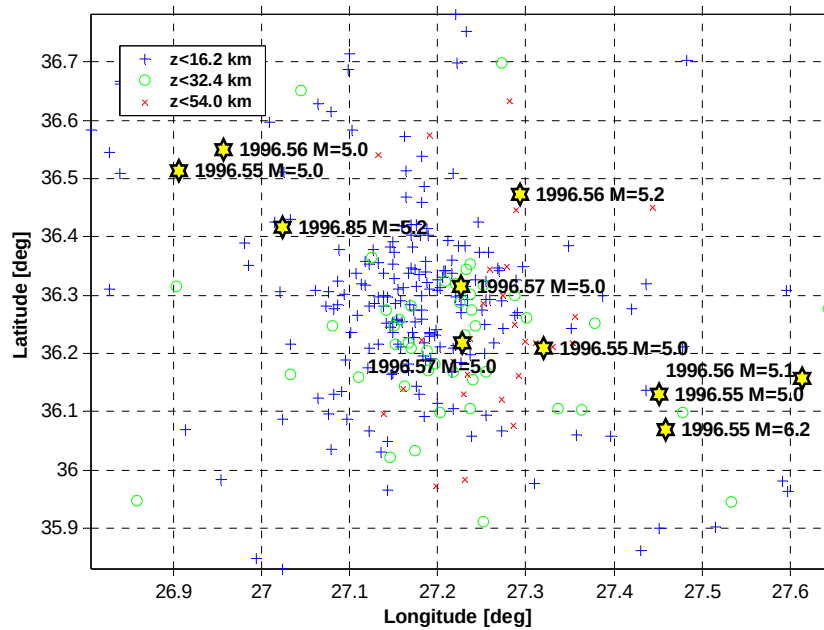
Όπως φαίνεται από το σχήμα 7.14.2.1 (κάτω), στο χρονικό διάστημα μετά τις πρώτες 380 ημέρες γίνονται τέσσερις μεγάλοι μετασεισμοί που σταματούν την ομαλοποίηση της ακολουθίας. Επειδή το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνονται, είναι πολύ μεγάλο μετά τον κύριο σεισμό, και επειδή τα δεδομένα που υπάρχουν για αυτούς είναι πολύ λίγα, θα μελετήσουμε την ακολουθία για το διάστημα των πρώτων 380 ημερών. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη παρατηρούμε ότι η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 50 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής ύστερα από 123 ημέρες (Σχήμα 7.14.2.1) (κάτω). Στο σχήμα 7.14.2.2 (κάτω), φαίνεται πολύ καθαρά η κατάσταση ηρεμίας που επέρχεται πριν από το μετασεισμό μεγέθους  $M=5.2$  που έγινε 109 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό. Η ηρεμία αυτή ξεκινάει ~13 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα τελικά της επίπεδα έπειτα από ~23 ημέρες. Κάτι ανάλογο δεν ήταν δυνατό να παρατηρηθεί και για τον άλλο μετασεισμό μεγέθους  $M=5.2$  που συνέβη 5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό ίσως λόγω του μικρού διαστήματος που μεσολάβησε μεταξύ τους.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Καρπάθου (1996)**



**Σχήμα 7.14.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

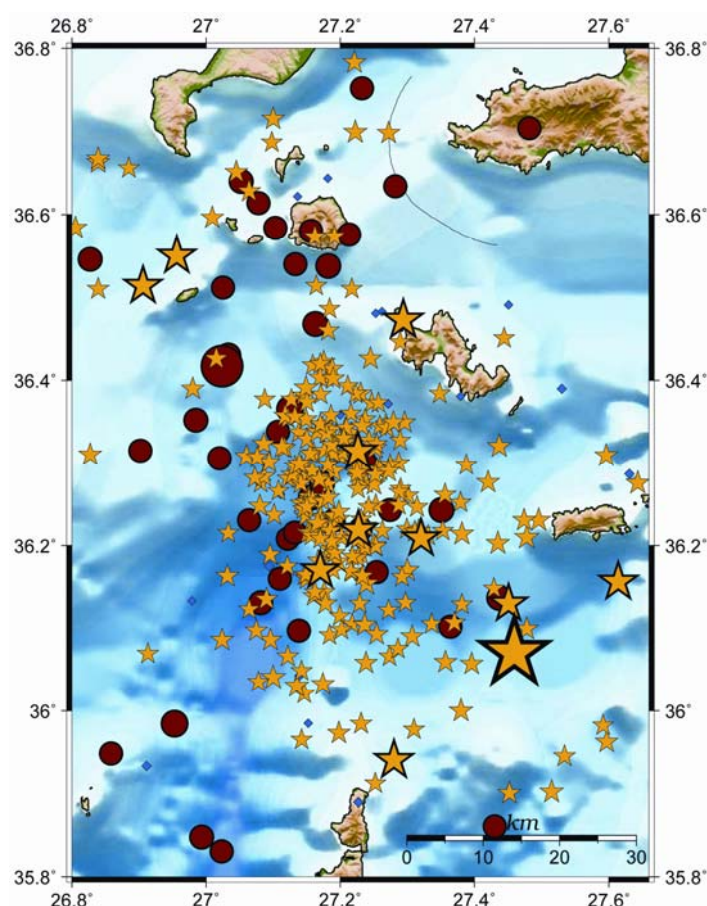
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Καρπάθου (1996)**



**Σχήμα 7.14.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η περίοδος σχετικής ηρεμίας (96 μέρες) πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=5.2$

### 7.14.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι τρεις ομάδες στις οποίες χωρίστηκαν οι μετασεισμοί ανάλογα με τη χρονική περίοδο στην οποία έγιναν είναι οι εξής: η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει μετασεισμούς που έγιναν στις πρώτες 50 ημέρες από τον κύριο σεισμό, η δεύτερη μετασεισμούς που έγιναν τις επόμενες 123 ημέρες και η τρίτη ομάδα μετασεισμούς που έγιναν μέχρι το όριο των 380 ημερών και οφείλονται στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής (Σχήμα 7.14.3.1). Όπως φαίνεται η κατανομή των μετασεισμών της δεύτερης ομάδας (χρονική περίοδος ομαλοποίησης) είναι παρόμοια με αυτή της πρώτης ομάδας. Χαρακτηριστική είναι και πάλι η μεγάλη απόσταση που γίνονται οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας από το επίκεντρο του κύριου σεισμού κάτι που όπως αναφέρθηκε έχει να κάνει με τη σχέση χρόνου και της απόστασης από τον κύριο σεισμό που γίνεται ένας μετασεισμός.



**Σχήμα 7.14.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων των μετασεισμών είναι ανάλογες των μεγεθών τους.

### 7.15 Σεισμική ακολουθία Ζακύνθου (1997)

Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 18 Νοεμβρίου 1997 με μέγεθος  $M=6.6$ . Το επίκεντρο του εντοπίστηκε ΝΔ της Ζακύνθου ( $37.58^\circ\text{B}$ ,  $20.53^\circ\text{A}$ ). Οφείλεται σε ένα ανάστροφο ρήγμα παράταξης ΒΔ-ΝΑ με ΒΑ διεύθυνση βυθίσεως ( $310^\circ/18^\circ/118^\circ$ ). Το μήκος του φτάνει τα 55 χιλιόμετρα. Αποτελεί τη μοναδική ακολουθία που μελετάται με εστιακό βάθος μεγαλύτερο των 60 χιλιομέτρων αφού φτάνει τα 81 χιλιόμετρα. Προκάλεσε αρκετές καταστροφές στο νησί της Ζακύνθου.

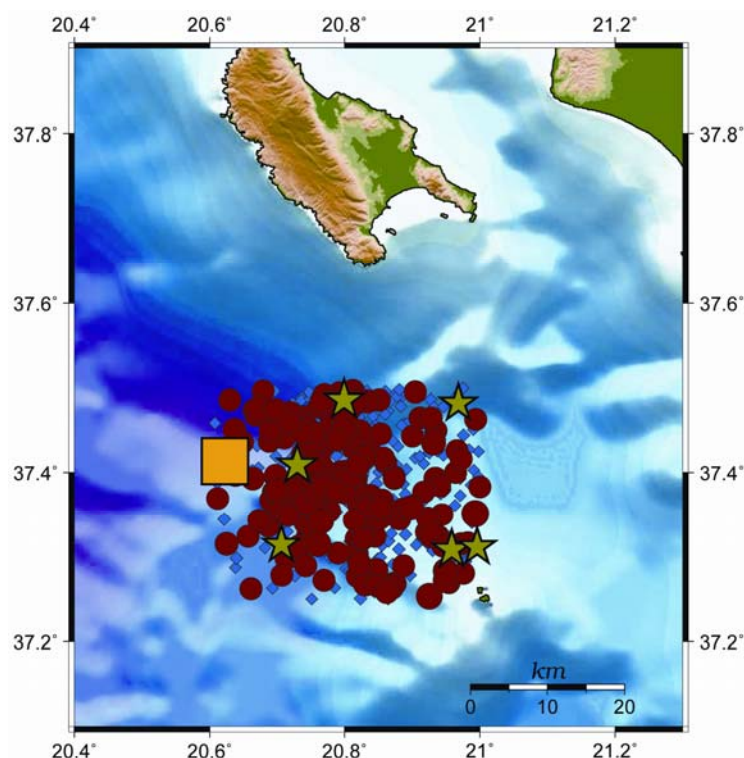
**Πίνακας 7.15.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| <b>ΖΑΚΥΝΘΟΣ</b>       |            |          |
|-----------------------|------------|----------|
| <b>Κύριος σεισμός</b> |            |          |
| 6.6                   | 18/11/1997 | -        |
| <b>Μετασεισμοί</b>    |            |          |
| 5.3                   | 18/11/1997 | 25min    |
| 5.2                   | 18/11/1997 | 1h 21min |
| 5.0                   | 27/11/1997 | 9days    |
| 5.3                   | 01/05/1998 | 154days  |
| 5.0                   | 07/06/1999 | 556days  |

#### 7.15.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M>3.7$ . Η μετασεισμική ακολουθία περιλαμβάνει, στο χρονικό διάστημα των τριών χρόνων μελέτης, πλήθος μετασεισμών και μάλιστα πέντε από αυτούς έχουν μεγέθη ίσα και μεγαλύτερα του 5.0. Οι μετασεισμοί ομαδοποιούνται σε βάθος περίπου 20km. Η χωρική εξέλιξη της σεισμικότητας γίνεται προς τα ΝΑ κατά μήκος του ρήγματος όπως αυτό συμπεραίνεται από την κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών οι οποίοι σχηματίζουν μία ενεργό ζώνη στα ΝΑ του κύριου σεισμού (Σχήμα 7.15.1.1.).





