



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
GPS ΕΙΚΟΣΑΕΤΙΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΓΓΕΛΙΚΗΣ Α. ΜΑΡΙΝΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:

Κ. ΠΑΠΑΖΗΣΗ

Τέως Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS ΕΙΚΟΣΑΕΤΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΓΓΕΛΙΚΗΣ Α. ΜΑΡΙΝΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Κ. ΠΑΠΑΖΗΣΗ, τ. Καθ. Ε.Μ.Π. (Επιβλ.)
2. Χ. ΜΗΤΣΑΚΑΚΗ, τ. Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Δ. ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Κ. ΠΑΠΑΖΗΣΗ, τ. Καθ. Ε.Μ.Π.
2. Χ. ΜΗΤΣΑΚΑΚΗ, τ. Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Δ. ΠΑΡΑΔΕΙΣΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
4. Δ. ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
5. Γ. ΔΡΑΚΑΤΟΣ, Διευθ. Ερευνών Ε.Α.Α.
6. Π. ΝΟΜΙΚΟΥ, Λεκτ. Ε.Κ.Π.Α.
7. Δ. ΣΤΑΘΑΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Μάρτιος 2014

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανώτατη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

Στη μαμά μου
την πιο δυνατή και άξια γυναίκα που έχω γνωρίσει.

Πρόλογος

Η εξέλιξη της δορυφορικής Γεωδαισίας έχει δώσει σημαντική ώθηση στη μελέτη των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού της γης. Ο εντοπισμός θέσεων, με υψηλή ακρίβεια, ειδικού γεωλογικού ενδιαφέροντος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές, επιτρέπει τον υπολογισμό των ταχυτήτων τους αλλά και τον υπολογισμό της ανηγμένης παραμόρφωσης. Η Δορυφορική Γεωδαισία βοήθησε σημαντικά στον εντοπισμό των ορίων των μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών καθώς και των μικρομετακινήσεων τους, αλλά και στον εντοπισμό μικροπλακών σε περιοχές ενδιαφέροντος. Ταυτόχρονα γνωστά ρήγματα που έχουν δώσει μεγάλους και καταστροφικούς σεισμούς είναι δυνατόν να παρακολουθούνται με αυτή την τεχνική, σε συνδυασμό και με άλλες μεθοδολογίες, με απώτερο σκοπό την πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς του ρήγματος.

Η Ελλάδα που βρίσκεται στην Ανατολική Μεσόγειο παρουσιάζει μεγάλη σεισμικότητα και έντονο τεκτονικό ενδιαφέρον επειδή βρίσκεται στην ζώνη μετασχηματισμού μεταξύ της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής πλάκας.

Το Εργαστήριο της Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου του τομέα Τοπογραφίας του Ε.Μ.Π. από την δεκαετία του 1980 έως σήμερα συμμετέχουν σε ευρωπαϊκά και εθνικά ερευνητικά προγράμματα τα οποία περιλαμβάνουν την ίδρυση και την μέτρηση τοπικών δικτύων για την συνεχή παρακολούθηση τεκτονικών μετακινήσεων σε περιοχές μεγάλου τεκτονικού ενδιαφέροντος και υψηλής σεισμικότητας στον Ελλαδικό Χώρο (πχ. Κορινθιακός Κόλπος). Η εξέλιξη της δορυφορικής τεχνολογίας που είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους επέτρεψε από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 την ίδρυση και μόνιμων σταθμών GPS για τον σκοπό αυτό.

Στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται όλα τα διαθέσιμα γεωδαιτικά δορυφορικά στοιχεία από το 1989 έως το 2008 για μια ευρεία περιοχή που περιλαμβάνει τους Νομούς Αττικής, Βοιωτίας και Εύβοιας και μελετάται με διάφορες μεθοδολογίες η μεταβολή της ανηγμένης παραμόρφωσης σε αυτή την περιοχή. Η περιοχή παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σημαντικές τεκτονικές τάφρους αυτή του Κορινθιακού και του Ευβοϊκού Κόλπου ενώ δεν έχει μελετηθεί εκτενώς μέχρι σήμερα.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την μελέτη της παραμόρφωσης της περιο-

χής και τον προσδιορισμό τυχόν μεταβολών της είναι κινηματικές και δυναμικές. Στα κινηματικά μοντέλα περιλαμβάνονται τα πεδία ταχυτήτων ομαλοποιημένα ή μη, τα-νυστές ανηγμένης παραμόρφωσης και πόλοι στροφής κατά Euler. Στο πλαίσιο της πα-ρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν κινηματικά μοντέλα ενώ για τον προσδιορισμό των πόλων στροφής αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό, το οποίο δίνει και απεικονιστικές δυνατότητες στον χρήστη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα, Καθ. Κ. Παπαζήση για την ευκαιρία που μου έδωσε με την ανάθεση της διδακτορικής διατριβής καθώς και για όλη την υποστήριξη, τις υποδείξεις και την συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια. Θα αναγνωρίζω πάντα ότι χωρίς τη δική της καθοριστική συμβολή η εκπόνηση αυτή της εργασίας θα ήταν αδύνατη. Θεωρώ τον εαυτό μου πολύ τυχερό που την είχα δασκάλα και προϊσταμένη.

Την Καθ. Χ. Μητσακάκη και τον Καθ. Δ. Παραδείση για όλες τις συμβουλές και τις υπο-δείξεις τους κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής καθώς και για όλη την συνεργασία που έχουμε, η οποία με βοήθησε να θεμελιώσω γνώσεις που έλαβα κατά το πτυχίο και να τις διευρύνω. Ειδικότερα να επαναλάβω τις ευχαριστίες στον Καθ. Δ. Παραδείση για την συνεργασία που είχαμε στην διπλωματική μου εργασία την οποία αντιλαμβάνομαι ως θεμελιώδες στάδιο για την εκπόνηση της διατριβής.

Την ομότιμη Καθ. Α. Μ. Μπαλοδήμου και τον ομότιμο Καθ. Χ. Μπιλλήρη που χωρίς τις συμβουλές τους, τις υποδείξεις τους καθώς και τη στήριξή τους σε κρίσιμες στιγμές θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση αυτής της διατριβής. Ειδικότερα την Ομότιμη Καθ. Α. Μ. Μπαλοδήμου που ήταν μέλος της τριμελούς μου επιτροπής κατά το μεγαλύτερο μέρος της εκπόνησης της διατριβής και η συμβολή της ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τον Ομότιμο Καθ. Γ. Βέη που θεωρώ μεγάλη τύχη το ότι τον γνώρισα και μεγάλη τιμή τα χρόνια που συνεργάστηκα μαζί του.

Τον Καθ. Μ. Σακελλαρίου για τα χρόνια της συνεργασίας μας. Οι συμβουλές του και η υποστήριξή του ήταν καθοριστικές.

Τον Prof. Dennis Hatzfeld για την τύχη που είχα να συνεργαστώ μαζί του στις εργασίες υπαίθρου στον Κορινθιακό Κόλπο τον Μάιο του 1993. Η συνεργασία μας ήταν καθορι-στική για την επιλογή του συγκεκριμένου ερευνητικού πεδίου από πλευράς μου.

Τον Prof. Philip England για όλα τα χρόνια της συνεργασίας αλλά κυρίως για την βοήθεια του, όσον αφορά τους πόλους στροφής.

Τον Διευθυντή Ερευνών του ΕΑΑ Δρ. Α. Γκανά για την συνεργασία μας στην περιοχή του Καπαρελλίου, καθώς και για την βάση δεδομένων με τα χαρτογραφημένα ρήγματα.

Τον Ε. Ζαχαρή, τον Ι. Γαλάνη, Π. Κολοκούση και τον Ν. Τζελέπη πρώην συμφοιτητές μου και νυν συναδέλφους που υπήρξαν δάσκαλοι και συνεργάτες μου όλα αυτά τα χρόνια. Τους χρωστάω μεγάλη ευγνωμοσύνη για όλη την βοήθεια και την υποστήριξη που μου έδωσαν σε διάφορα στάδια της διατριβής, αλλά και συνολικά. Ειδικότερα τον Β. Ζαχαρή θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την υλοποίηση των διαγραμμάτων στην τελική τους μορφή καθώς και για όλες τις συζητήσεις μας για θέματα που αφορούν την γεωδαισία. Εκτός από αδελφικός μου φίλος είναι κατά τη γνώμη μου και ένας από τους καλύτερους γεωδαίτες της δικής μου γενιάς και θα είμαι πάντα ευγνώμων για όλα όσα έχω μάθει, συζητώντας μαζί του.

Το Βασίλη Μέγκλη, παιδικό μου φίλο και εξαιρετικό προγραμματιστή. Χωρίς τις δικές του προγραμματιστικές γνώσεις το πρόγραμμα για τους πόλους στροφής δεν θα είχε ολοκληρωθεί. Τον ευχαριστώ επίσης για όλες τις στιγμές που λύγιζα και η διακριτική του συνολική συμπαράσταση μου έδειχνε τον δρόμο για να συνεχίσω.

Τον Υ.Δ. Ξ. Παπανικολάου και τον Υ.Δ Δ. Αναστασίου πρώην μαθητές μου και νυν συνεργάτες μου. Ειδικότερα τον Ξ. Παπανικολάου για την συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας από την οποία προέκυψαν τα αποτελέσματα του δικτύου της Εύβοιας, και τον Δ. Αναστασίου για την βοήθεια του στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Χωρίς τις τεχνικές και οργανωτικές του ικανότητες, το σύνολο των πειραματισμών –μέρος των οποίων παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία– δεν θα ήταν εφικτό.

Το Δ. Πλουμπίδη, έναν από τους πιο σημαντικούς ανθρώπους στη ζωή μου που υπήρξε φάρος, καταφύγιο και «κριτής». Χωρίς την δική του υποστήριξη και την αυστηρότητα από την αρχή έως το τέλος δεν θα τα είχα καταφέρει.

Όλους τους δασκάλους μου στη σχολή. Η διατριβή αυτή είναι το αποτέλεσμα τη σύνθεσης όλων των γνώσεων που μου χαρίστηκαν, σπουδάζοντας εδώ ως μηχανικός, τίτλο που φέρω με μεγάλη τιμή.

Όλους τους μαθητές μου και ειδικότερα αυτούς που για μια στιγμή ή και παραπάνω έγιναν και δάσκαλοι μου, που είναι ο τελικός στόχος και η μεγαλύτερη ικανοποίηση κάθε δασκάλου κατά την γνώμη μου.

Τους γονείς μου που με έμαθαν να ορίζω την μοίρα μου, ακριβώς όπως έκαναν κι εκείνοι με την δική τους και που με μεγάλωσαν με δεδομένο ότι δεν υπάρχει μεγαλύτερη

αξία από την μόρφωση.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	v
Περίληψη	xxi
Extended Summary	xxiii
1 Εισαγωγή	1
2 Τεκτονικό Υπόβαθρο της Περιοχής Μελέτης	5
2.1 Γενικά	5
2.2 Γεωτεκτονικό Υπόβαθρο της Κεντρικής Ελλάδας	12
2.2.1 Το ρήγμα του Καπαρελλίου	24
2.2.2 Το ρήγμα της Αταλάντης	26
2.2.3 Το ρήγμα της Πάρνηθας	29
2.3 Προγενέστερες Εργασίες για την Κινηματική Συμπεριφορά της Κεντρικής Ελλάδας	33
3 Διεθνή Γήινα Συστήματα Αναφοράς	39
3.1 Γενικά	39
3.2 Διεθνής Γεωδαιτική Υπηρεσία	43
3.3 Διεθνή Γήινα Πλαίσια Αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στην Εργασία	45
3.4 Μετασχηματισμοί Συστημάτων Αναφοράς	48
4 Κινηματικά Μοντέλα Προσδιορισμού Παραμόρφωσης	53
4.1 Γενικά	53
4.2 Τανυστής του Ρυθμού της Ανηγμένης Παραμόρφωσης	54
4.3 Πόλος Στροφής του Euler	57
4.4 Η Εφαρμογή του Θεωρήματος του Euler στην Θεωρία των Τεκτονικών Πλακών	59
4.5 Υπολογισμός Πόλου Στροφής από Πεδίο Τεκτονικών Ταχυτήτων	62

5 Γεωδαιτικά Δίκτυα GPS	69
5.1 Γενικά	69
5.2 Επίλυση Δικτύου Μόνιμων Σταθμών	72
5.3 Επίλυση του Δικτύου της Εύβοιας	77
5.4 Επίλυση του Δικτύου Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας	82
5.5 Επίλυση του Δικτύου του Καπαρελλίου	86
5.6 Το Γεωδαιτικό Δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου	89
6 Εφαρμογές Κινηματικών Μοντέλων της Περιοχής Μελέτης	91
6.1 Γενικά	91
6.2 Μετακινήσεις - Ταχύτητες	92
7 Υπολογισμός Τανυστών Παραμόρφωσης στην Ευρύτερη Περιοχή Μελέτης	131
7.1 Γενικά	131
8 Υπολογισμός Πόλων Στροφής κατά Euler	157
8.1 Υπολογισμός Πόλων Στροφής	157
8.2 Πρόγραμμα Υπολογισμού Πόλων Στροφής του Euler	164
9 Συμπεράσματα - Προτάσεις	171
9.1 Συμπεράσματα	171
9.2 Προτάσεις	177
Α΄ Πίνακες	181
Β΄ Χρονοσειρές	197
Γ΄ Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο επιλεγμένες περιοχές	211
Δ΄ Αποτελέσματα της εφαρμογής υπολογισμού πόλων στροφής	215
Βιβλιογραφία	223
Βιογραφικό Σημείωμα	233

Κατάλογος σχημάτων

2.1	Τεκτονικό τοπογραφικό και βαθυμετρικό υπόβαθρο ανατολικής Μεσογείου	6
2.2	Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ευρώπης	7
2.3	Σεισμικότητα στον Ελλαδικό Χώρο από το 1950 έως σήμερα	8
2.4	Διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε 8 μικροπλάκες	10
2.5	Διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε 15 μικροπλάκες	11
2.6	Χάρτης ρηγμάτων και Ιστορικών σεισμών στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδος	13
2.7	Γεωλογικός χάρτης του Κορινθιακού Κόλπου	15
2.8	Ζώνες προσδευτικής αλλαγής προσανατολισμού των ρηγμάτων καθώς και της αντίστοιχης σεισμικότητας στην Κεντρική Ελλάδα	16
2.9	Γεωλογικός χάρτης της Εύβοιας	17
2.10	Τεκτονικό υπόβαθρο και σεισμοί με μέγεθος $M \geq 6$ στον Κεντρικό και Νότιο Ευβοϊκό	19
2.11	Μεγάλα ρήγματα και σεισμοί στην περιοχής Θήβας - Εύβοιας	20
2.12	Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής της Αττικής	21
2.13	Επίκεντρα σεισμικής ακολουθίας για τον σεισμό του 1981	24
2.14	Το νότιο τμήμα του ρήγματος του Καπαρελλίου	25
2.15	Η ρηξιγενής ζώνη της Αταλάντης και τα επιμέρους τμήματα στα οποία διαχωρίζεται	27
2.16	Εικόνα από το μέτωπο του ρήγματος ΝΑ του Κυπαρισσίου	28
2.17	Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Νότια Πάρνηθα-Δυτική Αττική) όπου παρουσιάζονται τρία (1,2,3) νεοτεκτονικά ρήγματα	30
2.18	Εικόνα ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) της περιοχής του επικέντρου	31
2.19	Γεωτεκτονικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Αττικής	32
2.20	Κατεστραμμένο κτίριο από το σεισμό της 7/9/1999 με επίκεντρο την ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας.	33
3.1	Το δίκτυο σταθμών που συμμετέχουν για τον ορισμό του ITRF	43

3.2	Το δίκτυο σταθμών παρατήρησης που συμμετέχουν για τον ορισμό του ITRF στην Ελλάδα	44
3.3	Το σύστημα DORIS στο σταθμό του Διονύσου από το 1989 – σήμερα . .	45
3.4	Το παγκόσμιο δίκτυο σταθμών παρατήρησης της IGS	46
3.5	Το Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών παρατήρησης της IGS	47
4.1	Το αρχικό σχήμα του Euler	57
4.2	Η γεωμετρική κατασκευή που δείχνει την περιστρεφόμενη σφαίρα . .	58
4.3	Σύμφωνα με το θεώρημα του Euler η κίνηση μιας πλάκας σε μια σφαίρα μπορεί να εκφραστεί ως περιστροφή γύρω από έναν άξονα που περνά από το κέντρο της σφαίρας.	60
4.4	Η κίνηση μιας λιθοσφαιρικής πλάκας εκφρασμένη ως στροφή γύρω από έναν πόλο E.	61
4.5	Διάνυσμα στροφής	62
5.1	Ο πρώτος μόνιμος Γεωδαιτικός Δορυφορικός σταθμός στην Ελλάδα . .	70
5.2	Μόνιμο δίκτυο γεωδαιτικών σταθμών του ΕΜΠ	71
5.3	Μόνιμος γεωδαιτικός σταθμός NOA	72
5.4	Μόνιμοι γεωδαιτικοί σταθμοί	73
5.5	Διαθέσιμα δεδομένα για τις επιλύσεις όλων των μόνιμων σταθμών . .	75
5.6	Υλοποίηση Γήινων Πλαισίων Αναφοράς	76
5.7	Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των Γήινων Πλαισίων Αναφοράς ITRF1996, ITRF2000.	79
5.8	Το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας την εποχή 1997.76.	80
5.9	Το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας την εποχή 2005.76.	81
5.10	Το Γεωδαιτικό δίκτυο στο τρίγωνο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα για τις εποχές 2001.5 και 2002.5	83
5.11	Το Γεωδαιτικό δίκτυο στο τρίγωνο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα της εποχής 2008.82	85
5.12	Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Καπαρελλίου.	86
5.13	Μετρήσεις πεδίου την εποχή 2006.33.	87
5.14	Το γεωδαιτικό δίκτυο της περιοχής του Καπαρελλίου.	88
6.1	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό ARKI με το Bernese V4.2	94
6.2	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό DION με το Bernese V4.2	95
6.3	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό NOA1 με το Bernese V4.2	96
6.4	Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο ARKI (Bernese V5.0)	97