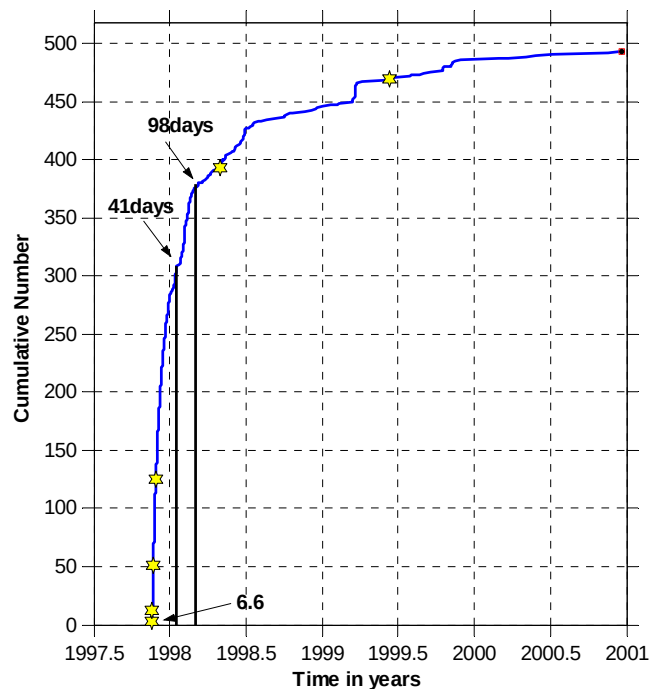
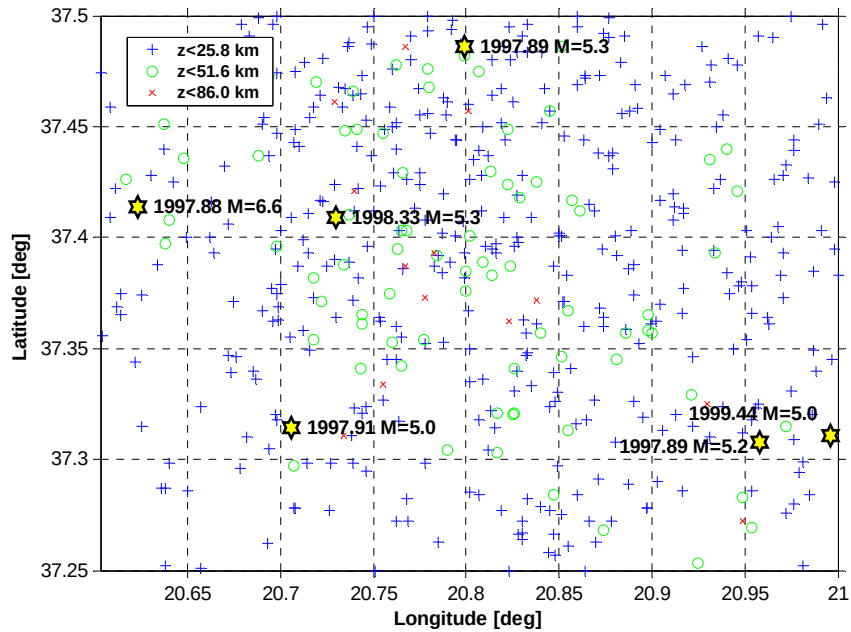
**Σχήμα 7.15.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.7 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

### 7.15.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 41 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και να αγγίζει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής ύστερα από διάστημα 57 ημερών (Σχήμα 7.15.2.1) (κάτω). Από τη μελέτη που έγινε για τυχόν ύπαρξη περιόδου σχετικής ηρεμίας πρόδρομης των ισχυρών μετασεισμών δεν προέκυψε αποτέλεσμα. Τέλος από τη μελέτη των πρώτων δέκα ημερών της ακολουθίας δεν βρέθηκε η περίοδος σχετικής ηρεμίας που ακολουθεί μετά τις 2-3 πρώτες ημέρες από τον κύριο σεισμό.



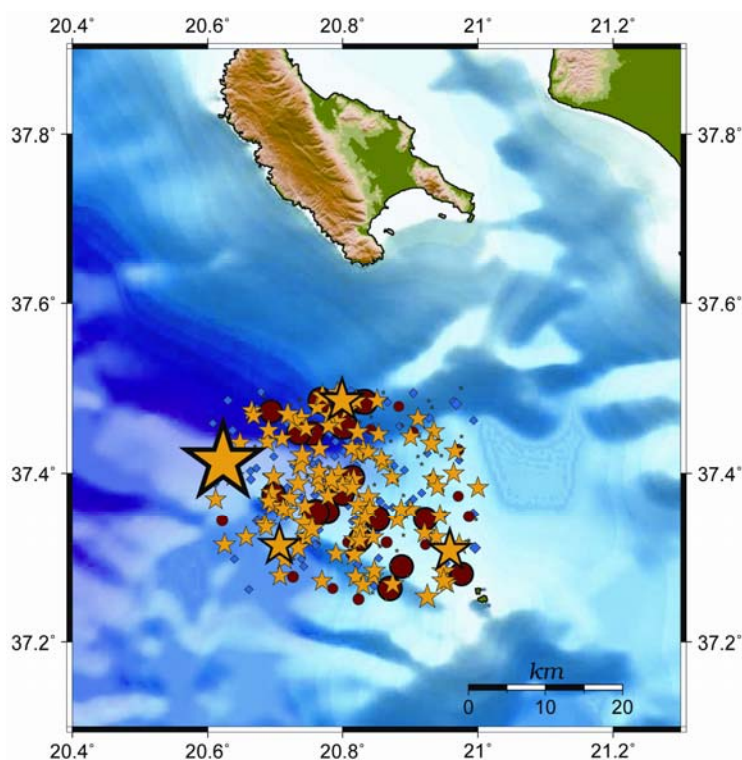
Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Ζακύνθου (1997)



**Σχήμα 7.15.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

### 7.15.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί της ακολουθίας χωρίζονται σε τρεις ομάδες ανάλογα με τη χρονική στιγμή που έγιναν. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει όσους έγιναν στις πρώτες 41 ημέρες από τον κύριο σεισμό, η δεύτερη ομάδα όσους έγιναν στις επόμενες 57 ημέρες και η τρίτη ομάδα όσους έγιναν στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα μέχρι το τέλος των τριών χρόνων μελέτης της ακολουθίας. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως ανεξάρτητα σε ποια ομάδα ανήκουν παρουσιάζουν την ίδια χωρική κατανομή δηλαδή προς τα ΝΑ του κύριου σεισμού (Σχήμα 7.15.3.1).



**Σχήμα 7.15.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων των μετασεισμών είναι ανάλογες των μεγεθών τους.

### 7.16 Σεισμική ακολουθία Αθήνας (1999)

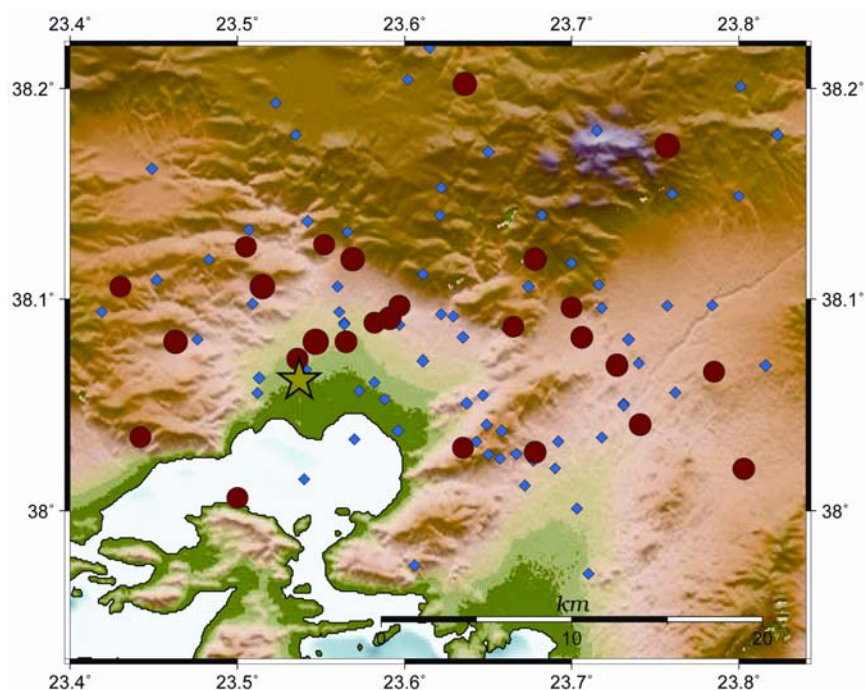
Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 7 Σεπτεμβρίου 1999 και είχε μέγεθος  $M=5.9$ . Το επίκεντρό του ήταν  $38.06^{\circ}B-23.54^{\circ}A$ . Πρόκειται για κανονικό ρήγμα μήκους  $\sim 23\text{km}$ . Η παράταξή του είναι NA και βυθίζεται προς τα NΔ με γωνία κλίσης  $\sim 57^{\circ}$  ( $119^{\circ}/57^{\circ}/-80^{\circ}$ ). Ο σεισμός παρά το σχετικά μικρό του μέγεθος προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στη δυτική Αττική και σημαντικές βλάβες σε άλλα μέρη της Αθήνας και του Πειραιά. Σκοτώθηκαν 143 άνθρωποι, τραυματίστηκαν 1600 και 50000 έμειναν άστεγοι. Κατέρρευσαν 110 οικοδομές ενώ 5222 κρίθηκαν κατεδαφιστέες.

**Πίνακας 7.16.1 Οι κυριότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

| ΑΘΗΝΑ          |           |       |                  |
|----------------|-----------|-------|------------------|
| Κύριος σεισμός |           |       |                  |
| 5,9            | 7/09/1999 | 0,497 | -                |
| Μετασεισμοί    |           |       |                  |
| 4,8            | 7/09/1999 | 0,503 | 8min 38.4sec     |
| 4,9            | 7/09/1999 | 0,864 | 8h 48min 28.8sec |
| 4,7            | 8/09/1999 | 1,538 | 24h 59min 2.4sec |

#### 7.16.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

Τα μεγέθη των μετασεισμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής αυτών είναι μεγαλύτερα του  $M=3.6$ . Οι μετασεισμοί ήταν αρκετά μικροί με ισχυρότερο αυτόν που έγινε μόλις 8 ώρες μετά τον κύριο σεισμό και είχε μέγεθος  $M=4.9$ . Το βάθος στο οποίο ομαδοποιούνται οι μετασεισμοί φτάνει μέχρι και τα 20km με μέσο βάθος περίπου τα 9-10km. Το εστιακό βάθος του κύριου σεισμού ήταν μεγαλύτερο από ότι το αντίστοιχο βάθος των ισχυρότερων μετασεισμών. Κατανέμονται κυρίως σε δύο ομάδες. Μία στα βόρεια και μία στα ανατολικά του κυρίου σεισμού. Μεταξύ των δύο αυτών ομάδων παρατηρείται μία ζώνη με πολύ μικρή σεισμικότητα (Σχήμα 7.16.1.1).

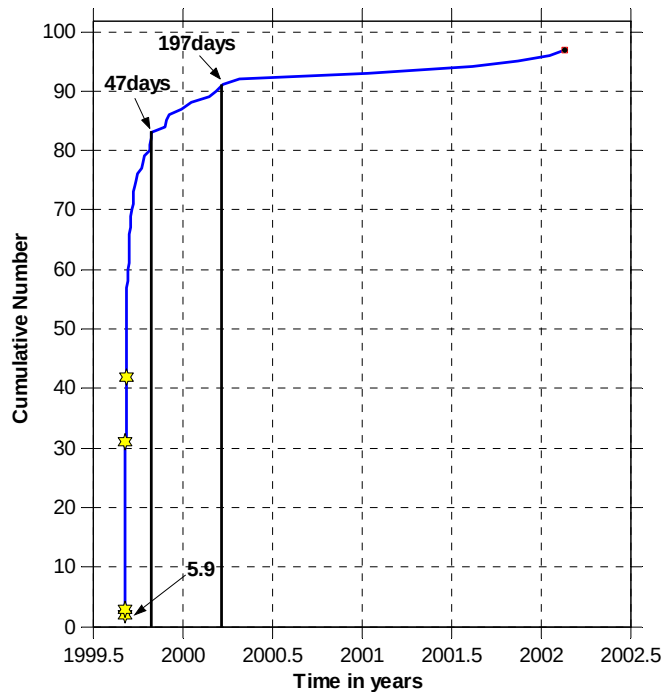
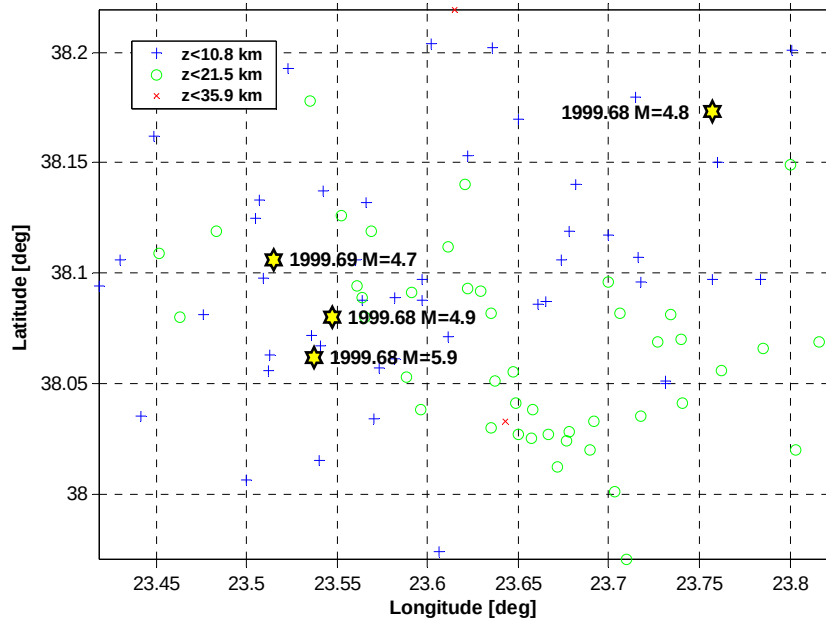


**Σχήμα 7.16.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός και οι ισχυρότεροι μετασεισμοί συμβολίζεται με πράσινο αστέρι, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.6 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

### 7.16.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

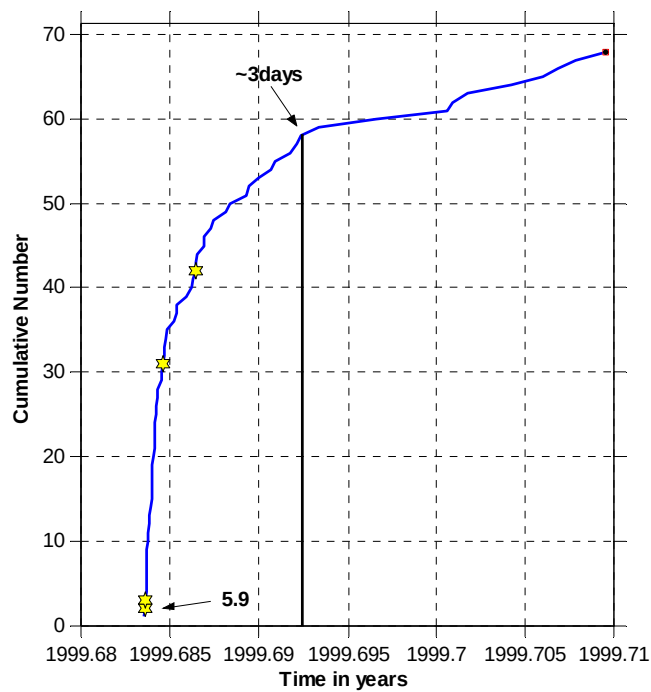
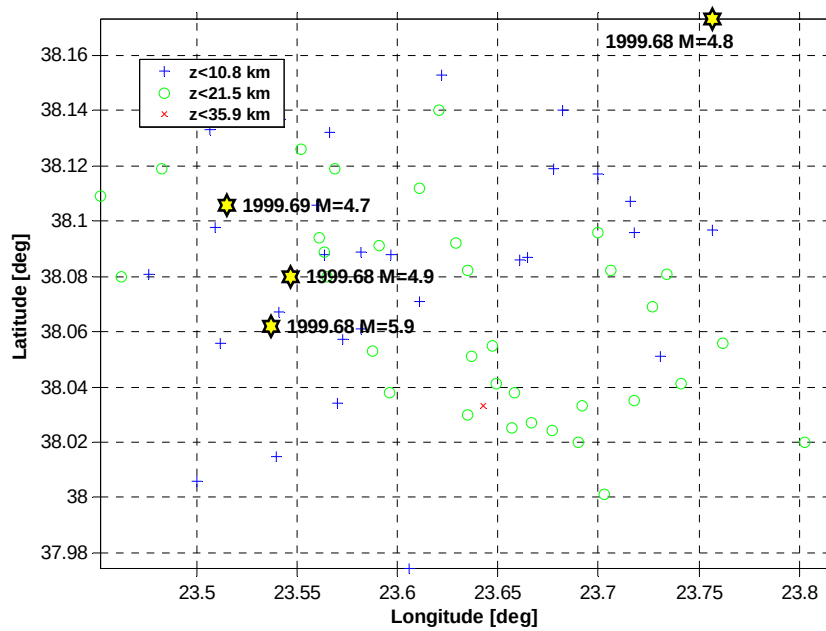
Η ακολουθία αρχίζει να ομαλοποιείται 47 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής συνολικά μετά από 197 ημέρες από τον κύριο σεισμό (Σχήμα 7.16.2.1) (κάτω). Η περίοδος ηρεμίας που θα περιμέναμε να εμφανιστεί αμέσως πριν από τους ισχυρότερους μετασεισμούς, όπως προέκυψε από μελέτη της ακολουθίας στα αντίστοιχα διαστήματα, δεν υπήρξε. Η ακολουθία αμέσως μετά τον κύριο σεισμό φτάνει σε μία σχετική ηρεμία ύστερα από διάστημα 3 ημερών (Σχήμα 7.16.2.2) (κάτω).

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Αθήνας (1999)**



**Σχήμα 7.16.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

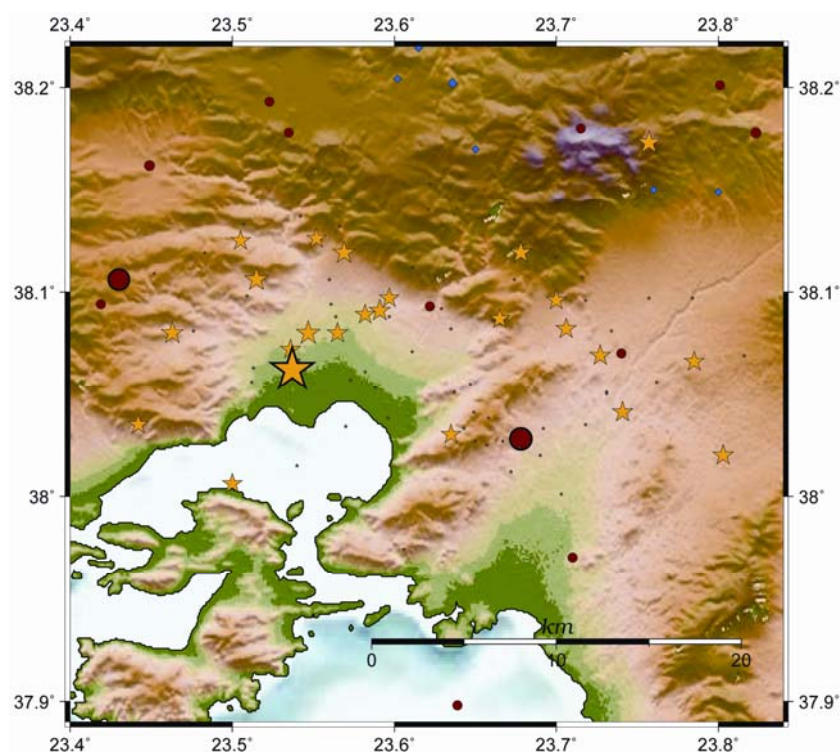
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Αθήνας (1999)**



**Σχήμα 7.16.2.2:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Η εξασθένηση σεισμικότητας ~3 μέρες μετά τον κύριο σεισμό.

### 7.16.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Οι μετασεισμοί χωρίστηκαν και σε αυτήν την περίπτωση σε τρεις υποομάδες. Η πρώτη στην οποία ανήκουν τα γεγονότα που έγιναν τις πρώτες 47 ημέρες της ακολουθίας, η δεύτερη που περιλαμβάνει τους μετασεισμούς των επόμενων 150 ημερών και η τρίτη που περιλαμβάνει τους μετασεισμούς που ανήκουν στην κανονική σεισμικότητα της περιοχής. Αξιοσημείωτο είναι το ότι οι μετασεισμοί που ανήκουν στην πρώτη ομάδα αποτελούν περίπου το 85% του συνολικού αριθμού των μετασεισμών και των τριών ομάδων. Χαρακτηριστική είναι και πάλι η μεγάλη απόσταση στην οποία γίνονται οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας από τον κύριο σεισμό σε σχέση με τους μετασεισμούς της πρώτης ομάδας (Σχήμα 7.16.3.1).



**Σχήμα 7.16.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας συμβολίζονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων των μετασεισμών είναι ανάλογες των μεγεθών τους.



### 7.17 Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)

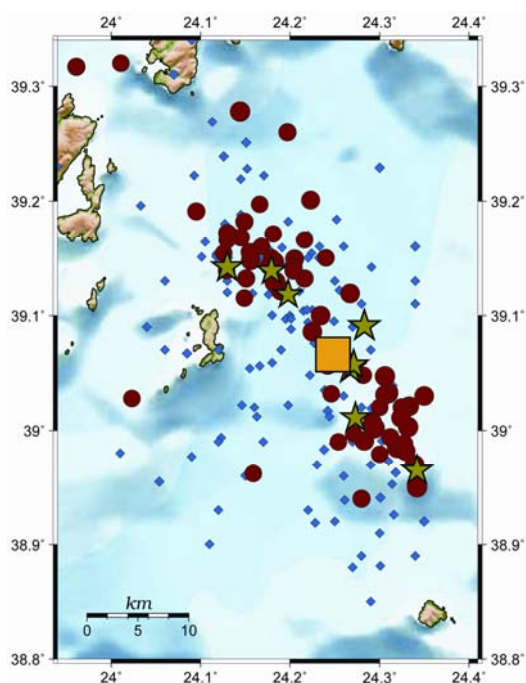
Ο κύριος σεισμός της ακολουθίας έγινε στις 26 Ιουλίου 2001 με επίκεντρο τη θαλάσσια περιοχή ΒΔ της Σκύρου (39.05°B,23.35°A) και είχε μέγεθος  $M=6.4$ . Από τον προσδιορισμό του μηχανισμού γένεσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι πρόκειται για ένα αριστερόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα με παράταξη ΒΔ-ΝΑ (238°/85°/-161°) και μήκος περίπου 22 χιλιόμετρα. Προσεισμική δραστηριότητα ξεκίνησε 5 ημέρες πριν τον κύριο σεισμό και έντονη μετασεισμική δράση ακολούθησε κατά μήκος του επιπέδου του ρήγματος. Η ενιαία σεισμική ακολουθία χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποακολουθίες χρονικά. Η πρώτη υποακολουθία είναι αυτή που οφείλεται στον κύριο σεισμό ενώ η δεύτερη είναι αυτή που οφείλεται σε μετασεισμό που έγινε 95 ημέρες αργότερα στις 29 Οκτωβρίου 2001 με μέγεθος  $M=5.4$ . Ο σεισμός προκάλεσε την καταστροφή 5 οικοδομών και επισκευάσιμες βλάβες σε 160. Προκλήθηκαν καταρρεύσεις βράχων στο δυτικό τμήμα του κάστρου της Σκύρου. Στέρεψε η πηγή Αναβάλλουσα και δημιουργήθηκε σημαντικό πρόβλημα ύδρευσης στο νησί της Σκύρου. Ο σεισμός έγινε έντονα αισθητός στην Αθήνα.