6.5	Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο DION (Bernese V5)	98
6.6	Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο KRYO (Bernese V5.0)	99
6.7	Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο NOA1 (Bernese V5.0)	100
6.8	Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο ARKI	102
6.9	Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο DION	103
6.10	Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο NOA1	104
6.11	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο της Εύβοιας.	108
6.12	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο Αταλάντης - Πάρνηθας - Αλκυονίδων	114
6.13	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο του Καπαρελλίου	115
6.14	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για τον Κορινθιακό Κόλπο	116
6.15	Πεδίο ομαλοποιημένων ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερή Ευρώπη	117
6.16	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων (4 δίκτυα) ως προς DION	118
6.17	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς τον ARKI	119
6.18	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό KRYO	120
6.19	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CM00	121
6.20	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό VA64	122
6.21	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό P133	123
6.22	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό EE00	124
6.23	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG46	125
6.24	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG51	126
6.25	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG52	127
6.26	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς το Κ.Β. του σημειοσυνόλου για όλη την περιοχή	128
6.27	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων για το δίκτυο του Καπαρελλίου ως προς σταθερό ACLA	129
6.28	Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων για το δίκτυο του Καπαρελλίου ως προς σταθερό ASOP	130
7.1	Τανυστές παραμόρφωσης σύμφωνα με το μοντέλο τριών ζωνών	133
7.2	Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας	134
7.3	Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο της Εύβοιας	135

7.4	Τανυστής παραμόρφωσης για όλη την περιοχή μελέτης	136
7.5	Τανυστές παραμόρφωσης για δύο μπλοκ, Βόρειο και Νότιο	137
7.6	Τανυστές παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών	139
7.7	Τανυστές παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών μόνο για την Στερεά Ελλάδα	140
7.8	Τανυστές παραμόρφωσης για το αναθεωρημένο μοντέλο τριών ζωνών της Στερεάς Ελλάδας	142
7.9	Τανυστές παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Σ. Ελλάδας και της Εύβοιας	143
7.10	Τανυστές παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Ελλάδας και της Εύβοιας με εγκάρσια κατάτμηση	144
7.11	Τανυστές παραμόρφωσης στην Βόρεια Ζώνη για τρία τμήματα	146
7.12	Τανυστές παραμόρφωσης για την Εύβοια	147
7.13	Τανυστές παραμόρφωσης στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο	148
7.14	Τανυστές παραμόρφωσης στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων και στην ενδοχώρα)	150
7.15	Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων νήσων	151
7.16	Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο του ρήγματος του Καπαρελλίου	152
7.17	Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο κατά μήκος του ρήγματος του Καπαρελλίου	153
7.18	Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης	155
7.19	Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης	156
8.1	Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων της Πελοποννήσου από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Στερεάς και της Εύβοιας	158
8.2	Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Πελοποννήσου	160
8.3	Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων για το Βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής από την εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας	161
8.4	Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για τον Κορινθιακό, την Κεντρική και Νότια Στερεά και Εύβοια από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας	162

8.5	Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Νότια Στερεά και Εύβοια από την εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων στη Βόρεια Στερεά και Εύβοια	163
8.6	Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Κεντρική, Νότια και Δυτική περιοχή από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων στην Βόρεια Ανατολική Στερεά και Εύβοια	165
8.7	Κύρια οθόνη υπολογισμού του προγράμματος EulerPoles και απεικόνιση των εκτιμώμενων ταχυτήτων	167
8.8	Παράθυρο διαχείρισης του Format του αρχείου εισόδου για τις θέσεις και τις ταχύτητες των σημείων	168
B'.1	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ACLA	197
B'.2	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο AGTR	197
B'.3	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ALYK	198
B'.4	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ASOP	198
B'.5	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG15	198
B'.6	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG17	198
B'.7	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG20	199
B'.8	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG21	199
B'.9	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG24	199
B'.10	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG25	199
B'.11	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG26	200
B'.12	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG27	200
B'.13	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG28	200
B'.14	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG29	200
B'.15	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG33	201
B'.16	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG34	201
B'.17	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG35	201
B'.18	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG36	201
B'.19	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG37	202
B'.20	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG38	202
B'.21	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG41	202
B'.22	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG44	202
B'.23	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG45	203
B'.24	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG46	203
B'.25	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG47	203

B'.26	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG49	203
B'.27	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG50	204
B'.28	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG51	204
B'.29	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG52	204
B'.30	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG53	204
B'.31	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG55	205
B'.32	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG57	205
B'.33	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG58	205
B'.34	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG64	205
B'.35	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο DAFN	206
B'.36	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο DFNL	206
B'.37	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο EE00	206
B'.38	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ER07	206
B'.39	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ERIT	207
B'.40	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο G100	207
B'.41	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο G200	207
B'.42	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KALI	207
B'.43	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KAPA	208
B'.44	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KRKR	208
B'.45	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P084	208
B'.46	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P133	208
B'.47	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P331	209
B'.48	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P450	209
B'.49	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TAPS	209
B'.50	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TH15	209
B'.51	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TH86	210
B'.52	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο VA64	210
B'.53	Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο VILI	210
G'.1	Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο για την περιοχή των Αλκυονίδων νήσων	212
G'.2	Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο στην Κεντρική Εύβοια και στην Νότια Στερεά Ελλάδα	213
G'.3	Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής και των Αλκυονίδων νήσων	214

Κατάλογος πινάκων

2.1	Γεωδαιτικά δίκτυα με σκοπό την παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων στην Κεντρική Ελλάδα.	37
3.1	Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2000 σε προηγούμενα ITRFs	49
3.2	Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2005 στο ITRF2000	50
3.3	Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2008 σε προηγούμενα ITRFs	51
5.1	Συνοπτικά στοιχεία για την επίλυση των μόνιμων σταθμών.	74
5.2	Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας.	78
5.3	Συνοπτικά στοιχεία για τα γεωδαιτικά δίκτυα της Εύβοιας	82
5.4	Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα.	84
5.5	Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο του Καπαρελλίου.	87
5.6	Μόνιμοι σταθμοί στον Ελλαδικό Χώρο για το δίκτυο του Καπαρελλίου.	89
6.1	Συγκεντρωτικά στοιχεία δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.	92
6.2	Ετήσιες ταχύτητες των μόνιμων σταθμών	93
6.3	Αποκλίσεις στις ετήσιες ταχύτητες των σταθμών από τις διαφορετικές επιλύσεις	101
6.4	Εποχές μετρήσεων για κάθε σημείο	105
6.5	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες στο γήινο πλαίσιο ITRF2000	107
6.6	Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη	110
7.1	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης κατά Reilinger et al, 2010	133
7.2	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για το δίκτυο Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας	134
7.3	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για το δίκτυο της Εύβοιας	135
7.4	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για όλη την περιοχή μελέτης	136

7.5	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για για δύο μπλοκ, Βόρειο και Νότιο	137
7.6	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών	139
7.7	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών μόνο για την Στερεά Ελλάδα	140
7.8	Παράμετροι Τανυστών για το αναθεωρημένο μοντέλο τριών ζωνών της Στερεάς Ελλάδας	142
7.9	Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Σ. Ελλάδας και της Εύβοιας	143
7.10	Παράμετροι Τανυστών του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Ελλάδας και της Εύβοιας με εγκάρσια κατάτμηση	144
7.11	Παράμετροι Τανυστών στην Βόρεια Ζώνη για τρία τμήματα	146
7.12	Παράμετροι Τανυστών για την Εύβοια	147
7.13	Παράμετροι Τανυστών στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο	148
7.14	Παράμετροι Τανυστών στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων και στην ενδοχώρα)	150
7.15	Παράμετροι Τανυστών στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων νήσων	151
7.16	Παράμετροι Τανυστών για το δίκτυο του ρήγματος του Καπαρελλίου	152
7.17	Παράμετροι Τανυστών ανά τρίγωνο κατά μήκος του ρήγματος του Καπαρελλίου	153
7.18	Παράμετροι Τανυστή στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης	155
7.19	Παράμετροι Τανυστή στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης	156
8.1	Παράμετροι Πόλου Στροφής της Στερεάς και της Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη	158
8.2	Παράμετροι Πόλου Στροφής της Πελοποννήσου ως προς σταθερή Ευρώπη	160
8.3	Παράμετροι Πόλου Στροφής της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη	161
8.4	Παράμετροι Πόλου Στροφής της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη	162
8.5	Παράμετροι Πόλου Στροφής της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη	163

8.6	Παράμετροι Πόλου Στροφής από ελαχιστοποίηση των ταχυτήτων στην Βόρεια Ανατολική Στερεά και Εύβοια	165
A'.1	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 των μόνιμων σταθμών του τοπικού δικτύου στην εποχή 1997.76	181
A'.2	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Α τάξης στην εποχή 1997.76	182
A'.3	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Β τάξης στην εποχή 1997.76	185
A'.4	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Γ τάξης στην εποχή 1997.76	186
A'.5	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Α τάξης στην εποχή 2005.76	188
A'.6	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Β τάξης στην εποχή 2005.76	189
A'.7	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2001.5	190
A'.8	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2002.84	191
A'.9	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2008.82	192
A'.10	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2004.4	193
A'.11	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2005.36	193
A'.12	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2006.33	194
A'.13	Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2008.79	194
A'.14	Τεκτονικές ταχύτητες ως προς την Ευρώπη (Δίκτυο Κορινθιακού Κόλπου)	196
Δ'.1	Παράμετροι πόλου στροφής της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.	217
Δ'.2	Παράμετροι πόλου στροφής της Πελοποννήσου και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.	218

Δ'.3	Παράμετροι πόλου στροφής της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.	219
Δ'.4	Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.	220
Δ'.5	Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη (δεν συμμετέχουν οι σταθμοί του Κορινθιακού Κόλπου).	221
Δ'.6	Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας και Ανατολικής Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.	222

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η συλλογή και η ανάλυση όλων των δορυφορικών γεωδαιτικών δεδομένων (GPS) των δύο τελευταίων δεκαετιών που αφορούν την ευρύτερη περιοχή Βοιωτίας, Αττικής και Εύβοιας με σκοπό την διεξαγωγή συμπερασμάτων για τις μικρομετακινήσεις και την ανηγμένη παραμόρφωση της. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν κινηματικά μοντέλα.

Αρχικά ερευνάται όλη η υπάρχουσα πληροφορία για την τεκτονική της περιοχής. Γίνεται εκτενή αναφορά στην τεκτονική των Νομών Αττικής, Βοιωτίας και Εύβοιας καθώς και του Κορινθιακού Κόλπου. Καταγράφονται σε υπό ενότητες σημαντικά στοιχεία για τα τρία μεγάλα ρήγματα της περιοχής (Αταλάντης, Αλκυονίδων, Πάρνηθας) και των αντίστοιχων σεισμών που έχουν δώσει.

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα συστήματα αναφοράς, και ειδικότερα τα συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία καθώς και οι μετασχηματισμοί τους.

Γίνεται αναλυτική αναφορά στα κινηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της παραμόρφωσης σε μια περιοχή. Ενώ δίνεται η θεωρητική τεκμηρίωση για τους τανυστές παραμόρφωσης καθώς και για τους πόλους στροφής κατά Euler. Για τους πόλους στροφής αναπτύσσεται λογισμικό υπολογισμού σε περιβάλλον Matlab που δίνει διαδραστικές δυνατότητες στον χρήστη.

Τα γεωδαιτικά δίκτυα που επιλύθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι τρία: της Εύβοιας (2 εποχές), του τριγώνου Αταλάντης - Αλκυονίδων - Πάρνηθας (3 εποχές) και τέλος αυτό γύρω από το ρήγμα του Καπαρελλίου (4 εποχές). Επιλύονται ταυτόχρονα και 4 μόνιμοι σταθμοί που βρίσκονται στην περιοχή. Τα γεωδαιτικά δίκτυα περιγράφονται με λεπτομέρεια καθώς και οι μεθοδολογίες επεξεργασίας τους. Στην περίπτωση των μονίμων σταθμών όπου υπήρχε παραπάνω από μια λύση διαθέσιμη έγιναν συγκρίσεις των τελικών αποτελεσμάτων.

Για τον υπολογισμό του τελικού πεδίου ομαλοποιημένων ταχυτήτων χρησιμοποιούνται εκτός από τα αποτελέσματα για τα δίκτυα που επιλύθηκαν στην παρούσα εργασία και όλα τα άλλα διαθέσιμα στοιχεία που υπάρχουν για την περιοχή. Περιγράφεται

το σύνολο των δεδομένων, καθώς και οι απαραίτητοι μετασχηματισμοί τους. Μετά τον υπολογισμό του τελικού πεδίου ταχυτήτων γίνονται δοκιμές για να εντοπιστεί η ομοιόμορφη κινηματική συμπεριφορά υποπεριοχών.

Στη συνέχεια απεικονίζονται οι ομάδες ομοιόμορφων ταχυτήτων των υποπεριοχών με τανυστές ανηγμένης παραμόρφωσης λαμβάνοντας υπ' όψη και πληροφορίες όπως η σεισμικότητα και ο προσανατολισμός των ρηγμάτων της περιοχής.

Συμπεριλαμβάνοντας και το δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου, εξετάζεται ακολουθώντας την μεθοδολογία των πόλων στροφής κατά Euler η πιθανή ομοιόμορφη στροφή υποπεριοχών. Περιγράφεται συνοπτικά το λογισμικό επεξεργασίας για τους πόλους στροφής το οποίο αναπτύχθηκε ειδικά για τις ανάγκες αυτής της εργασίας.

Τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή όλων των κινηματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν και αναφέρονται κάποιες προτάσεις.

Extended Summary

During the last decades the evolution of satellite geodesy has a great contribution in the study of plate tectonics and the deformation of the earth's crust. This concerns both large scale events (plates), as well as smaller scale events (rifts/graben, faults etc.)

Greece belongs to a broader area, the convergence of three tectonic plates: the Eurasian, the Arabian and the African. Often, strong earthquakes occur in the region so that the whole area is a natural geophysical laboratory.

Central Greece is a region recognized for its intense tectonic activity with the main characteristic being the extension in the North-South direction. This extension is revealed mainly in the form of large parallel grabens. Among these rifts is the Corinth Gulf, which is the most active tectonically, the basin between Parnassos and Kallidromo Mt, the Locris basin and the graben of North Evoikos Gulf, while in the south lays the Thebes basin and the South Evoikos Gulf.

Since the late eighties the Laboratory of Higher Geodesy and the Dionysos Satellite Observatory of the National Technical University of Athens, in cooperation with several National and International Universities and Institutions have established, in various Greek areas, of high seismic activity, geodetic networks in order to monitor tectonic displacements. These geodetic networks are observed periodically using Satellite Geodesy techniques and in recent years almost entirely GPS.

In this thesis all the available GPS data, referring to the broader area of Evia, Attiki and Viotia, for the years 1989 to 2008, are analyzed. The displacement field and its temporal changes for the area between the two major geological features, the Corinth Gulf and the Evoikos Gulf, are investigated. Thus, kinematic models are employed, such as the normalized velocity fields, the strain tensors, and the Euler poles of rotation. For the computation of the Euler's pole software is developed providing the user with interactive facilities.

Chapter 2, of this thesis, deals with the geotectonic setting of the region. The available geological information about Central Greece is summarized focusing on Evia, Attiki and Viotia regions. Special mention for the three faults (Atalanti, Parnitha and Alcyonides)

that major seismic events took place is included in this chapter.

Chapter 3 deals briefly with International Terrestrial Frames used in Satellite Geodesy. Since the available GPS data spans a time interval of about two decades, the available solutions were not in the same reference frame and epoch. In this chapter a short description of the reference frames used in the analysis is given, while the necessary transformations in order to refer all available solutions to a common reference frame and epoch are presented.

Chapter 4 deals with all the kinematic models used in the estimation of displacement rate in this thesis. Here a more detailed description for the Euler's pole computation and the respective statistical analysis is given.

In Chapter 5 all geodetic networks that were processed in this thesis are presented. There are four kinds of networks processed: a) the Evia network with 2 epochs of observations, b) the triangle Alcyonides - Atalanti - Parnitha network with 3 epochs, c) the Kaparelli network with 4 epochs and, finally, d) the permanent GPS station network consisting of four sites established within the study area. Methodology of GPS data processing is also briefly described here.

In Chapter 6 the finally derived normalized velocity fields are described and discussed for each of the above mentioned networks and for the whole study area. The time series outputs from different versions of software and their respective comparisons for the Continuous GPS (CGPS) network are also presented here. Finally, taking into account seismological and geotectonic information the kinematic behaviour of the region is investigated, attempting to detect possible sub-regions that move uniformly.

Chapter 7 deals with the estimation of the strain tensors for the whole region and for each one of the previous networks. Strain tensors are also computed and depicted for various block and zone divisions of the area, where the patterns were chosen to be in accordance with the findings of the previous Chapter.

Chapter 8 deals with the results of the Euler's pole of rotation. In this Chapter the Corinth Gulf velocity field is included in the whole region data, in order to associate the kinematic pattern between the two tectonic rifts. The Matlab application that calculates Euler's poles of rotation is described in detail here.

In Chapter 9 the conclusions and suggestions of the present work are presented. The conclusions can be summarized as follows:

- The different versions of the software used, as well as the different type of the common International Terrestrial Reference Frame have no great impact on the final outcome concerning velocities of the CGPS network. Discrepancies in the final yearly velocities vary up to a few mm.
- The final normalized velocities for the region (*Fig. 6.15*) have a general SW direction, while their magnitude gradually increases from north (~ 2 cm/yr) to south (3 cm/yr). These velocities refer to a fixed Europe Reference Frame and are compatible with previous studies in the area.
- The strain tensors due to the displacement rate patterns for each individual network (*Fig. 7.2, 7.3*), as well as for the whole study area (*Fig. 7.4*) are similar. Extension in NNE - SSW and compression in WNW - ENE can be observed. These results are compatible with the results of terrestrial geodetic data by *Veis et al. (1992)*.
- All the kinematic models indicate the existence of a zone of a possible discontinuity in the study area (*Fig. 6.23*). This zone has near zero strain and supports the idea of the strain change from north to south. The north part seems to extend in a lower rate than the South one. Extension in the North takes place in a NNE - SSW direction, whereas the South part extends on a NNW - SSE direction (*Fig. 7.5*). This discontinuity indication is more pronounced when the strain tensors for a three zone model are computed (*Fig. 7.9*).
- In order to detect possible changes in the strain pattern from west to east the three zone model was further divided in 6 parts (*Fig. 7.10*); a gradual change in the strain parameters from West to East can be observed.
- Regarding the area of Evia a change in the displacement and strain pattern from North to Central Evia can be observed; however, no available data exist for the south part.
- Considering the graben of the Gulf of Evia it appears that both the north and south part deform in a similar pattern (*Fig. 7.13, 7.14*). The compression rate is statistically negligible, while the extension rate, which is almost normal to the average trace of the rift, has a magnitude of the order of the 0.06 - 0.10 ppm/yr. This value is consistent with the geotectonically estimated opening rate of the rift 1 - 2 mm/yr (regarding the average width of the Evoikos Gulf to be ~ 20 km) (*Clarke et al. 1998, Goldsworthy and Jackson 2001*).
- In the case of the Alcyonides and Kaparelli fault system the compression is sta-

tistically negligible while the occurring extension is in accordance with the one observed for the broader area (*Fig. 7.16*).