**Πίνακας 7.17.1 Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί της μετασεισμικής ακολουθίας. Αναφέρονται τα μεγέθη τους, ο χρόνος γένεσής τους και το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τον κύριο σεισμό.**

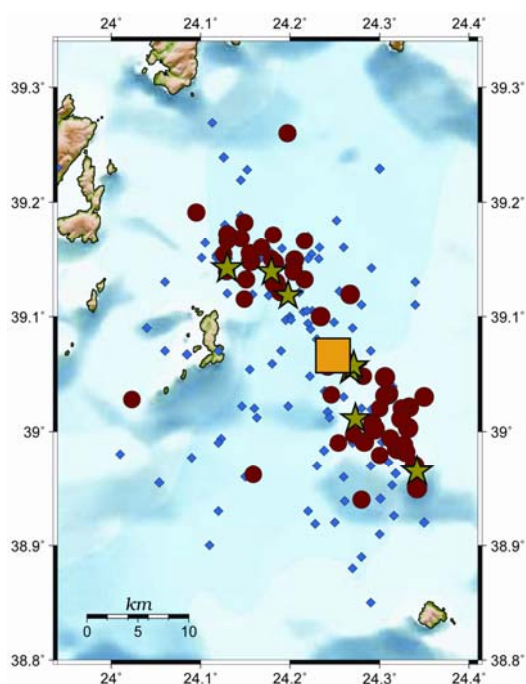
| <b>ΣΚΥΡΟΣ</b>         |            |        |                   |
|-----------------------|------------|--------|-------------------|
| <b>Κύριος σεισμός</b> |            |        |                   |
| 6,4                   | 26/07/2001 | 0,015  | -                 |
| <b>Μετασεισμοί</b>    |            |        |                   |
| 5,3                   | 26/07/2001 | 0,024  | 12min 57.6sec     |
| 5,0                   | 26/07/2001 | 0,084  | 1h 39min 21.6sec  |
| 5,2                   | 26/07/2001 | 0,088  | 1h 45min 7.2sec   |
| 5,1                   | 26/07/2001 | 0,111  | 2h 18min 14.4sec  |
| 5,1                   | 26/07/2001 | 0,203  | 4h 30min 43.2sec  |
| 5,1                   | 26/07/2001 | 0,6    | 14h 2min 24sec    |
| 5,4                   | 30/07/2001 | 4,642  | 111h 2min 52.8sec |
| 5,4                   | 29/10/2001 | 95,848 | 95days            |

### 7.17.1 Χωρική κατανομή των μετασεισμών

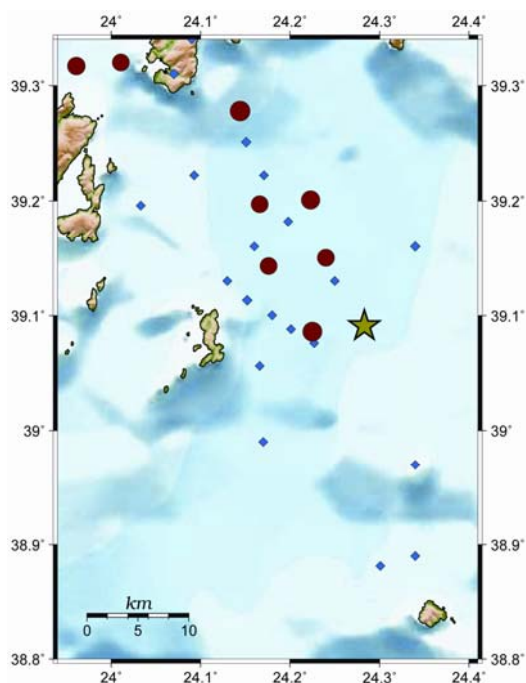
Οι μετασεισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της χωρικής και χρονικής τους κατανομής έχουν μεγέθη  $M > 3.5$ . Μελετώντας τη χωρική κατανομή της **μετασεισμικής ακολουθίας συνολικά** παρατηρούμε μία ΒΔ-ΝΑ κατανομή των μετασεισμών κατά μήκος δηλαδή του επιπέδου του ρήγματος. Ο κύριος σεισμός βρίσκεται στο μέσο περίπου της ενεργού ζώνης που έγιναν οι μετασεισμοί, με τους ισχυρότερους εξ αυτών ( $M > 4.9$ ) να γίνονται εκατέρωθέν του, κάτι που αποδεικνύει μία δικατευθυντική διάδοση της σεισμικότητας (Σχήμα 7.17.1.1). Η χωρική κατανομή των μετασεισμών της **πρώτης υποακολουθίας** είναι ταυτόσημη σχεδόν με την αντίστοιχη της ενιαίας ακολουθίας αφού ουσιαστικά αποτελεί και το μεγαλύτερο κομμάτι της (Σχήμα 7.17.1.2). Οι μετασεισμοί ομαδοποιούνται σε ένα μέσο βάθος περίπου 15km. Μελετώντας τέλος τη χωρική κατανομή των μετασεισμών της **δεύτερης υποακολουθίας** παρά τα πολύ λίγα δεδομένα που είναι διαθέσιμα παρατηρείται ότι η κατανομή αυτών γίνεται μόνο προς τα ΒΔ του μετασεισμού που την προκάλεσε, δηλαδή εμφανίζεται μία μονοκατευθυντική διάδοση της σεισμικότητας (Σχήμα 7.17.1.3).



**Σχήμα 7.17.1.1:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.



**Σχήμα 7.17.1.2:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της πρώτης υποακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με κίτρινο τετράγωνο, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $4.9 < M < 6.0$  συμβολίζονται με πράσινα αστέρια, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.



**Σχήμα 7.17.1.3:** Χωρική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της δεύτερης υποακολουθίας ακολουθίας. Ο κύριος σεισμός συμβολίζεται με πράσινο αστέρι, οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.9 < M < 5.0$  συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και οι μετασεισμοί με μέγεθος  $3.5 < M < 4.0$  συμβολίζονται με μπλε ρόμβους.

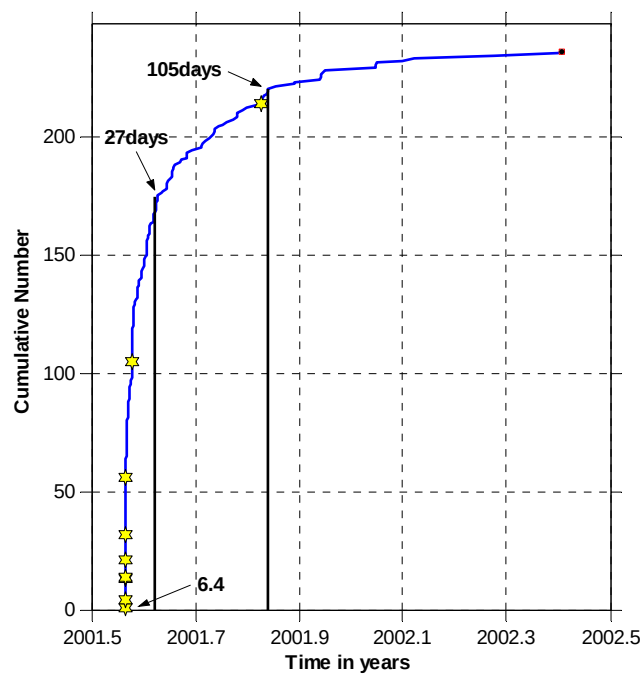
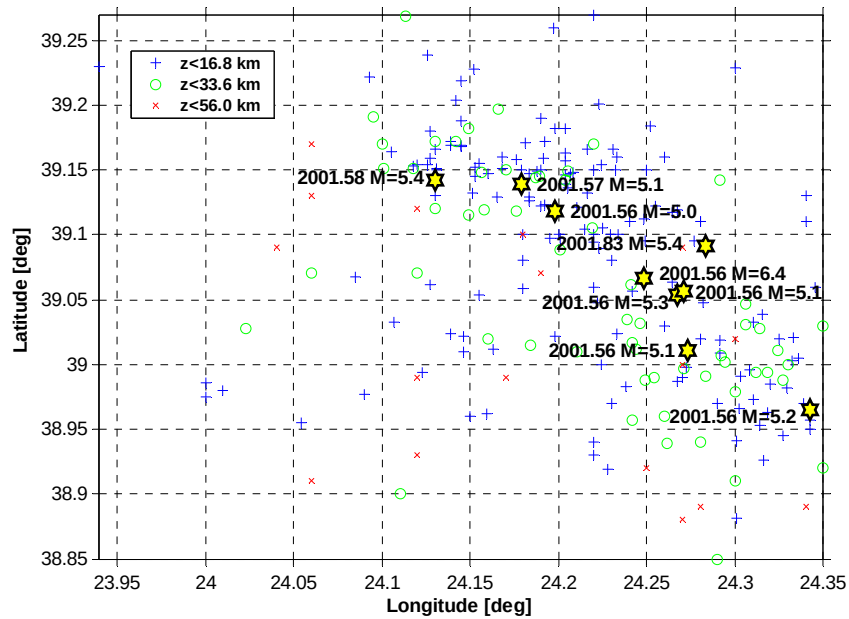
### 7.17.2 Χρονική κατανομή των μετασεισμών

Αρχικά μελετώντας τη χρονική κατανομή των μετασεισμών της **ενιαίας ακολουθίας** παρατηρούμε ότι αρχίζει να ομαλοποιείται 27 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει τα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής μετά από διάστημα 78 ημερών (Σχήμα 7.17.2.1) (κάτω). Όσον αφορά την περίοδο σχετικής ηρεμίας αμέσως πριν από μεγάλους μετασεισμούς φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα 7.17.2.2 (κάτω), όπου μελετώντας τις πρώτες 10 ημέρες της ακολουθίας παρατηρείται μία απότομη ελάττωση του αριθμού των μετασεισμών για ένα διάστημα 3,5 ημερών πριν από τον μετασεισμό μεγέθους  $M=5.4$  που έγινε 4,5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η στιγμή που ξεκινάει η ελάττωση της συχνότητας των μετασεισμών 30 ώρες περίπου μετά τον κύριο σεισμό. Όπως γίνεται αντιληπτό αυτό το χρονικό σημείο συμπίπτει με το σημείο που ξεκινάει η περίοδος σχετικής ηρεμίας πριν το μεγάλο μετασεισμό.

Μελετώντας την **πρώτη υποακολουθία** ξεχωριστά παρατηρούμε ότι αρχίζει να ομαλοποιείται περίπου 5,5 ημέρες μετά τον κύριο σεισμό και φτάνει στα επίπεδα της κανονικής σεισμικότητας της περιοχής 29 ημέρες αργότερα (Σχήμα 7.17.2.).