- The Atalanti fault area deforms in an N - S direction following the deformation pattern of the North Evoikos Gulf.
- Considering the pole of rotation tests it appears that the North Peloponnesos rotates clockwise with respect to Sterea and Evia behaving as a single block (*Fig. 8.1*). Sterea and Evia also rotate clockwise towards Peloponnesos, but with a lower rate (*Fig. 8.2*). The estimated velocity field due to this pole of rotation appears to increase gradually in magnitude and direction from east to west.
- Finally, from all the kinematic models used no confirmation that the area of study is deforming homogeneously is apparent, while an indication of a discontinuity has been detected.

1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη της Δορυφορικής Γεωδαισίας τις τελευταίες δεκαετίες έχει δώσει μεγάλη ώθηση στην μελέτη των τεκτονικών μετακινήσεων και της παραμόρφωσης του Στερεού φλοιού της Γης, τόσο για τον προσδιορισμό μικρής κλίμακας φαινομένων (όρια τεκτονικών πλακών), όσο και για την παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας φαινομένων όπως ειδικές περιοχές γεωλογικού ενδιαφέροντος τάφροι, ρήγματα κλπ.

Η Ελλάδα ανήκει σε μια περιοχή που βρίσκεται στα όρια τριών τεκτονικών πλακών, της Ευρασιατικής, της Αραβικής και της Αφρικανικής. Πολλοί μεγάλοι και καταστροφικοί σεισμοί συμβαίνουν με αποτέλεσμα να την καθιστούν ένα φυσικό εργαστήριο για την μελέτη τεκτονικών φαινομένων. Οι κινήσεις των μεγάλων πλακών επηρεάζουν τις μικρότερες πλάκες της περιοχής και είναι αυτές οι μικρές πλάκες που καθορίζουν κυρίως τον μηχανισμό γένεσης των περισσότερων σεισμών στην περιοχή. Εκτός των κύριων λιθοσφαιρικών πλακών που επιδρούν στην τεκτονική συμπεριφορά του Ελλαδικού Χώρου, η ευρύτερη περιοχή φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν να αποτελείται από περισσότερες μικροπλάκες. Μια από αυτές τις μικροπλάκες είναι αυτή του Αιγαίου η οποία προκύπτει από την σύγκρουση με την Ευρασιατική πλάκα.

Η Κεντρική Ελλάδα είναι περιοχή αναγνωρισμένη για την έντονη τεκτονική δραστηριότητά της, με κύριο χαρακτηριστικό την επιμήκυνση (extension) με διεύθυνση Β - Ν. Η επιμήκυνση αυτή εκδηλώνεται, κατ' εξοχήν, σε συστήματα παράλληλων τάφρων. Οι τάφροι αυτές είναι: του Κορινθιακού Κόλπου, που είναι και το πιο ενεργό τεκτονικά τμήμα, η λεκάνη μεταξύ των ορέων Καλλίδρομου και Παρνασσού, η λεκάνη της Λοκρίδας (ή του Ρεγγίνειου) και η τάφος του Βορείου Ευβοϊκού, ενώ λίγο νοτιότερα συναντάται η λεκάνη των Θηβών και η τάφος του Νότιου Ευβοϊκού.

Από τα τέλη της δεκαετίας του 80 το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου σε συνεργασία με διάφορους φορείς και πανεπιστήμια του εξωτερικού έχουν ιδρύσει σε περιοχές της Ελλάδας με έντονη σεισμική δραστηριότητα γεωδαιτικά δίκτυα για την διαχρονική παρακολούθηση των τεκτονικών μετατοπίσεων αυτών των περιοχών. Αυτά τα γεωδαιτικά δίκτυα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε, να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες που δίνει η Δορυφορική Γεωδαισία και συγκεκριμένα το Πα-

γκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS). Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μελέτη της κινηματικής μιας περιοχής καθώς και της επιφανειακής της παραμόρφωσης, συνδυασμένα με γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα, βοηθούν στην κατανόηση των τεκτονικών μηχανισμών που συμβαίνουν στην υπό μελέτη περιοχή. Με δεδομένο πως η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος εντοπισμού είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που εξελίσσεται διαρκώς, οι αλλαγές και η αναβάθμιση στην πληροφορία από την εποχή των πρώτων μετρήσεων είναι σημαντικές. Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν σήμερα είναι πολύ μεγαλύτερες και η επεξεργασία των δεδομένων, λόγω εξέλιξης των υπολογιστικών μονάδων, πολύ ταχύτερη.

Στην παρούσα εργασία αξιοποιούνται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα GPS από το 1989 έως το 2008 για την ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας της Αττικής και της Βοιωτίας και εξετάζεται η επιφανειακή ανηγμένη παραμόρφωση μεταξύ δυο σημαντικών γεωλογικών σχηματισμών των τάφρων Ευβοϊκού και Κορινθιακού Κόλπου. Είναι πρώτη φορά που αναλύονται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα για τόσο μεγάλη χρονική διάρκεια εστιάζοντας στην συγκεκριμένη περιοχή. Η παραμόρφωση μελετάται με κινηματικά μοντέλα όπως πεδία ομαλοποιημένων ταχυτήτων, τανυστές επιφανειακής παραμόρφωσης, και πόλους στροφής κατά Euler. Για τον υπολογισμό των πόλων στροφής αναπτύσσεται ειδικό λογισμικό επεξεργασίας που παρέχει και απεικονιστική δυνατότητα στο χρήστη, ώστε να διευκολύνει τις εφαρμογές κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για το ρυθμό συσσώρευσης της ανηγμένης παραμόρφωσης στην περιοχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωτεκτονικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και καταγράφεται όλη η διαθέσιμη επιστημονική πληροφορία, που αφορά την τεκτονική και την σεισμικότητα της περιοχής. Εξετάζεται ξεχωριστά η τεκτονική της Κεντρικής Ελλάδας εστιάζοντας στις περιοχές της Εύβοιας, της Αττικής και της Βοιωτίας, ενώ στην συνέχεια δίνεται βάρος σε τρία πολύ σημαντικά ρήγματα της περιοχής, που έχουν δώσει καταστροφικούς σεισμούς από το τέλος του 19ου αιώνα έως σήμερα. Πρόκειται για τα ρήγματα του Καπαρελλίου, της Αταλάντης και της Πάρνηθας. Τέλος καταγράφονται όλες οι προγενέστερες γεωδαιτικές εργασίες που αφορούν την ευρύτερη περιοχή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται με συντομία τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην Δορυφορική Γεωδαισία. Επειδή η χρονική κατανομή των γεωδαιτικών δορυφορικών δεδομένων στην παρούσα εργασία αφορά δύο περίπου δεκαετίες, τα διαθέσιμα πρωτογενή αποτελέσματα δεν ανήκουν στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Ένα από τα προβλήματα κατά την επεξεργασία των δεδομένων ήταν η ενοποίησή τους σε

ενιαίο σύστημα αναφοράς, έτσι ώστε τα τελικά αποτελέσματα να είναι συμβιβαστά. Περιγράφονται λοιπόν όλα τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία καθώς και η μεθοδολογία για τον μετασχηματισμό τους στο τελικό ενιαίο σύστημα αναφοράς που επιλέχθηκε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα μοντέλα για τον κινηματικό προσδιορισμό της παραμόρφωσης. Δίνεται συνοπτικά η μεθοδολογία υπολογισμού των τανυστών παραμόρφωσης, ενώ αναλύεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό πόλων στροφής κατά Euler καθώς και η στατιστική ανάλυση, όπως αυτή χρησιμοποιήθηκε για το λογισμικό που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται όλα τα γεωδαιτικά δεδομένα που αναλύθηκαν καθώς και οι μέθοδοι επεξεργασίας οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Συγκεκριμένα επιλύθηκε το δίκτυο της Εύβοιας σε 2 εποχές, το δίκτυο του ΟΑΣΠ σε 3 εποχές, το δίκτυο του Καπαρελλίου σε 3 εποχές καθώς και το δίκτυο των τεσσάρων μόνιμων σταθμών που βρίσκονται στην περιοχή.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των κινηματικών μοντέλων που εφαρμόστηκαν στην περιοχή. Οι τελικές ομαλοποιημένες ταχύτητες προκύπτουν από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με αυτά άλλων διαθέσιμων προηγούμενων λύσεων. Για τους μόνιμους σταθμούς παρουσιάζονται οι λύσεις σε χρονοσειρές, υπολογίζονται ομαλοποιημένες ταχύτητες, ενώ γίνεται σύγκριση ως προς τις διαφορετικές χρονικές περιόδους, τα ποικίλα συστήματα αναφοράς και λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία. Επίσης απεικονίζονται οι τελικές ταχύτητες των σημείων των δικτύων ανά περιοχή καθώς και για το σύνολο της περιοχής. Τέλος παίρνοντας υπ' όψη γεωλογικές και σεισμολογικές πληροφορίες διερευνάται η κινηματική συμπεριφορά της περιοχής για να αναγνωρισθούν πιθανά τμήματα ομοιόμορφης κίνησης και να αξιοποιηθούν κατά τον υπολογισμό της παραμόρφωσης και των πόλων στροφής.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τανυστές ανηγμένης παραμόρφωσης, τόσο για το σύνολο της περιοχής, όσο και για τα επιμέρους δίκτυα και τις κατατμήσεις σε ζώνες, όπως αυτές υποδεικνύονται από την τρέχουσα βιβλιογραφία και τις εφαρμογές των κινηματικών μοντέλων του προηγούμενου κεφαλαίου.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πόλων στροφής κατά Euler συμπεριλαμβάνοντας στην ανάλυση, όπως και στα προηγούμενα δύο κεφάλαια, και τα δεδομένα του Κορινθιακού Κόλπου, ώστε να συνδυαστεί η κινηματική συμπεριφορά των δύο τεκτονικών τάφρων.

Τέλος στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής.

2 Τεκτονικό Υπόβαθρο της Περιοχής Μελέτης

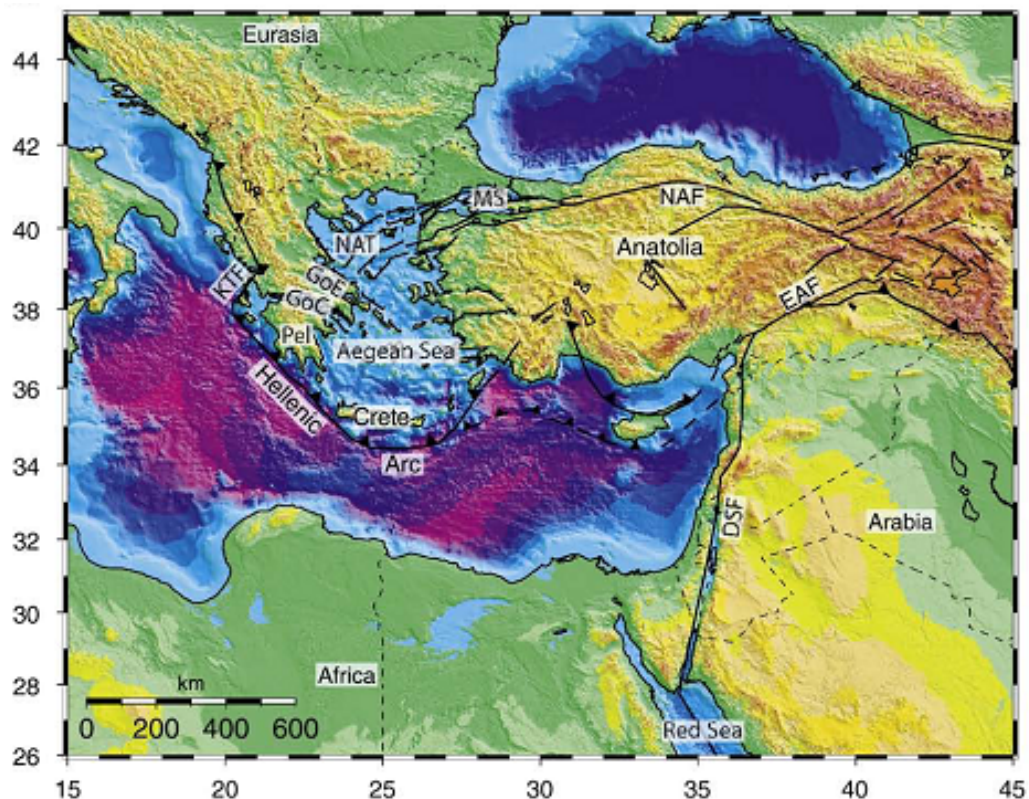
2.1 Γενικά

Το ανατολικό τμήμα της Μεσογείου είναι από τις πιο ενεργές τεκτονικά περιοχές στον κόσμο. Είναι μέρος μιας ευρείας ζώνης τεκτονικού μετασχηματισμού επειδή βρίσκεται στα όρια τριών τεκτονικών πλακών, της Ευρασιατικής, της Αραβικής και της Αφρικανικής (Σχήμα 2.1).

Οι κινήσεις των μεγάλων πλακών επηρεάζουν τις μικρότερες πλάκες της περιοχής και είναι αυτές οι μικρές πλάκες που καθορίζουν κυρίως τον μηχανισμό γένεσης των περισσότερων σεισμών στην περιοχή.

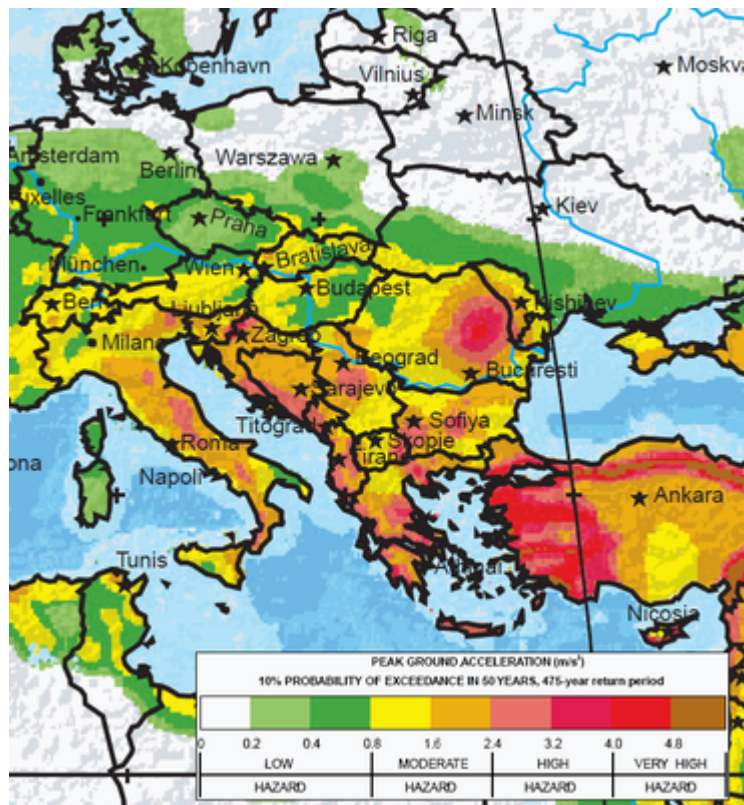
Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες με την υψηλότερη σεισμικότητα στην Ευρώπη (Σχήμα 2.2). Στην Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα οι περισσότεροι σεισμοί είναι επιφανειακοί και μέσου βάθους (έως 50 km) και προκύπτουν από την σύγκρουση της Ευρασιατικής πλάκας με την μικροπλάκα του Αιγαίου. Τα όρια της Ευρασιατικής πλάκας με την μικροπλάκα του Αιγαίου στην κεντρική Ελλάδα είναι ασαφή. Η σεισμικότητα εντοπίζεται σε ζώνες παραμόρφωσης με ανατολική και βορειοανατολική διεύθυνση. Οι ζώνες παραμόρφωσης με ανατολική διεύθυνση κυριαρχούν στην ενδοχώρα και χαρακτηρίζονται κυρίως από κανονικά ρήγματα (normal faults) που δίνουν σεισμούς έως και $M_w \sim 7$, ενώ οι ζώνες παραμόρφωσης με διεύθυνση βόρειο ανατολική χαρακτηρίζονται από ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (strike slip faults).

Η τεκτονική συμπεριφορά της Νότιας Ελλάδας είναι αποτέλεσμα της βύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου. Το σύνορο των δύο πλακών, γνωστό και ως Ελληνικό Τόξο (Hellenic Arc), εκτείνεται βορειοδυτικά από το Ιόνιο Πέλαγος στα Επτάνησα και διερχόμενο νότια της Κρήτης καταλήγει στη Ρόδο. Στο τμήμα του τόξου από βορειοδυτικά του Ιονίου μέχρι την Κρήτη η σεισμικότητα εκδηλώνεται κυρίως σε ανάστροφα (reverse faults) και οριζόντιας ολίσθησης ρήγματα ενώ δεν αποκλείονται και κανονικά ρήγματα. Ανατολικά της Κρήτης το σύνορο χαρακτηρίζεται κυ-



Σχήμα 2.1: Τεκτονικό τοπογραφικό και βαθυμετρικό υπόβαθρο ανατολικής Μεσογείου. Κύριοι τεκτονικοί σχηματισμοί στην Ελλάδα. Συντμήσεις: Ευβοϊκός Κόλπος - Gulf of Evia (GoE). Κορινθιακός Κόλπος - Gulf of Corinth (GoC), Ρήγμα Μετασχηματισμού Κεφαλληνίας - Kephallonia Transform Fault (KTF), Βόρειο Ρήγμα Ανατολίας - North Anatolian Fault (NAF), Ανατολικό Ρήγμα Ανατολίας - East Anatolian Fault (EAF), Ρήγμα Νεκράς Θάλασσας - Dead Sea Fault (DSF), Θάλασσα του Μαρμαρά - Marmara Sea (MS), Τάφρος Βορείου Αιγαίου - North Aegean Trough (NAT) (Reilinger et al. 2006, 2010).

Figure 2.1: Schematic tectonic/topographic/bathymetric map of the E. Mediterranean. Abbreviations: Gulf of Evia (GoE), Gulf of Corinth (GoC), Kephallonia Transform Fault (KTF), North Anatolian Fault (NAF), East Anatolian Fault (EAF), Dead Sea Fault (DSF), Marmara Sea (MS), North Aegean Trough (NAT), Peloponnisos Peninsula (Pel). B. GPS - derived velocities with respect to Eurasia (velocity field has been decimated for clarity). GPS velocity uncertainties are 95% confidence ellipses (Reilinger et al. 2006, 2010).