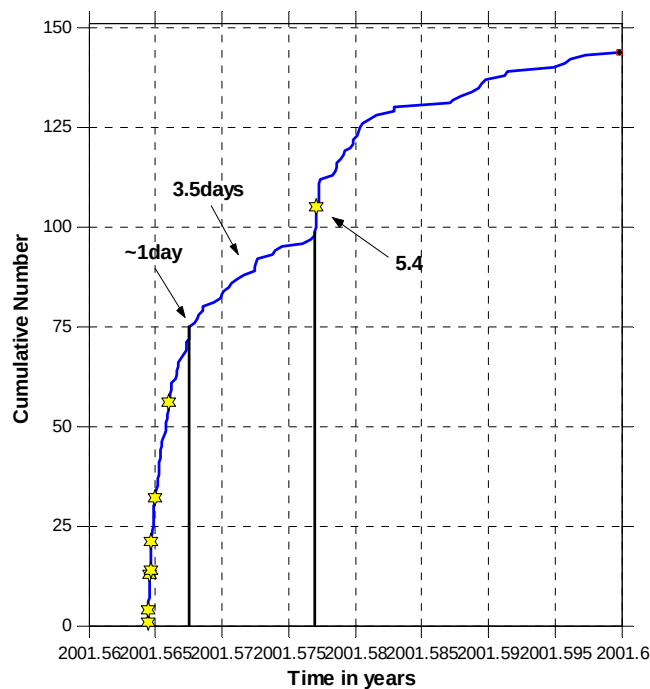
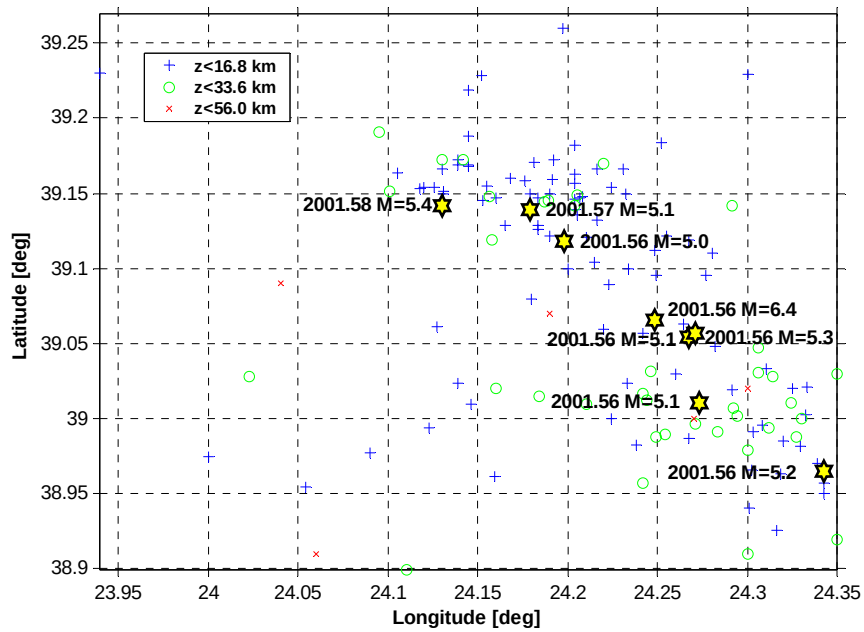
Τέλος η **δεύτερη υποακολουθία** αρχίζει να ομαλοποιείται 44 ημέρες μετά τον μεγάλο μετασεισμό και να ολοκληρώνεται η ομαλοποίηση της 64 ημέρες αργότερα (Σχήμα 7.17.2.4) (κάτω). Τα χρονικά αυτά διαστήματα για την δεύτερη υποακολουθία βέβαια επιδέχονται αμφισβήτηση αφού τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν είναι πολύ λίγα.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)**



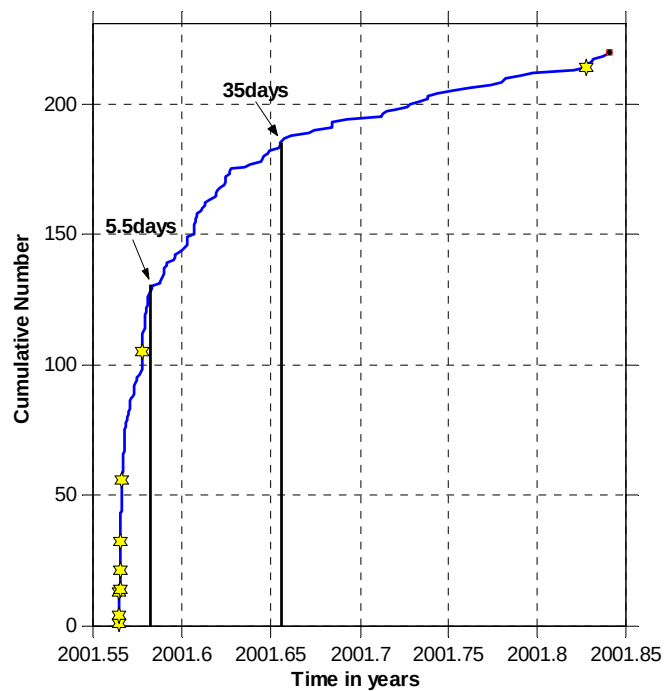
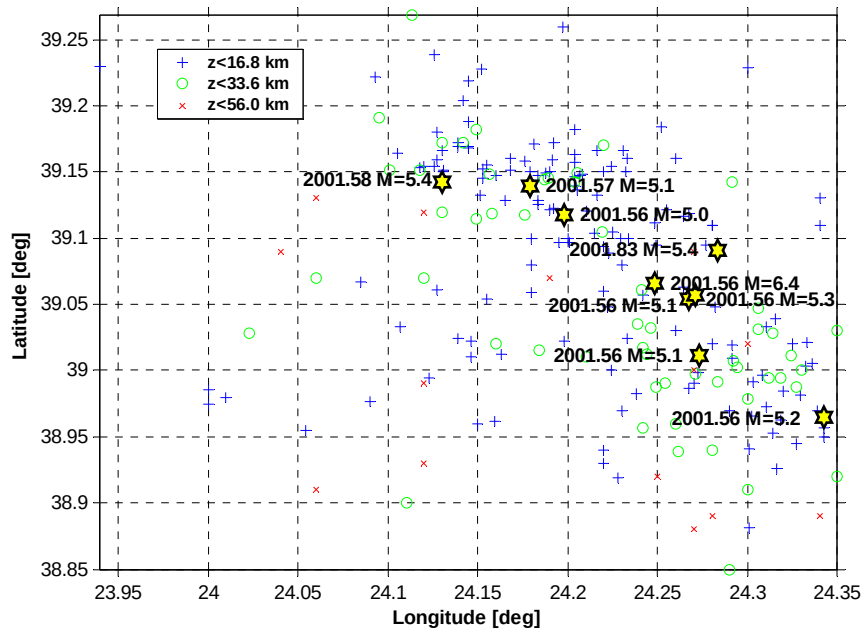
**Σχήμα 7.17.2.1:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της ακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια.

**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)**



**Σχήμα 7.17.2.2:** Χωρική (πάνω) και χρονική (κάτω) κατανομή των μετασεισμών της ακολουθίας. Η εξασθένηση σεισμικότητας  $\sim 1$  μέρα μετά τον κύριο σεισμό. Η περίοδος σχετικής ηρεμίας (3.5μέρες) πρόδρομη του μετασεισμού μεγέθους  $M=5.4$

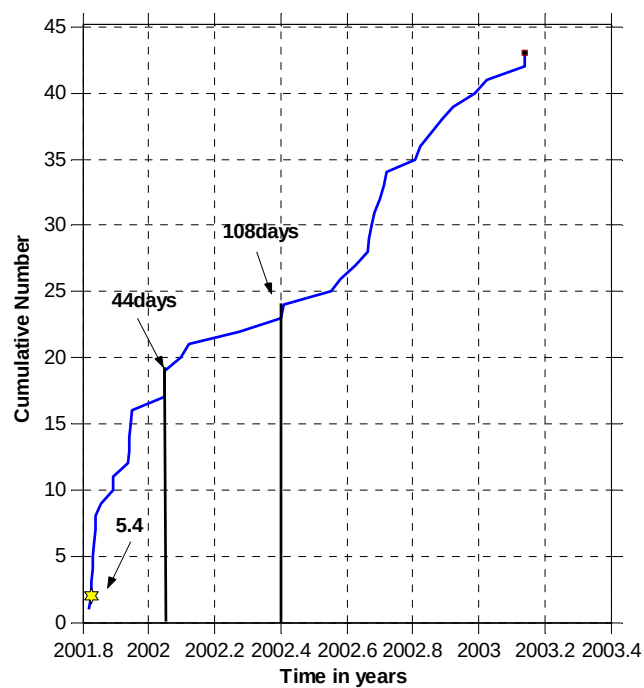
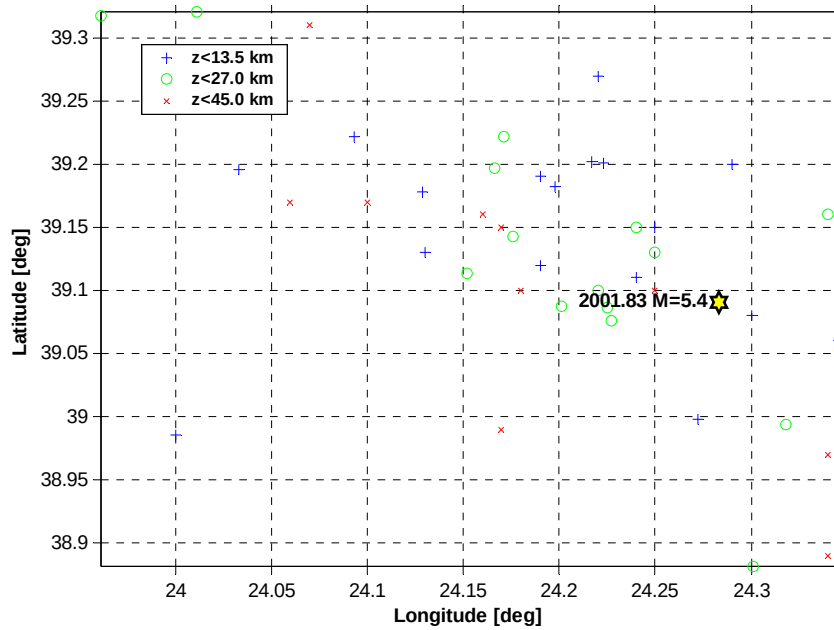
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)**



**Σχήμα 7.17.2.3:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της πρώτης υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια



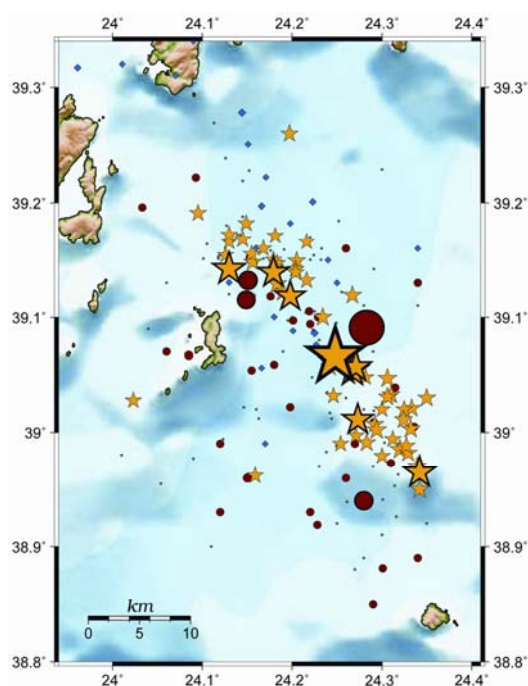
**Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου**  
**Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)**



**Σχήμα 7.17.2.4:** Χωρική κατανομή των μετασεισμών (πάνω). Χρονική κατανομή των μετασεισμών (κάτω). Φαίνονται τα όρια της περιόδου ομαλοποίησης της δεύτερης υποακολουθίας. Οι ισχυρότεροι μετασεισμοί προβάλλονται με κίτρινα αστέρια