Σχήμα 2.2: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ευρώπης (http://geology.about.com/ss/World-Seismic-Hazard-Maps_11.htm)

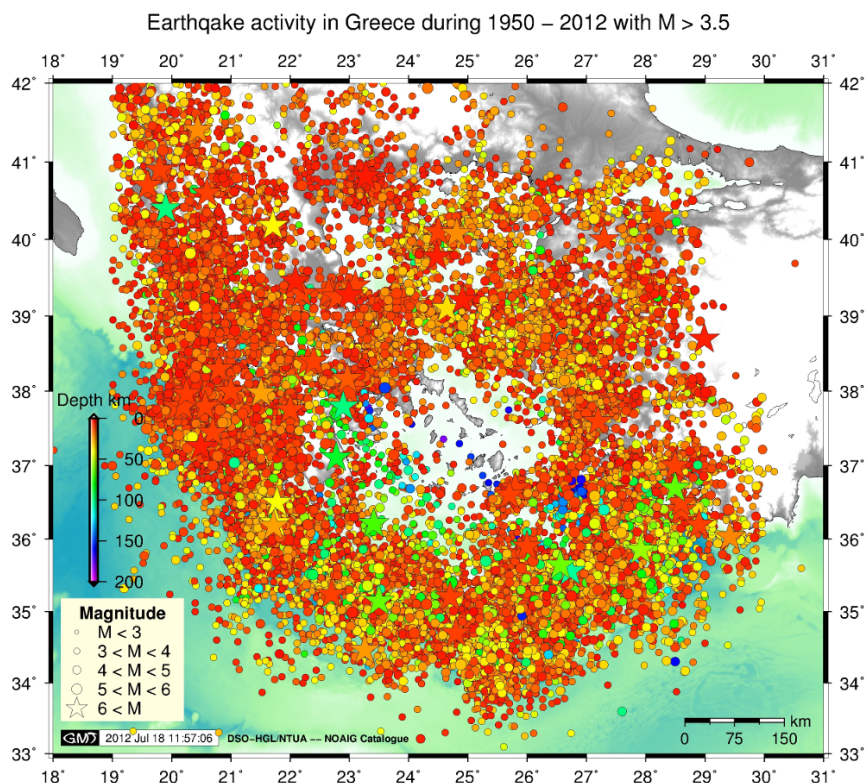
Figure 2.2: Seismicity Risk Map of Europe (http://geology.about.com/ss/World-Seismic-Hazard-Maps_11.htm)

ρίως από ορθά και οριζόντια ολίσθησης ρήγματα. Το μεγαλύτερο μέγεθος των σεισμών που συναντώνται κατά μήκος του Ελληνικού Τόξου είναι $M_w \sim 7.2$. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η σεισμικότητα στον Ελλαδικό χώρο από το 1950 έως σήμερα, όπως καταγράφεται στον κατάλογο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ).

Εκτός των κύριων λιθοσφαιρικών πλακών που επιδρούν στην τεκτονική συμπεριφορά του Ελλαδικού Χώρου, η ευρύτερη περιοχή φαίνεται να συμπεριφέρεται σαν να αποτελείται από περισσότερες μικροπλάκες.

Ενώ αρκετές μελέτες έχουν γίνει τις τελευταίες δεκαετίες για τον εντοπισμό αυτών των μικροπλάκων στον ελληνικό χώρο, ιδιαίτερη ώθηση έδωσε η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας ειδικά στο επιστημονικό πεδίο της Δορυφορικής Γεωδαισίας.

Η πρώτη επιστημονική εργασία που δημοσιεύτηκε ήταν του McKenzie το 1972 (McKenzie 1972) όπου η περιοχή της Ελλάδας φαίνεται να ανήκει σε δύο μικροπλάκες, του Αιγαίου και εκείνη της Κεντρικής - Βόρειας Ελλάδας. Σε αυτήν την εργασία τα δεδομένα ήταν μόνο σεισμολογικά και αφορούσαν την χρονική περίοδο από το 1936 έως το



Σχήμα 2.3: Σεισμικότητα στον Ελλαδικό Χώρο από το 1950 έως σήμερα (σεισμοί > 3.5 Richter) - Κατάλογος Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

Figure 2.3: Seismicity in Greece since 1950 until today (earthquakes > 3.5) - NOA Catalogue

1969. Στην συνέχεια μεταξύ άλλων εργασιών οι *Drewes and Rizos (1982)* υπολόγισαν πόλους στροφής γι' αυτές τις δύο μικροπλάκες με χρήση δεδομένων από 20 γεωδαιτικούς σταθμούς παρατήρησης, με την τεχνική Satellite Laser Ranging (SLR). Πέντε από αυτούς τους σταθμούς ήταν στον Ελλαδικό Χώρο (*Αμπατζίδης 2011, Drewes and Rizos 1982*).

Οι *Le Pichon et al. (1995)* χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από μετρήσεις του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού GPS (Global Positioning System) σε συνδυασμό με αποτελέσματα από μετρήσεις SLR εκτίμησαν πως στον Ελλαδικό χώρο μπορούν να εντοπιστούν δύο βασικά μπλοκ, αυτό της Ανατολίας - Αιγαίου και το μπλοκ των νήσων του Ιονίου πελάγους που αποτελείται από τρεις μικροπλάκες. Οι μετρήσεις που αξιοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία είναι από το 1982 έως το 1993, ενώ οι μετρήσεις GPS αφορούν τις χρονιές από το 1989 έως το 1992 (*Le Pichon et al. 1995*).

Οι *McClusky et al. (2000)* χρησιμοποίησαν αποκλειστικά παρατηρήσεις GPS από 189 θέ-

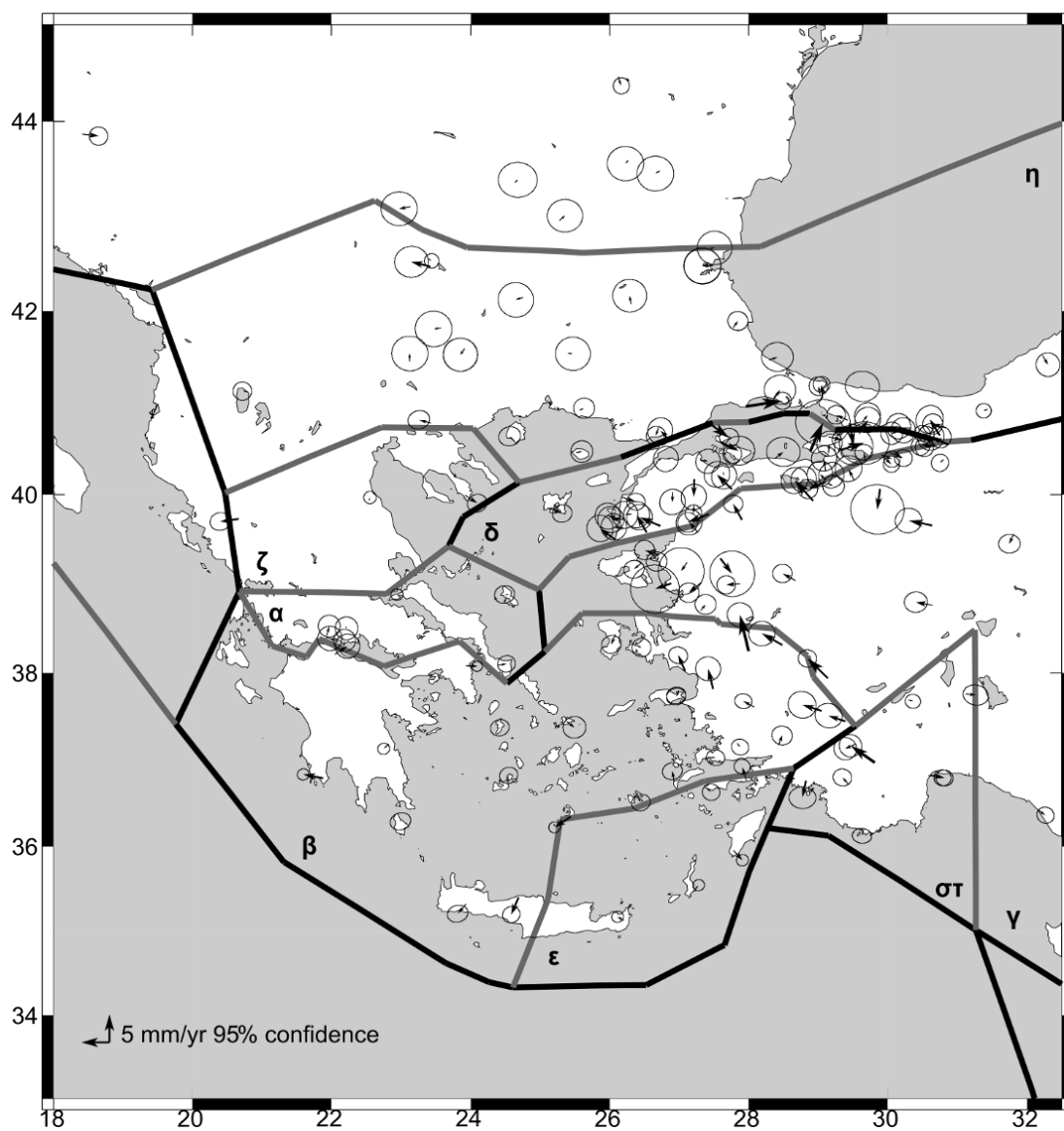
σεις για την χρονική περίοδο 1988-1997, και για μια περιοχή που εκτείνεται ανατολικά από τον Καύκασο μέχρι δυτικά στην Αδριατική θάλασσα και βόρεια από το νοτιότερο άκρο της Ευρασιατικής, μέχρι νότια στο βορειότερο άκρο της Αφρικανικής πλάκας. Η εργασία τους επικεντρώνεται στην οριοθέτηση και συσχέτιση της κινηματικής της μικροπλάκας του Αιγαίου με τις περιβάλλουσες την περιοχή βασικές τεκτονικές πλάκες.

Οι *Nyst and Thatcher (2004)* χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο 374 σταθμών μετρημένων με GPS, από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 έως το 2001, οι οποίοι καλύπτουν την γεωγραφική περιοχή του Αιγαίου και της Μ. Ασίας, προτείνουν τον διαχωρισμό της περιοχής σε 4 μικροπλάκες: (α) της Κεντρικής Ελλάδας, (β) του Νότιου Κεντρικού Αιγαίου, (γ) της Ανατολίας και (δ) του Νοτίου Μαρμαρά.

Οι *Reilinger et al. (2006)* χρησιμοποιώντας ένα σύνολο 440 σταθμών GPS, εκ των οποίων οι 103 είναι μόνιμοι, και βρίσκονται στην περιοχή που εκτείνεται από την Ανατολική Μεσόγειο έως την Αραβική χερσόνησο, καθώς και στις χώρες κάτω από την Κασπία θάλασσα, προτείνουν τον διαχωρισμό του Ελλαδικού χώρου σε 8 μικροπλάκες. Το διάστημα των παρατηρήσεων που συμπεριλήφθηκαν στον προσδιορισμό αυτόν αφορά την χρονική περίοδο από το 1988 έως το 2005. Οι μικροπλάκες που προτείνονται είναι οι εξής: (α) της Κεντρικής Ελλάδας, (β) του Αιγαίου, (γ) της Ανατολίας, (δ) του Νότιου Μαρμαρά, (ε) του Νοτιοανατολικού Αιγαίου, (στ) της Νοτιοδυτικής Ανατολίας, (ζ) της Βόρειας Ελλάδας και (η) της Μαύρης θάλασσας (*Σχήμα 2.4*) (*Reilinger et al. 2006*).

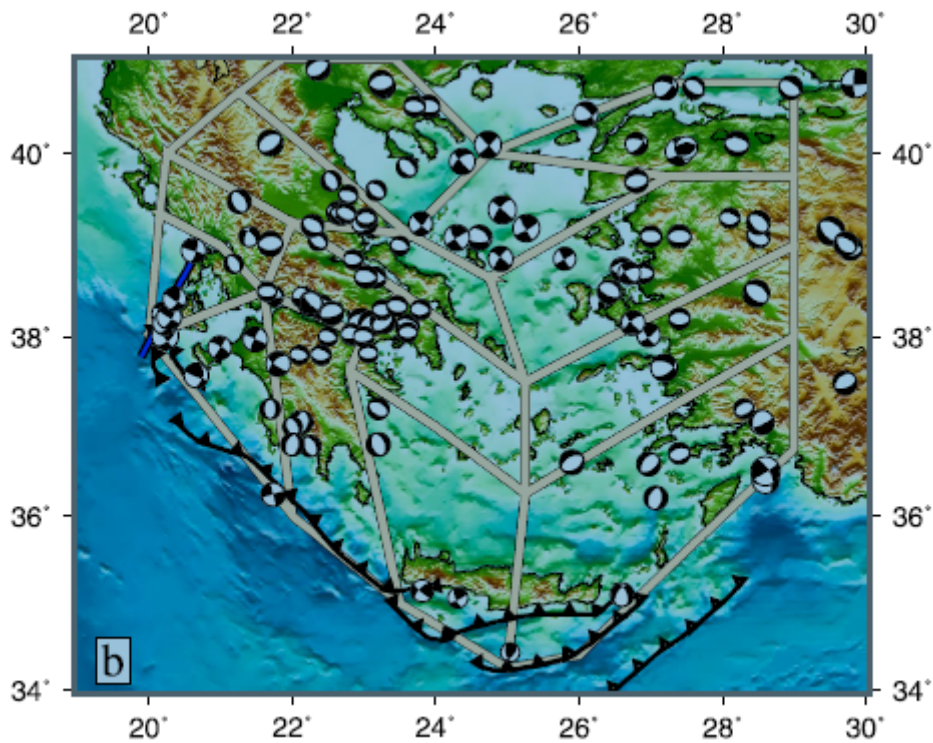
Οι *Floyd et al. (2010)* αξιοποιώντας τα δεδομένα από 254 σταθμούς GPS, μόνιμους και μη στον Ελλαδικό χώρο, εξετάζουν διάφορα μοντέλα κατάτμησης σε μικρομπλόκ, διακρίνοντας 3 περιπτώσεις με δέκα έως είκοσι μπλοκ. Στο *Σχήμα 2.5* παρουσιάζεται η προσέγγιση που προτείνει την κατάτμηση του Ελλαδικού χώρου σε 15 μικρομπλόκ. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 38 μη μόνιμα δίκτυα για τα οποία υπήρχαν επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις, για το χρονικό διάστημα 1991-2004 καθώς και δεδομένα μόνιμων σταθμών, εγκατεστημένων κυρίως στην Νότια Ελλάδα, για την περίοδο 2002-2006. Οι εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν με την συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας, του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ, του Institut de Physique du Globe de Paris, France (IPGP), του Massachusetts Institute of Technology (MIT) και του Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K.. Η εργασία αυτή είναι η πιο πρόσφατα δημοσιευμένη και στηρίζεται σε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων ενώ εστιάζει κατ' εξοχήν στον Ελλαδικό χώρο.

Στην εργασία διαπιστώνεται ότι τόσο τα μοντέλα των πολλών μικρομπλόκ (μικροπλακών), όσο και τα μοντέλα του συνεχούς ρηγματωμένου μέσου (continuum fractured



Σχήμα 2.4: Διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε 8 μικροπλάκες. Το ανοιχτό χρώμα στα όρια των πλακών δείχνει άνοιγμα κανονικών ρηγμάτων και το πιο σκούρο σύγκλιση (Reilinger et al. 2006).

Figure 2.4: 8 blocks Tectonic model for Greece, light block boundaries show fault-normal opening and dark show fault-normal closing (Reilinger et al. 2006).



Σχήμα 2.5: Διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε 15 μικροπλάκες (*Floyd et al. 2010*).

Figure 2.5: 15 blocks tectonic model for Greece (*Floyd et al. 2010*).

medium) ικανοποιούν με επάρκεια τα πεδία ταχυτήτων, που προκύπτουν από μετρήσεις GPS. Φαίνεται όμως, ότι η δεύτερη προσέγγιση πλεονεκτεί ως προς το ότι ανιχνεύει τις θέσεις και τις ολισθήσεις ενεργών ρηγμάτων και την εκδήλωση των σεισμών.

2.2 Γεωτεκτονικό Υπόβαθρο της Κεντρικής Ελλάδας

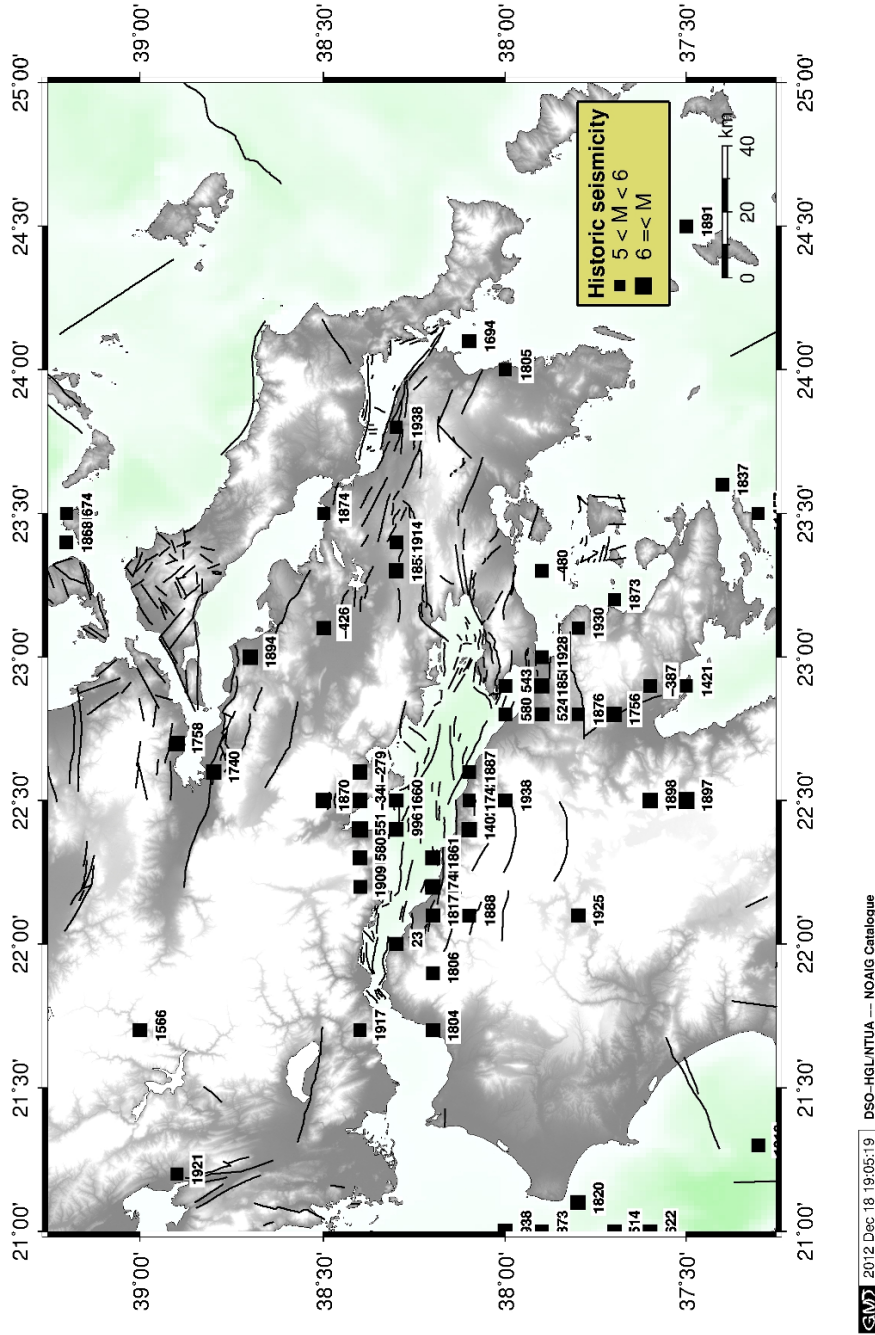
Η Κεντρική Ελλάδα είναι περιοχή αναγνωρισμένη για την έντονη τεκτονική δραστηριότητά της, με κύριο χαρακτηριστικό την διαστολή (extension) με διεύθυνση Β - Ν. Η διαστολή αυτή εκδηλώνεται, κατ' εξοχήν, σε συστήματα παράλληλων τάφρων (rifts) με προσανατολισμό κυρίως ΔΒΔ - ΑΝΑ. Οι τάφροι αυτές είναι: του Κορινθιακού Κόλπου, που είναι και το πιο ενεργό τεκτονικά τμήμα, η λεκάνη μεταξύ των ορέων Καλλίδρομου και Παρνασσού, η λεκάνη της Λοκρίδας (ή του Ρεγγίνειου) και η τάφος του Βορείου Ευβοϊκού, ενώ λίγο νοτιότερα συναντάται η λεκάνη των Θηβών και η τάφος του Νότιου Ευβοϊκού (Σχήμα 2.6).