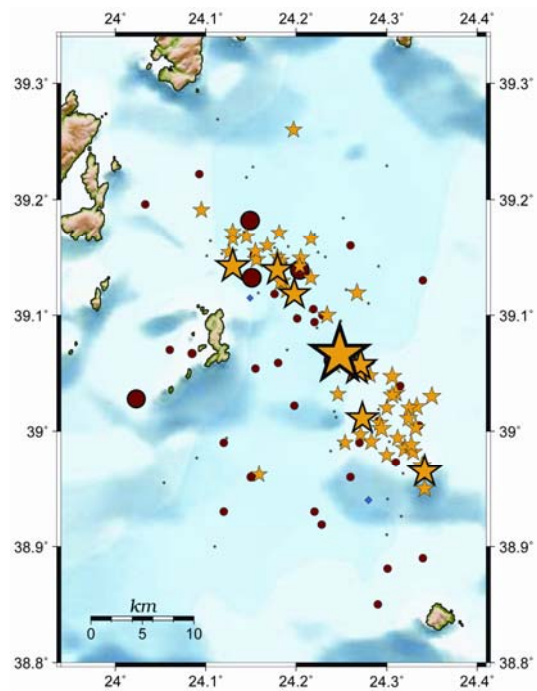
### 7.17.3 Χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών

Για τη μελέτη της χωροχρονικής κατανομής των μετασεισμών της μετασεισμικής ακολουθίας χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες ανάλογα με το χρονικό σημείο στο οποίο έγιναν σε σχέση πάντα με το κατώτερο και ανώτερο όριο της περιόδου ομαλοποίησης. Οι μετασεισμοί της πρώτης ομάδας συμβολίζονται με κίτρινα αστέρια, οι μετασεισμοί της δεύτερης ομάδας συμβολίζονται με κόκκινους κύκλους και τέλος οι μετασεισμοί της τρίτης ομάδας παριστάνονται με μπλε ρόμβους. Οι διαστάσεις των συμβόλων είναι ανάλογες των μεγεθών των μετασεισμών. Στα σχήματα 7.17.3.1 και 7.17.3.2 παρατηρούμε τη χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών της ενιαίας και της πρώτης υποακολουθίας αντίστοιχα. Συμπεραίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις οι μετασεισμοί και των τριών ομάδων κατανέμονται με τον ίδιο τρόπο (ΒΔ-ΝΑ). Μελέτη της χωροχρονικής κατανομής των μετασεισμών της δεύτερης υποακολουθίας δεν έγινε εξαιτίας των πολύ λίγων δεδομένων.



**Σχήμα 7.17.3.1:** Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της ενιαίας ακολουθίας.

Μελέτη σεισμικών ακολουθιών του ελληνικού χώρου  
Σεισμική ακολουθία Σκύρου (2001)



Σχήμα 7.17.3.2: Χωροχρονική κατανομή των ισχυρότερων μετασεισμών της πρώτης υποακολουθίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της μελέτης της χρονικής κατανομής των μετασεισμών των ακολουθιών είναι να παρατηρηθεί τυχόν κοινή συμπεριφορά των ακολουθιών οι οποίες γίνονται σε περιοχές με παρόμοιες γεωτεκτονικές ιδιότητες. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι και η τυχόν σχέση που υπάρχει μεταξύ των διαστημάτων ομαλοποίησης με τα μεγέθη των κύριων σεισμών των ακολουθιών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ιστογράμματα κατανομής των διαστημάτων ομαλοποίησης<sup>1</sup> τόσο για τις ενιαίες ακολουθίες όσο και για τις υποακολουθίες ξεχωριστά.

Όπως παρατηρούμε, τόσο στον πίνακα 8.1 όσο και στα ιστογράμματα κατανομής των διαστημάτων ομαλοποίησης (Ιστογράμματα Κατανομής, Σχήμα 8.4 (α),(β)), η αφετηρία (πρώτο διάστημα περιόδου ομαλοποίησης) για τα χρονικά διαστήματα ομαλοποίησης για τις ακολουθίες στις Αλκυονίδες (1981), το Αίγιο (1995) και την Αθήνα (1999) ,που συνέβησαν στην ίδια γεωτεκτονική περιοχή και οφείλονται σε διαρρήξεις ρηγμάτων ίδιου τύπου (κανονικά), παρότι τα μεγέθη των κύριων σεισμών είναι διαφορετικά, είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό όμοια δηλαδή 40, 40 και 47 ημέρες, αντίστοιχα. Κάτι ανάλογο παρατηρείται και για τις μετασεισμικές ακολουθίες δύο επίσης γειτονικών διαρρήξεων με κοινούς μηχανισμούς γένεσης, του Β. Αιγαίου (Θάσος) (1982)και της Λέσβου (1981). Κάθε μία από αυτές τις ακολουθίες χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποακολουθίες. Η αφετηρία λοιπόν των χρονικών διαστημάτων ομαλοποίησης για τις δύο υποακολουθίες στο Β. Αιγαίο (Θάσος) (1982) και τη δεύτερη στη Λέσβο (Ιππείο) (1981) είναι σε μεγάλο βαθμό όμοια, 24, 20 και 18 ημέρες αντίστοιχα.

<sup>1</sup> Τα ιστογράμματα κατανομής παρατίθενται στο τέλος του κεφαλαίου.

Σε αντίθεση με την καλή συμφωνία που υπάρχει στην έναρξη των διαστημάτων ομαλοποίησης στις παραπάνω ακολουθίες, σε ότι έχει να κάνει με τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων ομαλοποίησης (δεύτερο διάστημα περιόδου ομαλοποίησης) δεν βρέθηκαν κάποια κοινά στοιχεία σε ακολουθίες κοινών γεωτεκτονικών περιοχών. Όσον αφορά τη σχέση που πιθανόν να υπήρχε μεταξύ του μεγέθους του κύριου σεισμού και των χρονικών διαστημάτων ομαλοποίησης των ακολουθιών δεν προκύπτει κάτι τέτοιο από τη μελέτη των ιστογραμμάτων κατανομής αφού παρατηρούνται περιπτώσεις σεισμών με μεγάλα μεγέθη να έχουν μικρότερα διαστήματα ομαλοποίησης από σεισμούς πολύ μικρότερων μεγεθών. Αυτό εμφανίζεται φυσικά και σε σεισμούς που έγιναν στην ίδια γεωτεκτονική περιοχή.

Συμπερασματικά, δεν μπορεί να γίνει κάποια συστηματική παρατήρηση τόσο όσον αφορά τη σχέση μεταξύ του μεγέθους του κύριου σεισμού και των διαστημάτων ομαλοποίησης των αντίστοιχων σεισμικών ακολουθιών όσο και για τη σχέση μεταξύ του σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος κάθε περιοχής και των διαστημάτων ομαλοποίησης των αντίστοιχων σεισμικών ακολουθιών.

Η χωρική κατανομή των μετασεισμών, όπως προκύπτει από τη μελέτη των ανωτέρω μετασεισμικών ακολουθιών, ακολουθεί τους κανόνες που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο για τη χωρική κατανομή των μετασεισμών (3<sup>ο</sup> κεφάλαιο). Το σύνολο δηλαδή των μετασεισμών συμβαίνει στο σεισμογόνο χώρο, στο χώρο δηλαδή που ορίζεται από το ρήγμα, παράλληλα προς αυτό, είτε με δικατευθυντική είτε με μονοκατευθυντική διάδοση της διάρρηξης.

Τέλος όσον αφορά ταυτόχρονα την χωροχρονική κατανομή των μετασεισμών το βασικότερο συμπέρασμα είναι η επιβεβαίωση της σχέσης που υπάρχει μεταξύ του χρονικού διαστήματος από τον κύριο σεισμό και της απόστασης από το επίκεντρο αυτού στην οποία γίνονται μετασεισμοί. Όσο δηλαδή περνάει ο χρόνος τόσο και η

απόσταση στην οποία γίνονται οι μετασεισμοί από τον κύριο σεισμό, είναι δυνατόν να μεγαλώνει.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι ορισμένα από τα αποτελέσματα της μελέτης, για τη χρονική κατανομή των μετασεισμών ιδιαίτερα, είναι ασαφή και για ορισμένες από τις ακολουθίες σε κάποιο ποσοστό ίσως λανθασμένα εξαιτίας κυρίως της έλλειψης επαρκών δεδομένων. Επιπροσθέτως στις περιπτώσεις που παρατηρείται διαχωρισμός της ενιαίας ακολουθίας σε δύο υποακολουθίες η μελέτη είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των δύο υποακολουθιών. Για το λόγο αυτό στη σύνταξη των παραπάνω ιστογραμμάτων εισήχθησαν και δεδομένα τα οποία είναι πιθανόν να έχουν μειωμένη εγκυρότητα. Παρόλα αυτά τα συγκεκριμένα δεδομένα δεν λήφθηκαν υπόψη στην ερμηνεία των ιστογραμμάτων.

**Πίνακας 8.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της χρονικής κατανομής των μετασεισμών των ακολουθιών όπου φαίνεται το μέγεθος κάθε σεισμού, η έναρξη και η συνολική διάρκεια της περιόδου ομαλοποίησης.**