Η συνολική κίνηση της Κεντρικής Ελλάδας είναι ΒΑ - ΝΔ με περίπου ίσα μεγέθη διαστολής κατά τη διεύθυνση Β - Ν και δεξιόστροφης διάτμησης (shearing) κατά Α - Δ, με τη τελευταία να οφείλεται στην σχετική κίνηση της πλάκας της Ανατολίας ως προς την Ευρασιατική κατά μήκος της ζώνης του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (Pantosti et al. 2001).

Ο Κορινθιακός Κόλπος, στη Κεντρική Ελλάδα, είναι μια από τις πιο τεκτονικά ενεργές και με ταχείς ρυθμούς διαστελλόμενες περιοχές στο κόσμο. Η γεωμορφολογία και η τοπογραφία της περιοχής συνδέονται σαφώς με σεισμική δραστηριότητα που εκδηλώνεται στα μεγάλα κανονικά ρήγματα. Η διαστολή εκδηλώνεται κυρίως στην διεύθυνση Β - Ν (Armijo et al. 1996, Clarke et al. 1998). Το μήκος της τάφρου, που είναι ασύμμετρη, είναι περίπου 120 km και το εύρος της 30 km με μέσο προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ (Clarke et al. 1998).

Και οι δύο όψεις της τάφρου οριοθετούνται από συστήματα κανονικών ρηγμάτων, σε βαθμιδωτές συστοιχίες (en echelon pattern), με τα βόρεια ρήγματα να βυθίζονται προς νότο, ενώ τα κανονικά ρήγματα της ακτής της Πελοποννήσου να βυθίζονται προς τη διεύθυνση του Βορρά. Δορυφορικές μετρήσεις GPS που έχουν γίνει επί σειρά ετών στη περιοχή, αλλά και η παρουσία ενός μικρού μόνιμου δικτύου σταθμών GPS, παρουσιάζουν τη δυτική πλευρά του Κορινθιακού να υφίσταται διαστολή, με ταχύτητα 10-15 mm/yr (Clarke et al. 1998, Avallone et al. 2004), ενώ η ανατολική πλευρά του Κόλπου διαστέλλεται με ταχύτητα μικρότερη (~5-6 mm/yr) από αυτή της δυτικής πλευράς (Clarke et al. 1998, Briole et al. 2000).

Οι περισσότερες σειρές παρατηρήσεων GPS, με διάρκεια μεγαλύτερη από μια δεκαετία, δείχνουν ότι η διαστολή της τάφρου περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά πέραν της ξηράς, σε μία θαλάσσια, ως επί το πλείστον ζώνη, όχι πλατύτερη από 10km κοντά στην



Σχήμα 2.6: Χάρτης ρηγματών και ιστορικών σεισμών στην περιοχή της Κεντρικής Ελλάδος (Γκανάς, αδημοσίευτα στοιχεία, Παπαζάχος and Παπαζάχου (2003)).

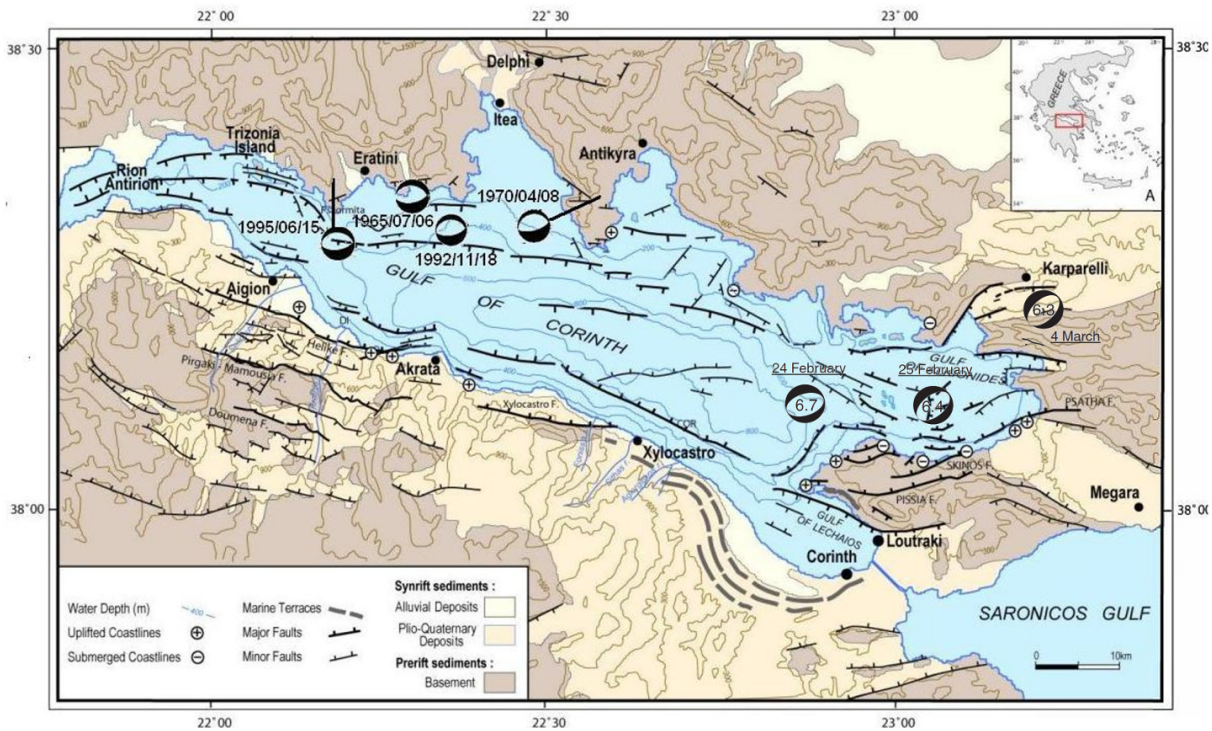
Figure 2.6: Map of historical seismicity and faults in Central Greece (Ganas, unpublished data, Παπαζάχος and Παπαζάχου (2003)).

περιοχή του Αιγίου, το μέγεθος της οποίας αυξάνει από ανατολικά προς δυσμάς. Έτσι, αυτός ο ρυθμός διαστολής, όπως εκτιμάται από τις μετρήσεις GPS, είναι της τάξης των ~ 11 mm/yr στο κεντρικό τμήμα της τάφρου, ενώ φτάνει τα ~ 16 mm/yr στην περιοχή του Αιγίου με προσανατολισμό της διαστολής κατά την διεύθυνση $B185^\circ A$ και μειώνεται στα 5-6 mm/yr στο ανατολικό άκρο (Briole et al. 2000). Το γεγονός ότι το δυτικό τμήμα της τάφρου ανοίγει ταχύτερα από το ανατολικό αποτελεί μία ένδειξη ότι το ανατολικό τμήμα τείνει να ακολουθήσει την ΝΑ κίνηση της Εύβοιας και της Νότιας Πελοποννήσου, ενώ το ΒΔ τμήμα της τάφρου είναι συνδεδεμένο με την μικροπλάκα της Απουλίας - Αδριατικής και την Βόρεια Ελλάδα (Avallone et al. 2004). Τα μεγάλα ρήγματα του νότιου τμήματος του Κόλπου, σύμφωνα με γεωλογικές κυρίως παρατηρήσεις, φαίνονται να παραμορφώνονται με βραδύ ρυθμό. Συνεπώς, οι μικρότερες δομές στο εσωτερικό μέρος της τάφρου, όπως τα υποθαλάσσια ρήγματα που έδωσαν όλα τα πρόσφατα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους επεισόδια (Ερατεινή Φωκίδας, $M_s = 6.3$, 1965; Αντίκυρα, $M_s = 6.2$, 1970; Αλκυονίδες νήσοι, $M_s = 6.7$, 1981; Γαλαξίδι, $M_s = 5.8$, 1992; Αίγιο, $M_s = 6.2$, 1995) (Σχήμα 2.7) ικανοποιούν το μεγαλύτερο μέρος της διαστολής με σχετικά συχνούς σεισμούς αυτού του μεγέθους ($M_s \sim 5.5-6.5$). Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι τα μεγάλα επεισόδια στα μεγάλου μήκους ρήγματα της ξηράς ($M_s \sim 6.5-7$) μπορεί να έχουν μεγάλες περιόδους επανάληψης (> 500 έτη) (Avallone et al. 2004).

Με βάση τη γεωμορφολογία και τη μικροσεισμικότητα, η τάφρος του Ευβοϊκού Κόλπου και η ευρύτερη περιοχή μπορεί να διακριθεί σε τρεις ζώνες (Σχήμα 2.8) οι οποίες επηρεάζονται από τα δύο βασικά συστήματα παραμόρφωσης: το σύστημα δεξιόστροφων ρηγμάτων του Βόρειου Αιγαίου με προσανατολισμό ΒΑ - ΝΔ και της τάφρου του Κορινθιακού με προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ (Shaked et al. 2000, Papoulia et al. 2006).

Η Εύβοια σχηματίζει μια «γεωλογική» γέφυρα που συνδέει γεωλογικές δομές στη διεύθυνση των Κυκλάδων στο νότο, με δομές που ανήκουν στις εσωτερικές Ελληνίδες (Hellenides - Όλυμπος και Όσσα) στο Βορρά. Στην Εύβοια είναι εμφανείς στην επιφάνεια τρεις τεκτονικές ενότητες (Shaked et al. 2000). Η πιο εμφανής είναι η «Πελαγονία Ενότητα» (Pelagonian Unit), η οποία καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα του νησιού και αποτελείται από μη μεταμορφικά πετρώματα που ανήκουν στις εσωτερικές Ελληνίδες. Στο νότιο κομμάτι του νησιού, εμφανίζονται πετρώματα υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας. Στο κεντρικό τμήμα του νησιού συναντώνται ιζήματα που έχουν αποθεθεί κατά την Μεσοζωική - Ηώκαινο περίοδο και εκτιμάται ότι αναφέρονται στο εξωτερικό τμήμα των Ελληνίδων (Σχήμα 2.9).

Η πρόσφατη παραμόρφωση της περιοχής χαρακτηρίζεται από μέτρια σεισμικότητα,

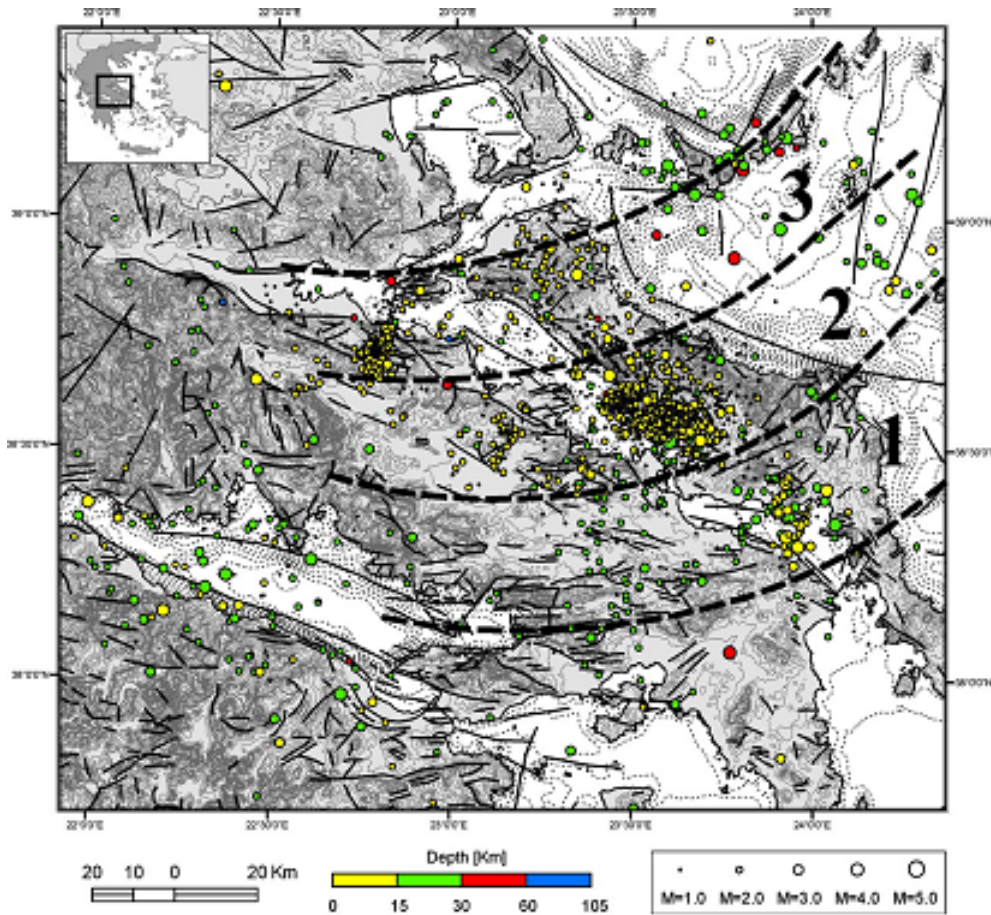


Σχήμα 2.7: Γεωλογικός χάρτης του Κορινθιακού Κόλπου με τους πρόσφατους σεισμούς για το δυτικό τμήμα του (Mitsakaki et al. (2006), διαμορφωμένο από Moretti et al. (2003), Lyon-Caen et al. (2004)).

Figure 2.7: Geological map of the Gulf of Corinth with recent seismic epicenters for the west part (Mitsakaki et al. (2006), modified from Moretti et al. (2003), Lyon-Caen et al. (2004)).

ενώ το πάχος του φλοιού αλλάζει ραγδαία σε σχετικά μικρές αποστάσεις (Makris et al. 2001, Parouliia et al. 2006). Ειδικότερα, το πάχος του φλοιού στην Βόρεια Εύβοια είναι της τάξης των 30 km, ενώ στο κεντρικό τμήμα του Βόρειου Ευβοϊκού είναι μόλις 19 km. Ο μηχανισμός που προκάλεσε αυτή την έντονη οριζοντιογραφική μεταβολή του πάχους του φλοιού δεν είναι προφανής, επειδή απαιτείται η **διαγώνια διαστολή** (transtension), που οφείλεται σε οριζόντιας ολίσθησης κίνηση (strike slip) για να ερμηνεύσει αυτή τη μορφή του φλοιού, η οποία ωστόσο, δεν έχει επιβεβαιωθεί μέχρι στιγμής γεωλογικά. Παραμένει επίσης ασαφές, πως η διαγώνια διαστολή κατά μήκος της τάφρου του Βορείου Αιγαίου μεταφέρεται στον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο και στην Κεντρική Ελλάδα (Parouliia et al. 2006).

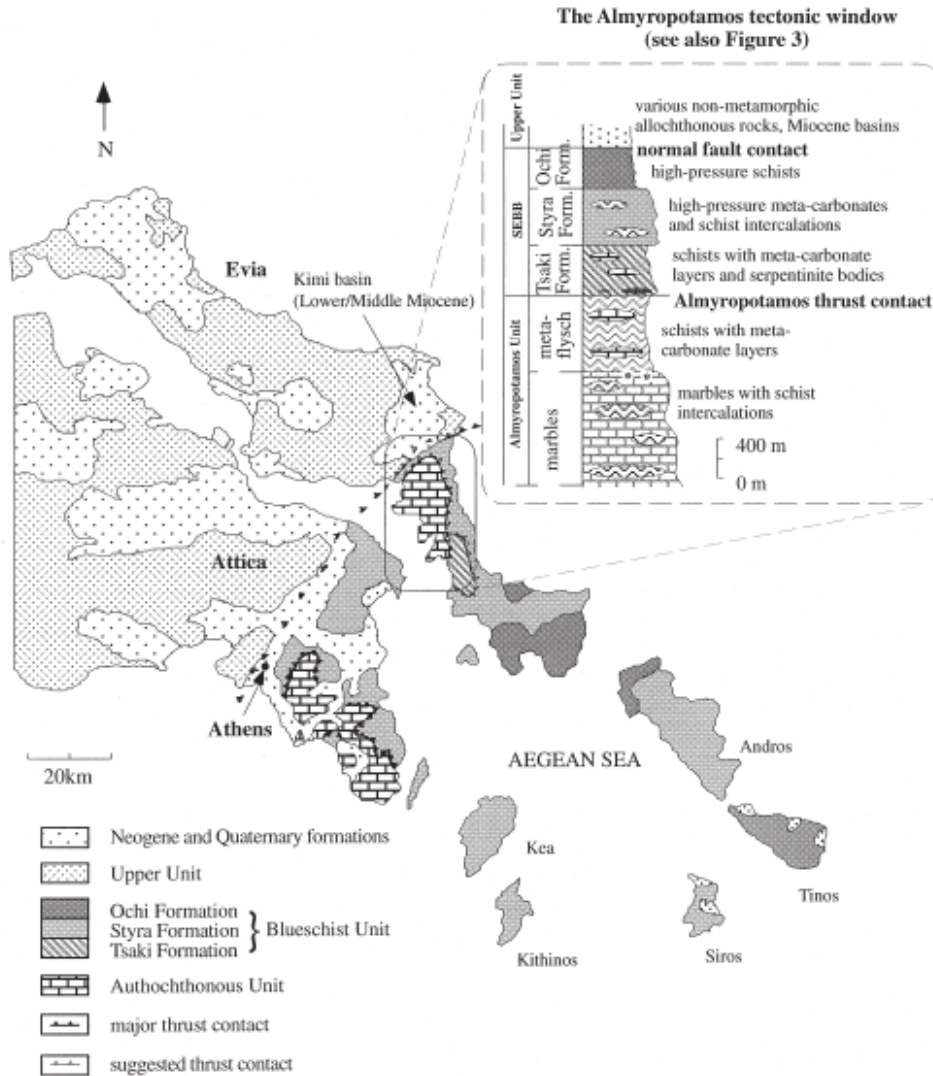
Ο Βόρειος Ευβοϊκός αποτελεί μια ευμεγέθη τάφρο με διαστάσεις παρόμοιες με αυτές του Κορινθιακού Κόλπου. Οι γεωδαιτικές παρατηρήσεις στην περιοχή και η σεισμικότητα των τελευταίων 300 ετών υποδηλώνουν ότι η διαστολή της τάφρου γίνεται με πολύ βραδύτερο ρυθμό από αυτήν του Κορινθιακού, πιθανά με περίπου 1-2 mm/yr



Σχήμα 2.8: Ζώνες προοδευτικής αλλαγής προσανατολισμού των ρηγμάτων καθώς και της αντίστοιχης σεισμικότητας στην Κεντρική Ελλάδα (Papoulia et al. 2006).

Figure 2.8: Zones of progressive change of fault orientation and their associated seismicity in Central Greece (Papoulia et al. 2006).

(Clarke et al. 1998, Goldsworthy and Jackson 2001). Ο Βόρειος Ευβοϊκός Κόλπος είναι μια ασύμμετρη μισή τάφρος με τη διεύθυνση της παράταξης των ρηγμάτων να μεταβάλλεται από ΔΒΔ διεύθυνση στο δυτικό τμήμα, σε ΒΔ διεύθυνση στο ανατολικό τμήμα της τάφρου (Jackson 1994, Palyvos et al. 2006). Στη περιοχή διακρίνονται τρία συστήματα ρηγμάτων. Το παράκτιο σύστημα, που οριοθετεί τον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο και την λεκάνη του Σπερχειού και εκτείνεται σε απόσταση 100 km από την Αρκίτσα στα ανατολικά, μέχρι τον Σπερχειό στα δυτικά (λεκάνη της Λοκρίδας ή Ρεγγίνειου). Το υπόμετρο του ποδός (footwall) των ρηγμάτων είναι της τάξης του 1 km, ανάλογο με αυτό που εμφανίζεται στον Κορινθιακό Κόλπο. Το επόμενο σύστημα είναι αυτό των σχεδόν παράλληλων ρηγμάτων του Καλλίδρομου, που βρίσκεται περίπου 8 km νοτιότερα από το προηγούμενο σύστημα. Το τρίτο σύστημα ρηγμάτων είναι το νοτιότερο, με προσανατολισμό ΒΔ - ΝΑ και συνορεύει με τους πρόποδες του Παρνασσού που υψώνεται



Σχήμα 2.9: Γεωλογικός χάρτης της Εύβοιας (διαμορφωμένος από *Katsikaros et al. (1986)*), στον οποίο παρουσιάζονται οι γεωλογικές ενότητες της Εύβοιας, της Αττικής και των Βορείων Κυκλάδων (*Shaked et al. 2000*).

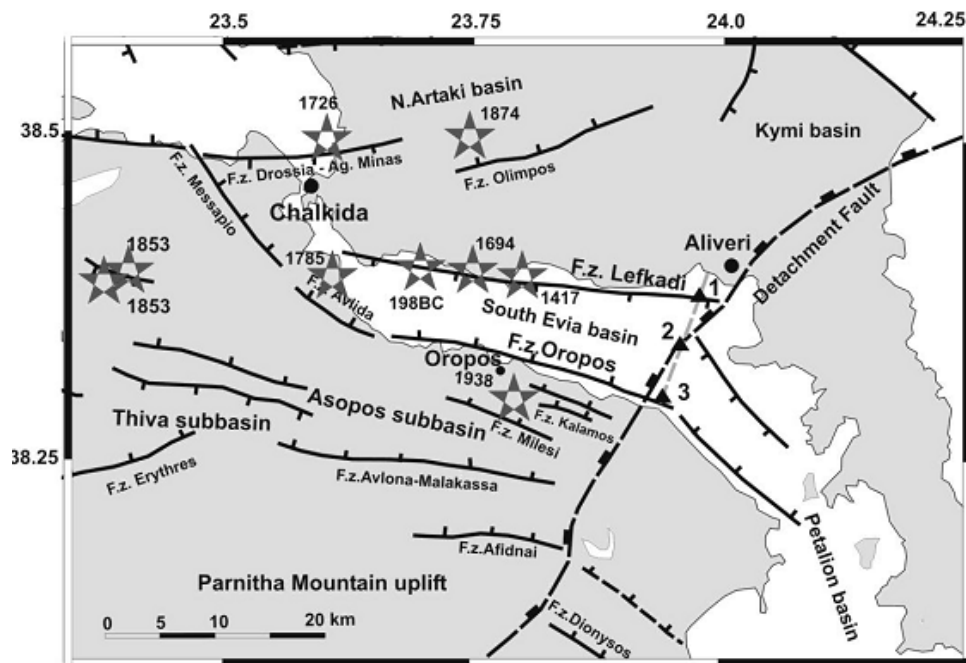
Figure 2.9: Location and general geological setting of the island of Evia (modified after *Katsikaros et al. (1986)*), showing the three tectonic units of Evia, Attica and the Northern Cyclades (*Shaked et al. 2000*).

στα 2300 m. Τα δύο τελευταία συστήματα ρηγμάτων οριοθετούν μία ακόμα λεκάνη, την λεκάνη Καλλίδρομου - Παρνασσού (*Goldsworthy and Jackson 2001, Papoulia et al. 2006*).

Η παράκτιος ρηξιγενής ζώνη φαίνεται να είναι η πιο ενεργή και πρόσφατη, με κάποιους ιστορικούς σεισμούς να είναι γνωστοί για τη περιοχή, όπως οι σεισμοί του 426 π.Χ., του 1740 και 1894 (*Σχήμα 2.6*). Ωστόσο, οι περισσότεροι από αυτούς δεν φαίνεται να σχετίζονται με συγκεκριμένο ρήγμα (*Goldsworthy and Jackson 2001*). Εξάιρεση αποτελεί ο σεισμός του 1894, με επιφανειακή διάρρηξη, η οποία εκδηλώθηκε στο παράκτιο σύστημα ρηγμάτων ανατολικά της Αταλάντης και προκάλεσε συ-σεισμική βύθιση της οροφής (hanging wall) των ρηγμάτων (*Ambraseys and Jackson 1990*). Επιπλέον ο σεισμός του 426 π.Χ., με εκτιμώμενο μέγεθος $M_s \sim 7$ προκάλεσε τσουνάμι με εκτεταμένες καταστροφές στις λεκάνες του Μαλιακού και του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου. Η πιθανότητα ενός τέτοιου φαινομένου δεν είναι αμελητέα με δεδομένο ότι η τοπογραφία και η βαθυμετρία στον Βόρειο Ευβοϊκό συντείνουν στην εκδήλωση μεγάλων κατολισθήσεων (*Papoulia et al. 2006*).

Στη κεντρική ζώνη της Εύβοιας εκδηλώνεται μέτρια σεισμική δραστηριότητα, ενώ η χαμηλή μορφολογία έχει σαν συνέπεια να απουσιάζουν χαρακτηριστικές γεωμορφολογικές δομές ενεργού τεκτονικής. Η Χαρτογράφηση όμως της περιοχής, η αξιολόγηση λιθοστρωματογραφικών δεδομένων, αλλά και η τεκτονική ανάλυση της ευρύτερης περιοχής της Χαλκίδας, οδήγησε στον εντοπισμό ενεργών και δυνητικώς ενεργών ρηγμάτων, με σημαντικότερα από αυτά τα ενεργά ρήγματα του Αγ. Μηνά - Χαλκίδας, της Αυλίδας και του Λευκαντίου (*Rondoyanni et al. 2007*). Στο *Σχήμα 2.10* παρουσιάζονται τα σημαντικά ρήγματα της περιοχής (*Metaxas 2008*). Από τα τρία αυτά ρήγματα, το πρώτο, με προσανατολισμό ABA - ΔΝΔ και νότια κλίση εκτείνεται από τη χερσόνησο της Δροσιάς μέχρι βόρεια από τη Χαλκίδα. Τα άλλα δύο είναι παράλληλα **αντιθετικά ρήγματα** (antithetic faults) με προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ, που οριοθετούν το αρχικό τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου στη Στερεά Ελλάδα και την Εύβοια αντίστοιχα (*Rondoyanni et al. 2007*).

Ο Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος είναι μια επιμήκης, ρηχή λεκάνη (βάθος < 250 m), με προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ, μήκος 60 km και πλάτος περίπου 15 km, που εκτείνεται δυτικά από τη Χαλκίδα μέχρι τη νήσο Στύρα ανατολικά. Φαίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της τάφρου αναπτύχθηκε μέσα στο τελευταίο 1 My (*Σχήμα 2.10*). Κατά μήκος της ακτής του Νότιου Ευβοϊκού αναπτύσσεται ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων με γωνία βύθισης προς βορρά με σημαντική κατάτμηση, που επηρεάζει την μορφολογία και τη διαμόρφωση των ακτών (*Goldsworthy and Jackson 2001*).



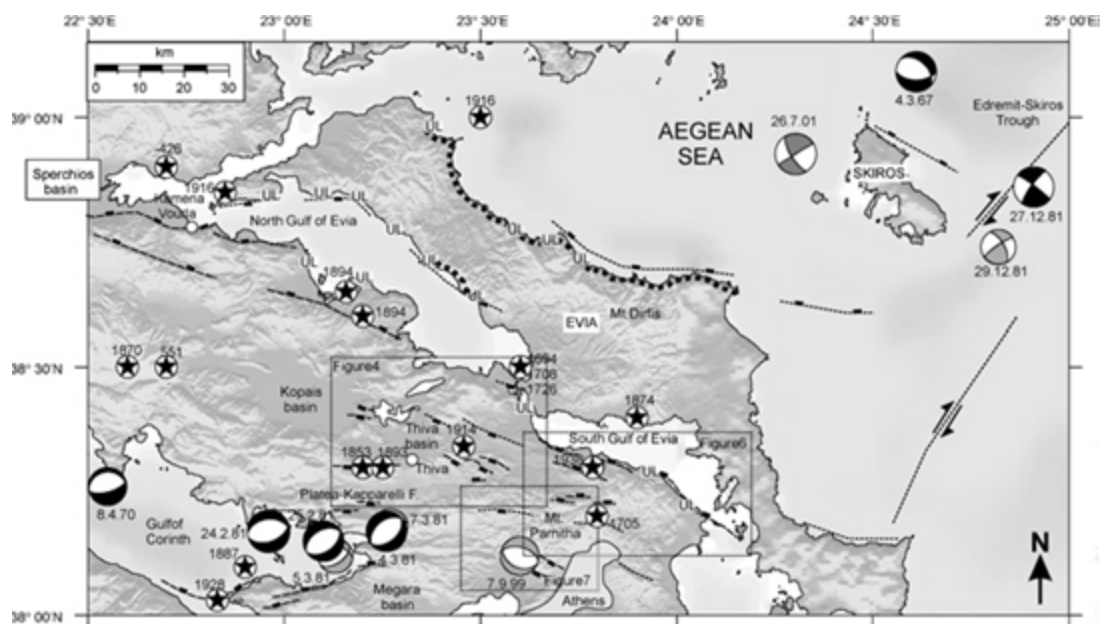
Σχήμα 2.10: Τεκτονικό υπόβαθρο και σεισμοί με μέγεθος $M \geq 6$ στον Κεντρικό και Νότιο Ευβοϊκό. Με μαύρες συνεχείς γραμμές αποδίδονται τα νεοτεκτονικά ρήγματα, με τις εγκάρσιες γραμμώσεις να δηλώνουν τη διεύθυνση βύθισης. Τα επίκεντρα των σεισμών σημειώνονται με αστέρια (Metaxas 2008).

Figure 2.10: Tectonic scheme and strong ($M \geq 6$) earthquakes epicenter map of Central and South Gulf of Evia. Black solid lines represent active neotectonic faults with barbs towards the subsided block. Stars depict the location of strong ($M \geq 6$) earthquake epicenters (Metaxas 2008).

Μέχρι την πρώιμη Ολόκαινο ο Νότιος Ευβοϊκός ήταν χωρισμένος σε δύο διακριτές λεκάνες μέσω ενός **εγκάρσιου αυχένα** (transverse ridge) από την Ερέτρια μέχρι τον Ωρωπό. (Goldsworthy and Jackson 2001) (Σχήμα 2.10) Φαίνεται ότι ο αυχέννας αυτός διαχωρίζει διαφορετικές γεωλογικές δομές και οριοθετεί τη μεταβολή του μέσου προσανατολισμού της λεκάνης του Νότιου Ευβοϊκού από Α - Δ σε ΒΔ - ΝΑ. Επιπλέον διαχωρίζει τα ρήγματα με προσανατολισμό Α - Δ στο δυτικό τμήμα, όπως τα ρήγματα Λευκαδίου και Ωρωπού, από τα ρήγματα με προσανατολισμό ΒΔ - ΝΑ στην ανατολική πλευρά της λεκάνης (Metaxas 2008).

Ένα από τα σημαντικά ρήγματα της περιοχής είναι το ρήγμα του Ωρωπού, που αποτελείται από δύο τμήματα με το νοτιότερο να θεωρείται ενεργό, αφού συνδέεται κατά πάσα πιθανότητα με το σεισμό του 1938 ($M_s = 6.1$) (Ambraseys and Jackson 1990).

Η λεκάνη των Θηβών, στη Στερεά Ελλάδα, εκτείνεται ανάμεσα στα δύο βασικά συστήματα τάφρων, του Κορινθιακού και του Ευβοϊκού. Τα ρήγματα της περιοχής παραμένουν κανονικά και με προσανατολισμούς ΔΒΔ - ΑΝΑ έως και Α - Δ, και εντοπίζονται



Σχήμα 2.11: Μεγάλα ρήγματα και σεισμοί στην περιοχής Θήβας - Εύβοιας (Stiros et al. 1992).

Figure 2.11: Major faults and earthquakes in the Thiva - Evia region (Stiros et al. 1992).

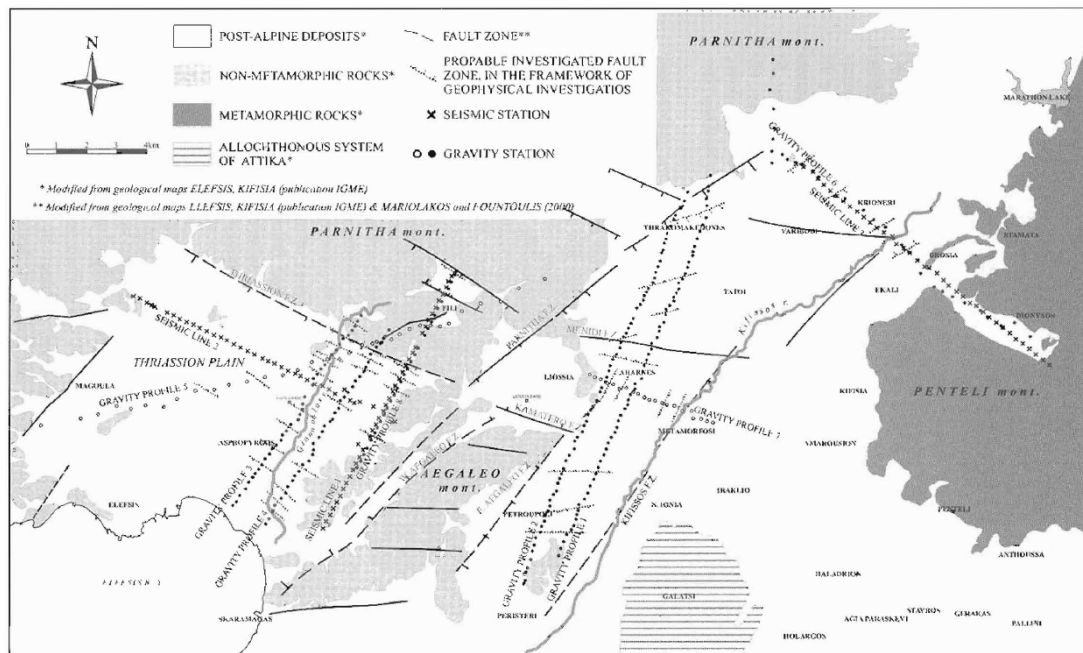
από τη περιοχή του Καπαρελλίου, δυτικά, μέχρι τον Νότιο Ευβοϊκό. Είναι πιθανόν να είναι υπεύθυνα για μια σειρά ιστορικών σεισμών στη περιοχή (Σχήμα 2.11). Ένα από τα γνωστά συστήματα ρηγμάτων είναι αυτό των Πλαταιών - Καπαρελλίου, που έδωσε το σεισμό του 1981 και το Α - Δ ρήγμα του Λεονταρίου, που πιθανά έδωσε τον σεισμό του 1893 (Ambraseys and Jackson 1990). Αναφέρονται δύο ακόμη καταστροφικοί σεισμοί στη περιοχή της Θήβας το 1853 (Ambraseys and Jackson 1997, Goldsworthy and Jackson 2001).

Βορειότερα από τη Θήβα συναντάται το σύστημα ρηγμάτων της Υλίκης, με ρήγματα μήκους λίγων χιλιομέτρων, που είναι απίθανο να δώσουν μεγάλο μεγέθους σεισμούς ($M_s > 6$) (Goldsworthy and Jackson 2001) (Σχήμα 2.11). Νοτιοανατολικά της Θήβας, κοντά στην Καλλιθέα και σε περιοχή με ήπιο ανάγλυφο, εντοπίζεται άλλο ένα σύστημα ρηγμάτων με προσανατολισμό περίπου παράλληλο με τα ρήγματα της λίμνης Υλίκης. Στη περιοχή αυτή εκδηλώθηκε σεισμός το 1914 ($M_s = 6.2$) (Ambraseys and Jackson 1990) (Σχήμα 2.6).