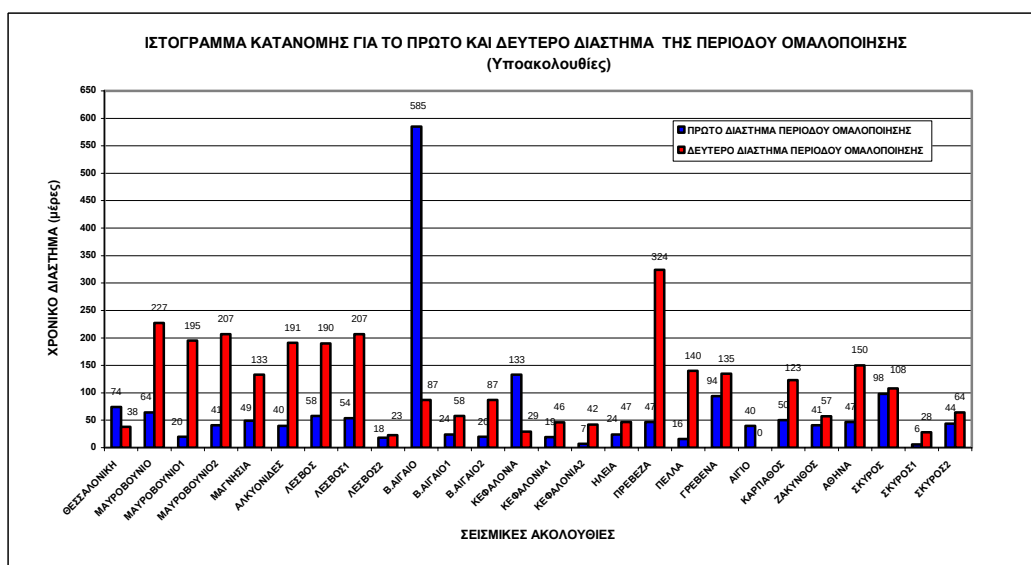
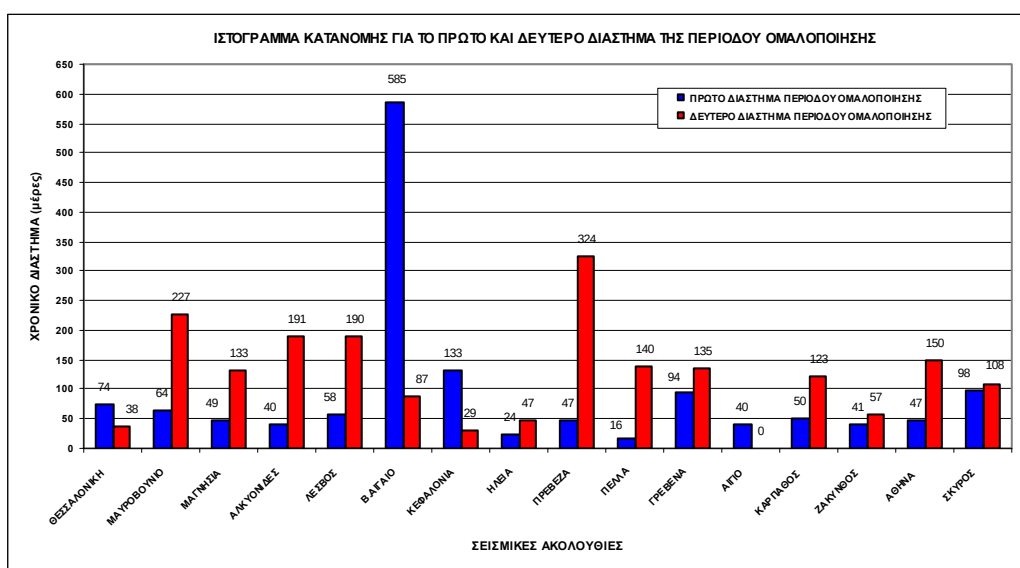
| <b>ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ<br/>ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ</b> | <b>ΜΕΓΕΘΟΣ</b> | <b>ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ<br/>ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗΣ<br/>(μέρες από τον κύριο σεισμό)</b> | <b>ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ<br/>ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΣΗΣ<br/>(μέρες)</b> |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ                         | 6.5            | 74                                                                       | 38                                                    |
| ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟ                         | 7.1            | 64                                                                       | 227                                                   |
| ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟ1                        | 7.1            | 20                                                                       | 195                                                   |
| ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟ2                        | 6.3            | 41                                                                       | 207                                                   |
| ΜΑΓΝΗΣΙΑ                            | 6.5            | 49                                                                       | 133                                                   |
| ΑΛΚΥΟΝΙΔΕΣ                          | 6.7            | 40                                                                       | 191                                                   |
| ΛΕΣΒΟΣ                              | 7.2            | 58                                                                       | 190                                                   |
| ΛΕΣΒΟΣ1                             | 7.2            | 54                                                                       | 207                                                   |
| ΛΕΣΒΟΣ2                             | 6.5            | 18                                                                       | 23                                                    |
| Β.ΑΙΓΑΙΟ                            | 7.0            | 585                                                                      | 87                                                    |
| Β.ΑΙΓΑΙΟ1                           | 7.0            | 24                                                                       | 58                                                    |
| Β.ΑΙΓΑΙΟ2                           | 6.8            | 20                                                                       | 87                                                    |
| ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ                           | 7.0            | 133                                                                      | 29                                                    |
| ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ1                          | 7.0            | 19                                                                       | 46                                                    |
| ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ2                          | 6.2            | 7                                                                        | 42                                                    |
| ΗΛΕΙΑ                               | 6.0            | 24                                                                       | 47                                                    |
| ΠΡΕΒΕΖΑ                             | 6.0            | 47                                                                       | 324                                                   |
| ΠΕΛΛΑ                               | 6.0            | 16                                                                       | 140                                                   |
| ΓΡΕΒΕΝΑ                             | 6.6            | 94                                                                       | 135                                                   |
| ΑΙΓΙΟ                               | 6.4            | 40                                                                       | 0                                                     |
| ΚΑΡΙΠΑΘΟΣ                           | 6.2            | 50                                                                       | 123                                                   |
| ΖΑΚΥΝΘΟΣ                            | 6.6            | 41                                                                       | 57                                                    |
| ΑΘΗΝΑ                               | 5.9            | 47                                                                       | 150                                                   |
| ΣΚΥΡΟΣ                              | 6.4            | 98                                                                       | 108                                                   |
| ΣΚΥΡΟΣ1                             | 6.4            | 6                                                                        | 28                                                    |
| ΣΚΥΡΟΣ2                             | 5.4            | 44                                                                       | 64                                                    |



**ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ**

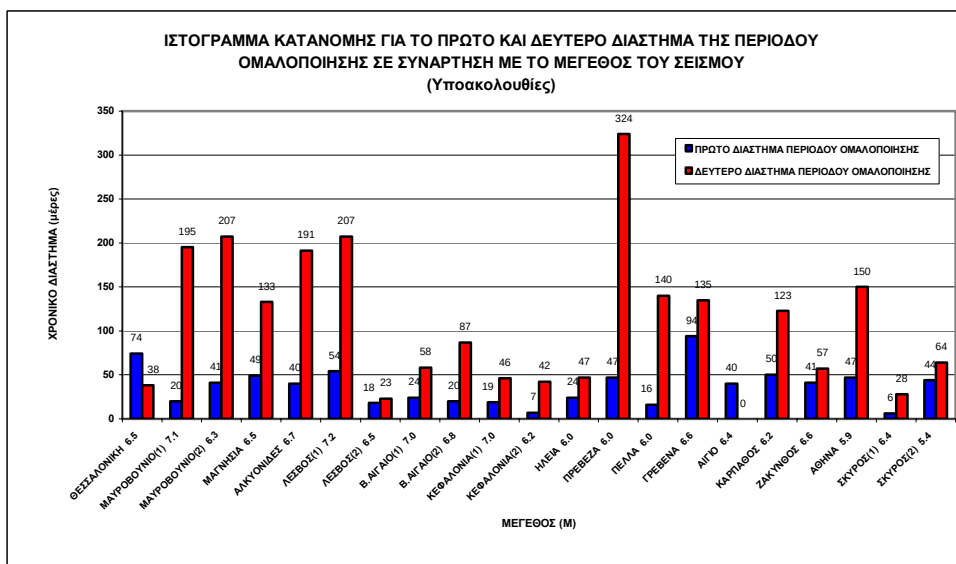
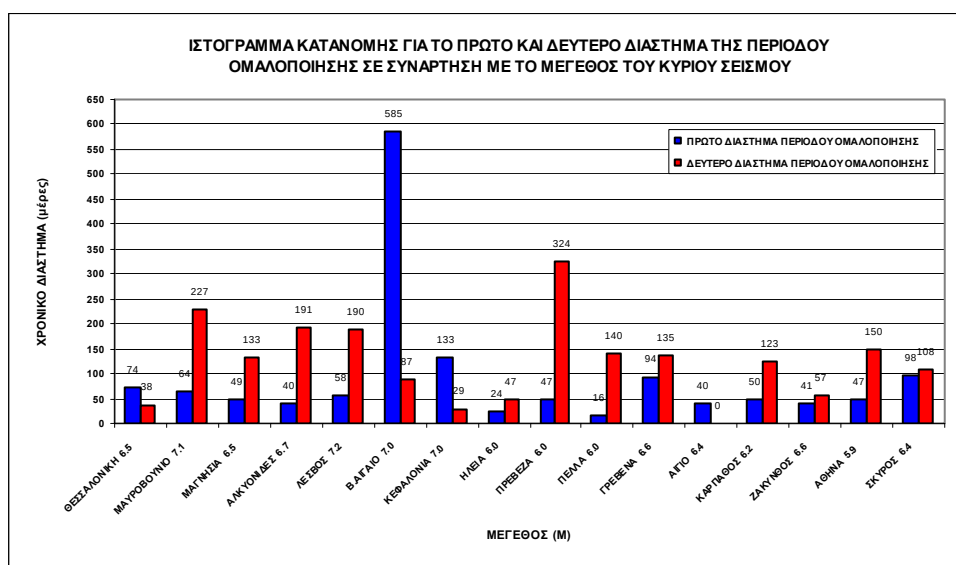
## Ιστογράμματα Κατανομής

Τα σχήματα 8.1(α),(β) αποτελούν ιστογράμματα κατανομής για το πρώτο και δεύτερο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης τόσο των ενιαίων ακολουθιών ( Σχήμα 8.1(α)) όσο και των υποακολουθιών όπου αυτές υπάρχουν ( Σχήμα 8.1(β)). Σε κάθε σεισμική ακολουθία αντιστοιχούν δύο στήλες, από τις οποίες η πρώτη (μπλε) αναφέρεται στο πρώτο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης και η δεύτερη (κόκκινη) στο δεύτερο διάστημα.



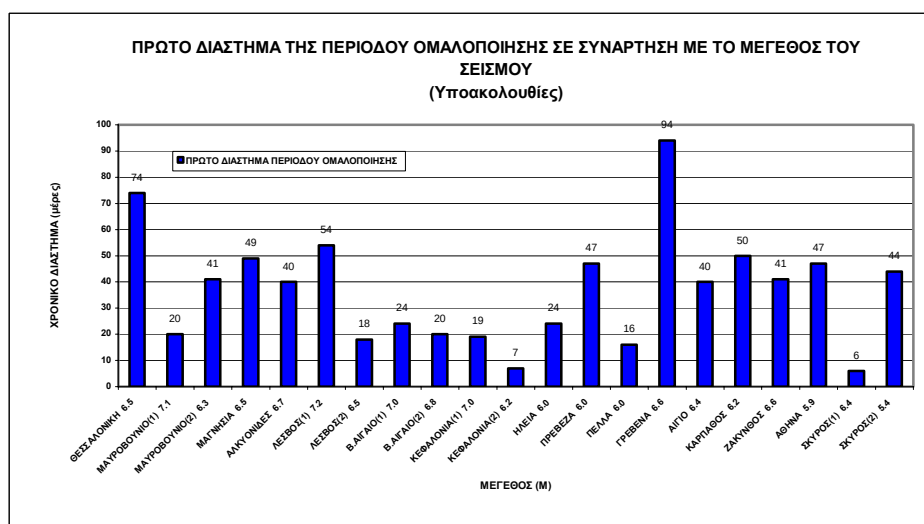
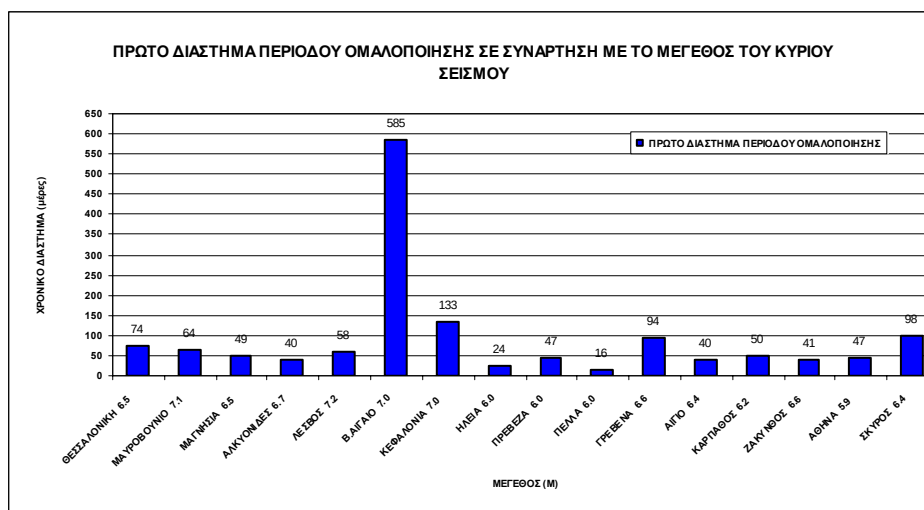
Σχήμα 8.1 : Ιστογράμματα κατανομής για το πρώτο και δεύτερο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης (α) των ενιαίων ακολουθιών (β) των υποακολουθιών.