Παρ' όλο που στη λεκάνη των Θηβών και στο Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο εκδηλώθηκαν, τα τελευταία 300 χρόνια, τουλάχιστον δέκα σεισμοί με $M_s > 6$, η περιοχή της Αττικής παρέμενε σχετικά ανεπηρέαστη από σεισμούς μέχρι τον σεισμό του Σεπτεμβρίου 1999. Συνεπώς, η Αττική εθεωρείτο ζώνη χαμηλού σεισμικού κινδύνου, λόγω της απουσίας μεγάλου μεγέθους σεισμών από το 1900 και μετά, που ξεκίνησε η περίοδος των ενόρ-

γανων καταγραφών. Παράλληλα, η απουσία ιστορικών αναφορών για σημαντικές καταστροφές των Αθηνών από σεισμούς και το γεγονός ότι πολλά από τα αρχαία μνημεία διατηρούνται ανέπαφα, είχαν σαν συνέπεια να καταταχθεί η πόλη σε ζώνη χαμηλής σεισμικότητας κατά το σεισμικό κώδικα του 1959 (Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός 1959). Ωστόσο, υπάρχουν ιστορικές αναφορές για σημαντικές καταστροφές στην Αθήνα από σεισμούς, όπως αυτόν του 1705 και τον σεισμό του 1894, που εκδηλώθηκε στο ρήγμα της Αταλάντης. Μετά όμως από τον σεισμό του 1981 (Αλκυονίδες νήσοι, Κορινθιακός) και τον σεισμό του 1999 (Πάρνηθα), η πόλη των Αθηνών κατατάχθηκε σε υψηλότερη ζώνη σεισμικότητας (Ζώνη II) (Louvari and Kiratzi 2001).

Η περιοχή που επηρεάστηκε από τον σεισμό του 1999 ($M_s = 5.9$) χαρακτηρίζεται από σύνθετη αλπική δομή, που αποτελείται κυρίως από δύο βασικούς τύπους πετρωμάτων: τα Μεσοζωικά μεταμορφικά της Αττικής, που εμφανίζονται στην Πεντέλη και τον Υμηττό, καθώς και στην ευρύτερη έκταση της Ανατολικής Αττικής και τα Μεσοζωικά μη-μεταμορφικά πετρώματα της Ανατολικής Ελλάδας που συναντώνται, κυρίως, στην Πάρνηθα και στο Αιγάλεω όρος (Σχήμα 2.12) (Papadopoulos et al. 2007).



Σχήμα 2.12: Γεωλογικός Χάρτης της περιοχής της Αττικής (Papadopoulos et al. 2007).

Figure 2.12: Geological map of Attica (Papadopoulos et al. 2007).

Σχετικά με την Νεοτεκτονική της ευρύτερης περιοχής της Αττικής θα πρέπει να σημειω-

θεί ότι αυτή παρουσιάζει μια σύνθετη μετα-αλπική μορφοτεκτονική δομή, που συντίθεται από τα ακόλουθα μεγάλα βασικά τμήματα: τα τεκτονικά κέρατα (horsts) των βουνών Πάρνηθα, Αιγάλεω, Υμηττός και Πεντέλη και τις τεκτονικές τάφρους (graben ή rifts) του Θριάσιου Πεδίου και της λεκάνης της Δυτικής Αθήνας. Ανάμεσα σ' αυτά τα βασικά τμήματα μπορούν να εντοπισθούν μικρότερα κέρατα και τάφροι, με συνέπεια η γεωμετρία αυτών των δομών να είναι περίπλοκη. Οι σημαντικές ζώνες ρηγμάτων που αναγνωρίζονται είναι: η ζώνη του Κηφισού ποταμού, η ζώνη των Δυτικού Αιγάλεω - Πάρνηθας και η ζώνη του Θριάσιου - Καματερού. Οι δύο πρώτες ζώνες έχουν προσανατολισμό των ρηγμάτων ΒΑ - ΝΔ, ενώ η τρίτη έχει ΔΒΔ - ΑΝΑ (Papadopoulos et al. 2007).

Όπως γίνεται αντιληπτό από τις προηγούμενες παραγράφους τα συστήματα τάφρων της Κεντρικής Ελλάδας οριοθετούνται από, κατά πλειοψηφία, υποπαράλληλες συστοιχίες κανονικών ρηγμάτων, που εκτείνονται από τον Κορινθιακό Κόλπο μέχρι και την Εύβοια (Σχήμα 2.6). Γεωτεκτονικές και γεωμορφολογικές παρατηρήσεις για την περιοχή αυτή δείχνουν ότι τα ρήγματα αυτά παρουσιάζουν φαινόμενα μετανάστευσης (fault migration). Έτσι, μέσα στα συστήματα των υποπαράλληλων ρηγμάτων η δραστηριότητα δεν κατανέμεται ομοιόμορφα κατά την διάρκεια της διαστολής, αλλά μεταναστεύει από το ένα σύστημα ρηγμάτων στο άλλο, είτε μόνιμα, είτε περιστασιακά. Τέτοιες μεταβολές εκδηλώνονται σε χρονικές κλίμακες που θεωρούνται ταχείες συγκρινόμενες με την γεωχρονολόγηση του υποκείμενου παλαιότερου αναγλύφου της περιοχής. Η μετανάστευση της δραστηριότητας των ρηγμάτων σε χωροχρονικές κλίμακες που ενδιαφέρουν (10 - 20 km και < 1 My) είναι πολύ πιο εύκολο να μελετηθεί σε δομές που παρουσίασαν δραστηριότητα στην πρόσφατη Τεταρτογενή Περίοδο, γιατί μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρατηρήσεις σεισμολογικές, γεωμορφολογικές της γεωμετρίας των ρηγμάτων, καθώς και σχετικές υψομετρικές μεταβολές (Goldsworthy and Jackson 2001).

Η μετανάστευση των κανονικών ρηγμάτων δεν είναι καινούργια παρατήρηση, ανάλογα φαινόμενα έχουν εντοπισθεί και σε άλλες περιοχές του κόσμου. Σε αρκετές περιπτώσεις, στην ηπειρωτική Ελλάδα και την Δυτική Τουρκία, κανονικά ρήγματα, που ανήκουν στην ζώνη που υπόκειται σε διαστολή, έχουν μεταναστεύσει, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μετανάστευση είναι μια σημαντική διαδικασία. Παρ' όλο που ο μεγαλύτερος σημερινός ρυθμός διαστολής εμφανίζεται στον Κορινθιακό Κόλπο, η μετανάστευση των ρηγμάτων παρατηρείται επίσης στον Ευβοϊκό Κόλπο και στην Βόρεια Ελλάδα, με ρυθμό όμως διαστολής, πιθανά δέκα φορές μικρότερο. Στην Κεντρική Ελλάδα, η μετανάστευση ρηγμάτων που παρατηρείται, μπορεί να θεωρηθεί ταχεία, με την μεταβολή

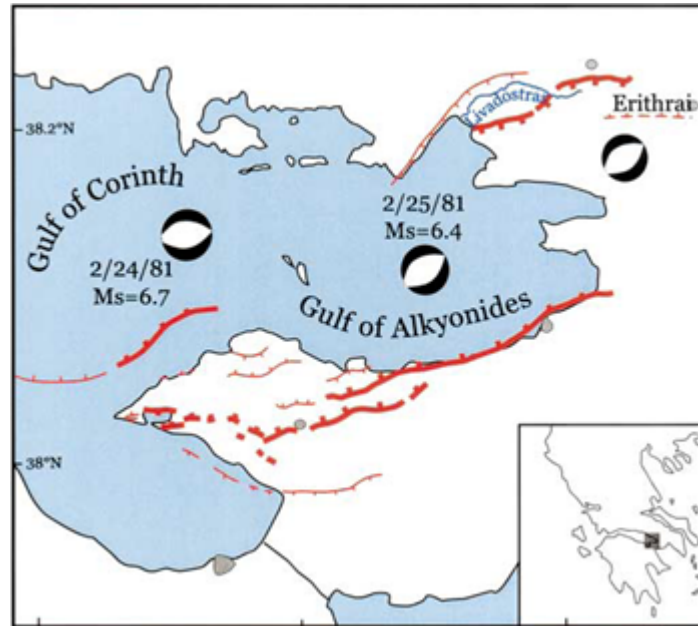
από το ένα σύστημα ρηγμάτων, στο επόμενο να εκδηλώνεται μέσα σε 1 My (*Goldsworthy and Jackson 2001*).

Στην περίπτωση της Κεντρικής Ελλάδας το σημερινό πεδίο μέσων ταχυτήτων, όπως προσδιορίστηκε από παρατηρήσεις GPS (*Clarke et al. 1998, McClusky et al. 2000*), δείχνει προσανατολισμό ΝΔ. Μια τέτοια συμπεριφορά μπορεί να ερμηνευθεί από την παρουσία μπλοκ, που έχουν σαν όρια τα υπάρχοντα συστήματα ρηγμάτων και κινούνται δεξιόστροφα. Έτσι, τα διανύσματα ολίσθησης (slip vectors) των ρηγμάτων έχουν προσανατολισμό περίπου Β - Ν, σε αντίθεση με τον ΝΔ προσανατολισμό των διανυσμάτων μετακίνησης των σταθμών GPS στα μπλοκ ως προς σταθερή Ευρώπη (*Taymaz et al. 1991, Jackson 1994*). Η απόκλιση αυτή μπορεί να οφείλεται στο ότι, είτε το σύστημα ρηγμάτων ή το πεδίο ταχυτήτων μεταβάλλεται με τον χρόνο. Με δεδομένο ότι το συνεχές πεδίο ταχυτήτων του Ελλαδικού χώρου φαίνεται να ελέγχεται από δυνάμεις που δρουν σε μεγαλύτερη χωροχρονική κλίμακα από αυτές που ασκούνται στα μπλοκ, το πιθανότερο είναι ότι τα ρήγματα μεταβάλλονται με το χρόνο. Δηλαδή τα ρήγματα μεταναστεύουν με το χρόνο και σε κάποιες περιπτώσεις αλλάζουν και προσανατολισμό, με συνέπεια τα σύνορα των μπλοκ να μεταβάλλονται, προκειμένου να διατηρηθούν τα γενικά χαρακτηριστικά του σημερινού πεδίου ταχυτήτων (*Goldsworthy and Jackson 2001*). Εφόσον, λοιπόν, χρησιμοποιούνται επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις GPS για τη μελέτη των μετακινήσεων (πεδία ταχυτήτων), είναι πιθανό ο προσανατολισμός αυτών των πεδίων να αποκλίνει από την διεύθυνση της κίνησης που εντοπίζεται στα ρήγματα μιας περιοχής. Τέτοιες αποκλίσεις θα μπορούσαν να ερμηνευθούν από το φαινόμενο της μετανάστευσης των ρηγμάτων και ιδιαίτερα, όταν παρατηρούνται σε περιοχές που παρουσιάζουν τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά που διαθέτει η Κεντρική Ελλάδα.

Από όσα αναφέρθηκαν για την Κεντρική Ελλάδα είναι φανερό το ενδιαφέρον να αναζητηθούν μηχανισμοί συσχέτισης των δύο βασικών τεκτονικών τάφρων της περιοχής, του Κορινθιακού και του Ευβοϊκού Κόλπου. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία διερευνά την κινηματική συμπεριφορά της περιοχής αυτής και ειδικότερα, εξετάζεται η παραμόρφωση στο τρίγωνο που σχηματίζεται από τα μεγάλα ρήγματα του Καπαρελλίου, της Αταλάντης και της Πάρνηθας. Ας σημειωθεί ότι η επιλογή της περιοχής αυτής έγινε με κριτήριο την αυξημένη επικινδυνότητα που παρουσιάζει, γιατί βρίσκεται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, έχει δώσει σημαντικούς σεισμούς με απώλειες σε ανθρώπινο δυναμικό και εκτεταμένες ζημιές και διαθέτει πυκνές και επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις GPS.

2.2.1 Το ρήγμα του Καπαρελλίου

Το ρήγμα του Καπαρελλίου αποτελείται από τρία τμήματα, σε δύο από τα οποία παρατηρήθηκε η διάρρηξη του 1981 (*Jackson et al. 1982*). Η επιφανειακή εκδήλωση των τμημάτων του ρήγματος οριοθετείται από σχεδόν συνεχόμενα ευδιάκριτα μέτωπα (scraps ή escarpments). Τα δυο αυτά τμήματα έχουν μήκος περίπου 5 km το καθένα και βρίσκονται ανατολικά και δυτικά του Καπαρελλίου (*Benedetti et al. 2003*).

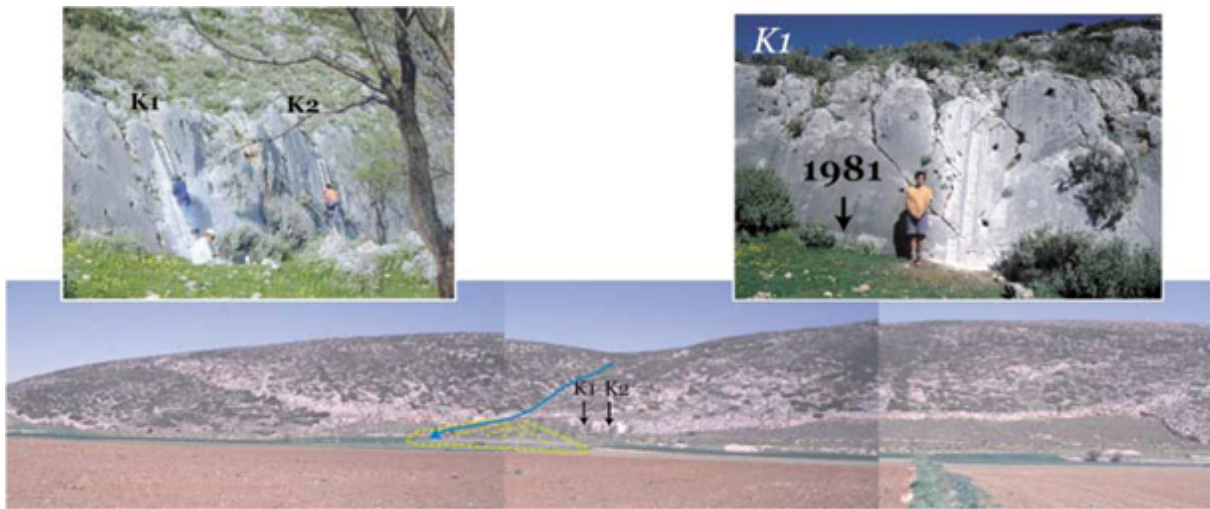


Σχήμα 2.13: Επίκεντρα σεισμικής ακολουθίας για τον σεισμό του 1981 διαμορφωμένα από *Hubert et al. (1996)*. Τα ρήγματα που ανήκουν στην εποχή του Τεταρτογενούς είναι σχεδιασμένα με κόκκινο, ενώ για όσα έχουν μετακινηθεί με τον σεισμό του 1981 οι γραμμές είναι πιο έντονες. Οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών έχουν υπολογιστεί με βάση τη λίστα του πανεπιστημίου του Harvard (<http://www.seismology.harvard.edu/data/>). Ο χάρτης είναι από *Benedetti et al. (2003)*.

Figure 2.13: Map of the epicentral region of the 1981 Gulf of Corinth earthquake sequence, modified from *Hubert et al. (1996)*. Quaternary faults are in red, with the ones known to have moved in 1981 indicated by bold lines. Earthquake fault plane solutions are from Harvard (<http://www.seismology.harvard.edu/data/>) (*Benedetti et al. 2003*).

Το ανατολικό ρήγμα του Καπαρελλίου αναπτύσσεται κατά μήκος της νότιας άκρης ενός μικρού λόφου, με υψόμετρο 385 m που εκτείνεται από ανατολή προς δύση, βόρεια του ποταμού Λιβαδώστρα. Η μακροχρόνια δραστηριότητα αυτού του τμήματος του ρήγματος εκδηλώνεται με την παρουσία νέων ιχνών που τέμνουν το ασβεστολιθικό και

κροκαλοπαγές υπόβαθρο. Το κύριο μέτωπο του ρήγματος εκτείνεται 4 Km, έχει μεγάλη κλίση (68° - 75°) και παρουσιάζει λειασμένες ρηξιγενείς επιφάνειες (Σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.14: Το νότιο τμήμα του ρήγματος του Καπαρελλίου (*Benedetti et al. 2003*).

Figure 2.14: The south part of the Kaparelli fault (*Benedetti et al. 2003*).

Το μέγιστο ύψος του μετώπου είναι 4-5 m και μειώνεται προοδευτικά προς τα άκρα. Εκτός από κοντινές ρεματιές δεν υπάρχει ένδειξη για διάβρωση ή απόθεση στην επιφάνεια της οροφής του ρήγματος από την στιγμή που άρχισε να σχηματίζεται το μέτωπο (Σχήμα 2.14).

Κατά μήκος του δυτικού τμήματος του ρήγματος, υπάρχει ένα μέτωπο που έχει εμφανιστεί πριν τον σεισμό του 1981. Το ότι το μέγιστο ύψος αυτού του μετώπου δεν είναι παραπάνω από 1 m, σημαίνει πως αυτό το τμήμα δεν θα μπορούσε να έχει υποδεχτεί περισσότερο από ένα ή το πολύ δύο από προηγούμενα σεισμικά επεισόδια. Το ρήγμα του Λιβαδώστρα, που δεν ενεργοποιήθηκε το 1981, σχηματίζει ένα μέτωπο με ύψος μέχρι τα 400 m. Αυτή η ανύψωση βρίσκεται βόρεια από τον ποταμό Λιβαδώστρα και είναι από τους πιο σημαντικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζουν την μορφολογία της περιοχής (*Benedetti et al. 2003*).

Την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου του 1981 (Σχήμα 2.7) μια αλληλουχία τριών σεισμών (γνωστοί ως οι σεισμοί των Αλκυονίδων), με μέγεθος του κύριου σεισμού $M_s = 6.3$, εκδηλώθηκε στην ανατολική περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου (*Hubert et al. 1996*). Η σεισμική αυτή ακολουθία, ήταν η πρώτη περίπτωση συστήματος κανονικών ρηγμά-

των που μελετήθηκε με ταυτόχρονη αξιοποίηση δεδομένων που αφορούν τις επιφανειακές διαρρήξεις, την γεωμορφολογία της περιοχής, τις μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις των κατακόρυφων μετατοπίσεων μεγάλης χρονικής διάρκειας, τους μηχανισμούς γένεσης σεισμών καθώς και στοιχεία συνθετικών σειсмоγραφημάτων (*Jackson et al. 1982, Stiros et al. 2007*).

Η σεισμική αλληλουχία των Αλκυονίδων συνδέθηκε με επιφανειακές ρηγματώσεις και κατακόρυφες μετατοπίσεις στα ρήγματα της Περαχώρας και του Καπαρελλίου (*Jackson et al. 1982, Stiros et al. 2007*). Αμέσως μετά τους δύο σεισμούς παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις με βόρεια διεύθυνση στη νότια πλευρά της περιοχής (Περαχώρα), ενώ ρηγματώσεις με νότια διεύθυνση δημιουργήθηκαν στην βόρεια πλευρά του Κόλπου (Περιοχή Καπαρελλίου), ως αποτέλεσμα του τρίτου σεισμού. Το ρήγμα του Καπαρελλίου φαίνεται ότι ήταν ανενεργό για 10.000 χρόνια έως το 1981 (*Benedetti et al. 2003*).