Τα σχήματα 8.2 (α),(β) αποτελούν ιστογράμματα κατανομής του πρώτου και του δεύτερου διαστήματος της περιόδου ομαλοποίησης των σεισμικών ακολουθιών είτε ενιαίων (α) είτε υποακολουθιών (β) σε συνάρτηση με το μέγεθος του κυρίου σεισμού ή του ισχυρού μετασεισμού αντίστοιχα. Για κάθε ακολουθία φαίνεται το μέγεθος του σεισμού που την προκάλεσε και τα δύο διαστήματα των περιόδων ομαλοποίησης.



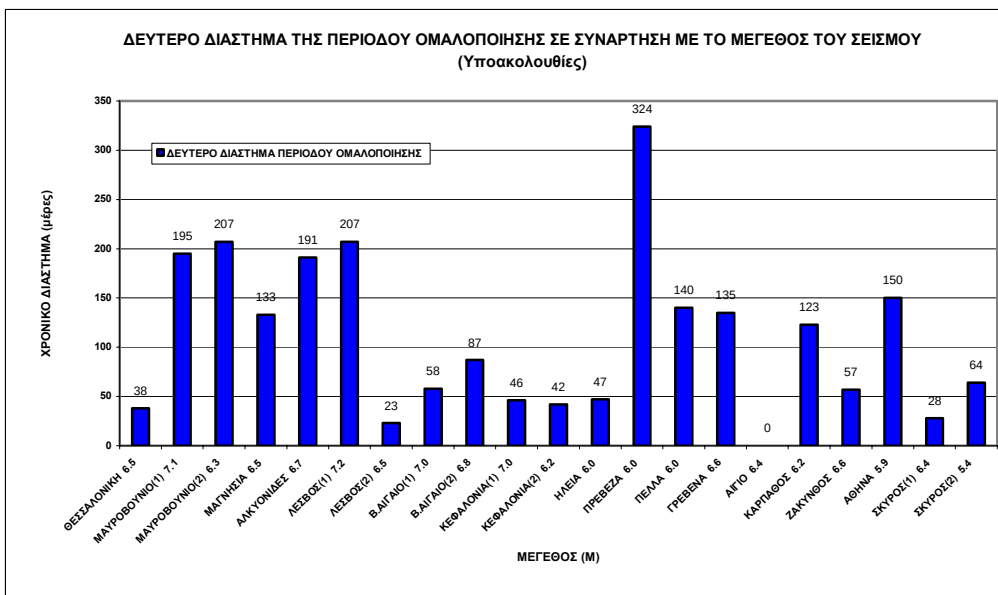
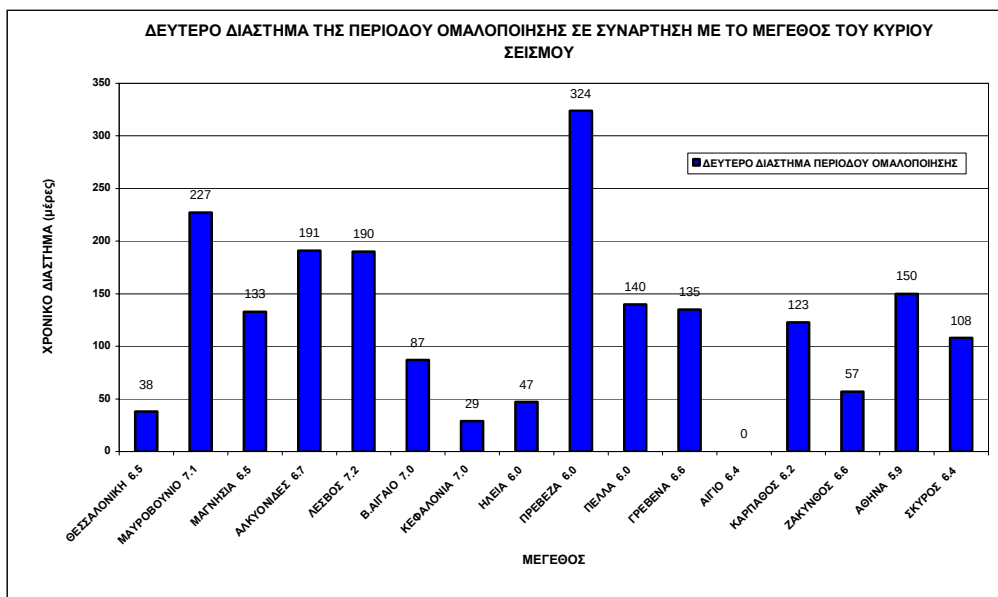
Σχήμα 8.2 : Ιστογράμματα κατανομής για το πρώτο (μπλε στήλη) και δεύτερο (κόκκινη στήλη) διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης (α) των ενιαίων ακολουθιών και (β) των υποακολουθιών σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού που τις προκάλεσε.

Στα σχήματα 8.3 (α), (β) παρουσιάζονται ιστογράμματα κατανομής για το πρώτο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης των ενιαίων ακολουθιών (α) και των υποακολουθιών (β) σε συνάρτηση με το μέγεθος του κύριου σεισμού ή του ισχυρού μετασεισμού αντίστοιχα που τις προκάλεσε. Στο σχήμα 8.3 (α) παρατηρείται ότι η αφετηρία (πρώτο διάστημα περιόδου ομαλοποίησης) για τα χρονικά διαστήματα ομαλοποίησης για τις ακολουθίες στις Αλκυονίδες (1981), το Αίγιο (1995) και την Αθήνα (1999) ,που έγιναν στην ίδια περίπου γεωτεκτονική περιοχή και οφείλονται σε διαρρήξεις ρηγμάτων ίδιου τύπου (κανονικά), παρότι τα μεγέθη των κύριων σεισμών είναι διαφορετικά, είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό όμοια δηλαδή 40, 40 και 47 ημέρες, αντίστοιχα. Παρομοίως στο σχήμα 8.3 (β) παρατηρείται ότι η αφετηρία των χρονικών διαστημάτων ομαλοποίησης για τις δύο υποακολουθίες στο Β. Αιγαίο (Θάσος) (1982) και τη δεύτερη στη Λέσβο (1981) είναι σε μεγάλο βαθμό όμοια, 24, 20 και 18 ημέρες αντίστοιχα.



Σχήμα 8.3: Ιστογράμματα κατανομής για το πρώτο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης (α) των ενιαίων ακολουθιών και (β) των υποακολουθιών σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού που τις προκάλεσε.

Τέλος τα σχήματα 8.4 (α), (β) αποτελούν ιστογράμματα κατανομής για το δεύτερο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης (α) των ενιαίων ακολουθιών και (β) των υποακολουθιών σε συνάρτηση με το μέγεθος του κύριου σεισμού και του ισχυρού μετασεισμού αντίστοιχα, που τις προκάλεσε.



Σχήμα 8.4: Ιστογράμματα κατανομής για το δεύτερο διάστημα της περιόδου ομαλοποίησης (α) των ενιαίων ακολουθιών και (β) των υποακολουθιών σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού που τις προκάλεσε.

## Βιβλιογραφία

- Latoussakis, J., Stavrakakis, G., Drakopoulos, J., Papanastasiou, D. and Drakatos, G., 1991.** Temporal characteristics of some earthquake sequences in Greece. In: M. Wyss (Editor), Earthquake Prediction. Tectonophysics, 193, 299-310.
- Latoussakis, J. and Drakatos, G., 1999.** A catalog of aftershock sequences in Greece (1971-1997): Their spatial and temporal characteristics. J. Seismology, 5, 137-145.
- Bernard, P., Briole, P., Meyer, B., Lyon-Caen, H., Gomez, J-M., Tiberi, C., Berge, C., Cattin, R., Hatzfeld, D., Lachert, C., Lebrum, B., Deschamps, A., Courboux, F., Larroque, C., Riro, A., Massonet, D., Papadimitriou, P., Kassaras, J., Diagourtas, D., Makropoulos, K., Veis, G., Papazisi, E., Mitsakaki, C., Karakostas, B., Chouliaras, M., & Staurakakis, G., 1997.** The Ms=6.2, June 15, 1995 Aigion earthquake (Greece): evidence for low angle normal faulting in the Corinth rift. J. Seismology, 1, 131-150.
- Papazachos, B. C., Karakostas, B. G., Kiratzi, A. A., Papadimitriou, E. E. and Papazachos, C. B., 1997.** A Model for the 1995 Kozani-Grevena seismic sequence. J. Geodynamics, 26, 217-231.
- Papazachos, B. C., Comninakis, P. E., Papadimitriou, E. E. and Scordilis, E. M., 1984.** Properties of the February-March 1981 seismic sequence in the Alkyonides gulf of central Greece. Annales Geophysicae, 2, 537-544.
- Karakaisis, G. F., Karakostas, B. G., Papadimitriou, E. E. and Papazachos, B. C., 1984.** Properties of the 1979 Monte Negro (Southwest Yugoslavia) Seismic Sequence. Pure Appl. Geophys., 122, 125-135.
- 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 of 1983. Pure Appl. Geophys., 123, 388-397.
- Tranos, M. D., Papadimitriou, E. E. and Kilias, A. A., 2003.** Thessaloniki-Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. J. Structural Geology, 25, 2109-2123.



- Panagiotopoulos, D. G., Papadimitriou, E. E., Papaioannou, Ch. A., Scordilis, E. M. And Papazachos, B. C.,** 1990. Source properties of the 21 December 1990 Goumenissa earthquake in Northern Greece. Congress of the Hellenic Geophysical Union, Florina, 5-7 May 1993, 1, 286-296.
- Karakostas, B. G., Scordilis, E. M., Papaioannou, Ch. A., Papazachos, B. C. and Mountrakis, D.,** 1993. Focal properties of the October 16, 1988 Killini earthquake (Western Greece). Congress of the Hellenic Geophysical Union, Florina, 5-7 May 1993, 1, 136-145.
- Gospodiniv, D. and Rotondi, R.,** 2006. Statistical analysis of triggered seismicity in the Kresna Region of SW Bulgaria (1904) and the Umbria-Marche Region of Central Italy (1997). Pure Appl. Geophys., 163, 1597-1615.
- Helmstetter, A., Ouillon, G. and Sornette, D.,** 2003. Are aftershocks of large Californian earthquakes diffusing?. J. Geophys. Res., 108, 2483-2507.
- McCloskey, J., Nalbant, S. S., Steacy, S., Nostro, C., Scotti, O. and Baumont, D.,** 2003. Structural constraints on the spatial distribution of aftershocks. Geophys. Res. Lett., 30, 1610 - 1613.
- Bosl, W. J. and Nur, A.,** 2002. Aftershocks and pore fluid diffusion following the 1992 Landers earthquake. J. Geophys. Res., 107, 2366 - 2378.
- Aoyama, H., Takeo, M. and Ide, S.,** 2002. Evolution mechanisms of an earthquake swarm under the Hida Mountains, Central Japan, in 1998. J. Geophys. Res., 107, 2174-2194.
- Ogata, Y.,** 1989. Statistical model for standard seismicity and detection of anomalies by residual analysis. Tectonophysics, 169, 159-174.
- Παπαζάχος, Β.,** 1995. Εισαγωγή στη Σεισμολογία, Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 382.
- Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ.,** 2002. Οι σεισμοί της Ελλάδας, Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 317.
- Wessel, P. and Smith, H.F.W.,** 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS, Trans. AGU, 79, 579.
- Wiemer, S. and Zuniga, R. F.,** 1994. ZMAP: A software package to analyze seismicity, EOS, Trans. AGU, 44, 456.