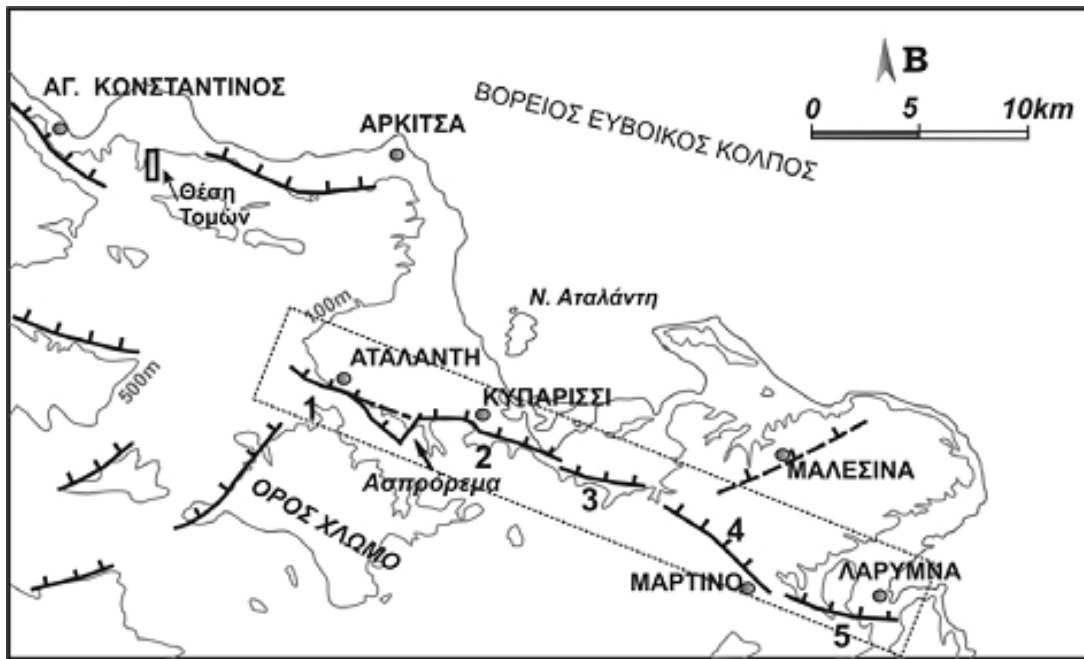
Μηχανισμοί γένεσης από μικρούς και επιφανειακούς σεισμούς (δεδομένα από *Ambraseys and Jackson (1990)*) υποδηλώνουν την παρουσία επίσης ορθών ρηγμάτων στην ανατολική πλευρά του Κορινθιακού Κόλπου με γωνία βύθισης περίπου 45° μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και το Καπαρέλλι (*Pavlidis et al. 2003*).

2.2.2 Το ρήγμα της Αταλάντης

Το ρήγμα της Αταλάντης είναι ένα ενεργό κανονικό ρήγμα, στην Κεντρική Ελλάδα, με μέσο αζιμούθιο (strike) N290°E και κλίση σε διεύθυνση ΒΑ (*Rondoyanni 1984*). Το ρήγμα είναι σχηματισμός του κατωτέρου Τεταρτογενούς Πλειόκαινου και αποφορτίζει τη διαστολή που εκδηλώνεται εγκάρσια του Ευβοϊκού Κόλπου (*Karastathis et al. 2007*).

Το ρήγμα της Αταλάντης ανήκει σε μια ευρύτερη ρηξιγενή περιοχή η οποία αρχίζει από το ρέμα του Καραγκιόζη, το οποίο βρίσκεται βόρεια από την πόλη της Αταλάντης και συνεχίζει προς το Ασπρόρεμα - Κυπαρίσσι καταλήγοντας στο Μαρτίνο και πιθανά στη Λάρυμνα. Το συνολικό μήκος της ζώνης αυτής δεν ξεπερνά τα 30 Km (*Ganas et al. 1998, Pantosti et al. 2001, Pavlidis et al. 2004*) και αποτελείται από πέντε επιμέρους τμήματα: (1) της Αταλάντης, (2) του Κυπαρισσιού - Αλμύρας, (3) της Τραγάνας - Προσκυνά, (4) του Μαρτίνου και (5) της Λάρυμνας. Η διαίρεση αυτή στηρίχτηκε σε έρευνες υπαίθρου και μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά, σε δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες και τοπογραφικούς χάρτες (*Pavlidis et al. 2004*). Τα επιμέρους τμήματα του ρήγματος παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.15.

Ένας από τους πιο καλά τεκμηριωμένους σεισμούς της ιστορικής περιόδου για την ευ-



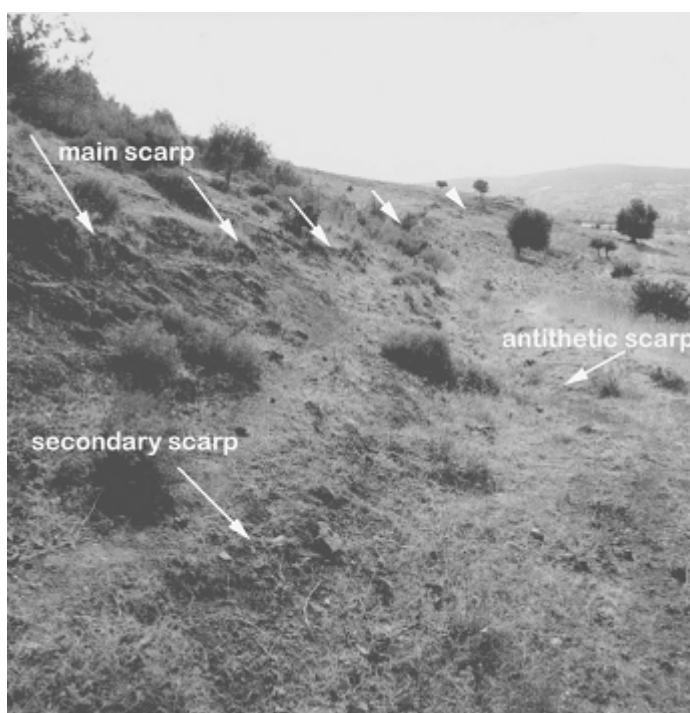
Σχήμα 2.15: Η ρηξιγενής ζώνη της Αταλάντης και τα επιμέρους τμήματα στα οποία διαχωρίζεται: (1) Αταλάντη, (2) Κυπαρίσσι - Αλμύρα, (3) Τραγάνα - Προσκυνάς, (4) Μαρτίνο και (5) Λάρυμνα (Pavlidis et al. 2004).

Figure 2.15: The Rift zone of Atalanti and its segments: (1) Atalanti, (2) Kyparissi - Almira, (3) Tragana - Proskynas, (4) Martino and (5) Larymna (Pavlidis et al. 2004).

ρύτερη περιοχή της Μεσογείου, εκδηλώθηκε το 1894 και συνδέεται με το ρήγμα της Αταλάντης. Παρ' όλο που παρατηρήθηκαν σημαντικές επιφανειακές ρηγματώσεις που αποδίδονται σε αυτό το σεισμικό επεισόδιο, υπάρχουν πολλές πτυχές που παραμένουν ασαφείς για την επιστημονική κοινότητα (Pantosti et al. 2001).

Στην περιοχή της Λοκρίδας εκδηλώθηκαν δυο μεγάλα σεισμικά γεγονότα, τα οποία έλαβαν χώρα με διαφορά μιας εβδομάδας: το ένα στις 20 Απριλίου και το άλλο στις 27 Απριλίου του 1894. Η μετασεισμική ακολουθία ήταν έντονη. Είναι επιστημονικά κοινώς αποδεκτό πως το ρήγμα της Αταλάντης είναι συνδεδεμένο με αυτή την σεισμική εκτόνωση. Σύμφωνα με τους Ambraseys and Jackson (1990) ο πρώτος σεισμός ήταν μικρότερου μεγέθους, $M_s = 6.4$, ενώ ο δεύτερος της τάξης των $M_s = 6.9$. Οι Makropoulos and Kouskouna (1994) καθώς και οι Parazachos and Parazachou (1997), υποστηρίζουν πως οι σεισμοί ήταν μεγαλύτεροι, 6.7 και 7 και 6.7 και 7.2 αντίστοιχα. Οι παραπάνω συγγραφείς συμφωνούν στον υπολογισμό του μακροσεισμικού επικέντρου του δεύτερου και μεγαλύτερου σεισμικού επεισοδίου, το οποίο προσδιορίζουν λίγα χιλιόμετρα ΒΑ της Αταλάντης, αλλά σε σχέση με το επίκεντρο του πρώτου σεισμού δεν υπάρχει συμφωνία.

Οι ανθρώπινες απώλειες ήταν περισσότερες από 250, τραυματίστηκαν πολλές εκατοντάδες άνθρωποι και καταστράφηκαν πολλά σπίτια, αναδεικνύοντας τη σεισμική αυτή ακολουθία ιδιαίτερα σημαντική στην πρόσφατη Ελληνική ιστορία (*Mitsopoulos 1895, Ganas et al. 2007, Pantosti et al. 2001*). Από τον πρώτο σεισμό καταγράφηκαν ζημιές μεταξύ Αρκίτσας και Λάρυμνας, ενώ από τον δεύτερο οι ζημιές εκτείνονται βορειότερα από την Λάρυμνα μέχρι τον Άγιο Κωνσταντίνο. Οι συγγραφείς της εποχής αναφέρουν επιφανειακές διαρρήξεις, κατολισθήσεις και σημαντικές αλλαγές του αναγλύφου με συμφωνία για τη θέση και το μέγεθος τους. Στο Σχήμα 2.16 παρουσιάζεται το μέτωπο του ρήγματος.



Σχήμα 2.16: Εικόνα από το μέτωπο του ρήγματος NA του Κυπαρισσίου. Αυτή η φωτογραφία τραβήχτηκε την δεκαετία του 1970, 80 χρόνια μετά τον σεισμό (*Pantosti et al. 2001*). Photo courtesy of J. Tchalenko.

Figure 2.16: View of the 1894 fault scarp SE of Kiparissi. This photo was taken in the 1970s, about 80 years after the earthquake (*Pantosti et al. 2001*). Photo courtesy of J. Tchalenko.

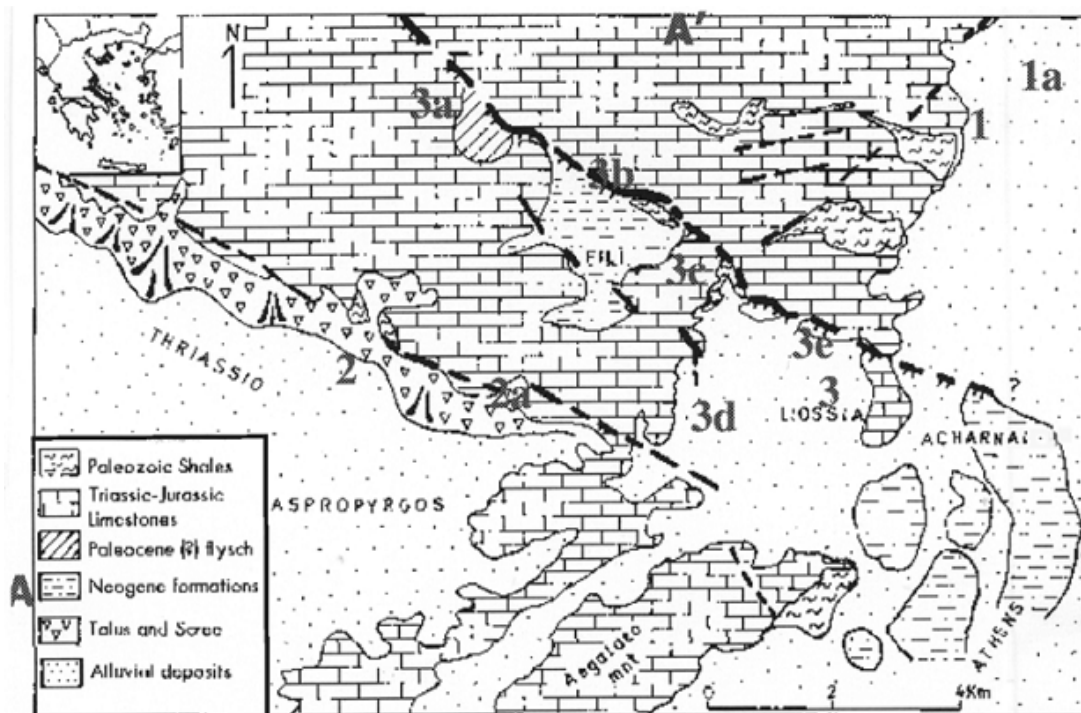
2.2.3 Το ρήγμα της Πάρνηθας

Το όρος της Πάρνηθας βρίσκεται ανάμεσα σε δυο Τεταρτογενούς περιόδου συστήματα τάφρων της Κεντρικής Ελλάδας: την τάφρο του Κορινθιακού Κόλπου και την αντίστοιχη του Ευβοϊκού. Το υψόμετρο της Πάρνηθας φτάνει στα 1400 m (ΓΥΣ, 1978) και συνορεύει βόρεια με τη ρηγματογενή ζώνη Καπαρελλίου - Ωρωπού (*Ganas et al. 2004*). Η συγκεκριμένη ζώνη, όπως αναφέρθηκε, σχετίζεται τα τελευταία περίπου 120 χρόνια (1893, 1938, 1981) με την πρόκληση τριών μεγάλων σεισμικών επεισοδίων ($M_s > 6$ Richter) (*Ambraseys and Jackson 1990, Ganas et al. 2004*).

Η κινηματική των ρηγμάτων της Πάρνηθας παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με την χαμηλής ανηγμένης παραμόρφωσης περιοχή του Ευβοϊκού Κόλπου (*Ganas et al. 2004*). Αυτή η διαπίστωση μπορεί μακροπρόθεσμα να είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση της σεισμικής επικινδυνότητας της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου των Αθηνών (*Pavlidis et al. 2002*). Το γεγονός ότι η περιοχή αυτή είναι ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένη είναι ένα από τα σημαντικά κριτήρια για να συμπεριληφθεί για περαιτέρω μελέτη στην παρούσα εργασία. Στην ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας τα σημαντικότερα ρήγματα είναι αυτά του Θριασίου Πεδίου και της Φυλής. Μπορεί να τα διακρίνει κανείς καθαρά από δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες. Και τα δύο είναι γεωλογικές δομές με προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ και κλίση βύθισης ΝΑ (*Σχήμα 2.17, Σχήμα 2.18*). Το ρήγμα του Θριασίου πεδίου είναι το βόρειο όριο της λεκάνης του Θριασίου πεδίου (ή του Ασπροπύργου) ενώ το ρήγμα της Φυλής εκτείνεται σχεδόν παράλληλα 5 Km βορειανατολικά του προηγούμενου.

Το ρήγμα του Θριασίου πεδίου τερματίζει στο όρος Αιγάλεω, ενώ το ρήγμα της Φυλής είναι πιθανό να εκτείνεται προς το λεκανοπέδιο των Αθηνών. Με δεδομένα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους και τα δύο κανονικά ρήγματα ΒΔ - ΝΑ προσανατολισμού μπορούν να θεωρηθούν ως «πιθανοί ενεργοί γεωλογικοί σχηματισμοί» (*Pavlidis et al. 2002*).

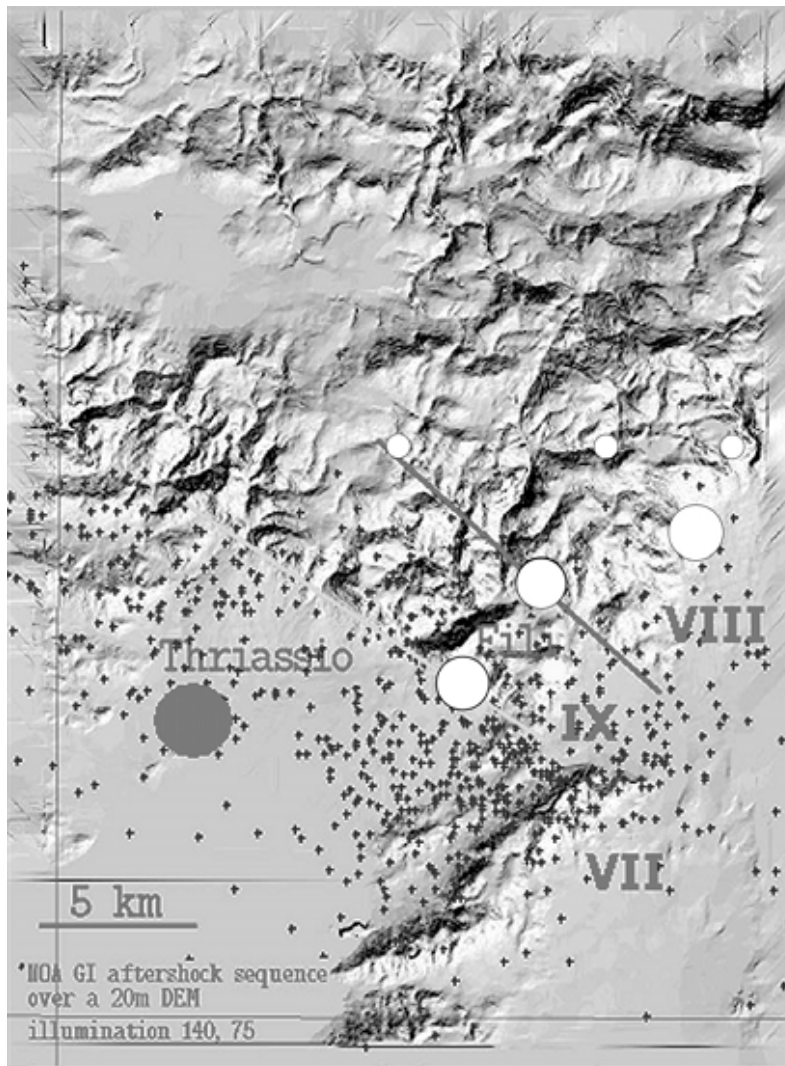
Στις 7 Σεπτεμβρίου του 1999, στις 14:56:50 ώρα Ελλάδας, εκδηλώθηκε στην περιοχή της Αττικής ένας σεισμός μεγέθους $M_s = 5.9$ που είχε σαν αποτέλεσμα να προκληθούν μεγάλες ζημιές στην πόλη των Αθηνών. Τόσο για το επίκεντρο όσο και ιδιαίτερα, για το βάθος του σεισμού έχουν δημοσιευτεί αποκλίνουσες εκτιμήσεις από διάφορα ινστιτούτα (*Pavlidis et al. 2002*). Η διάρρηξη του κύριου σεισμικού επεισοδίου είχε διεύθυνση ΔΒΔ - ΑΝΑ με κλίση βύθισης γύρω στις 40° ΝΝΔ. Η κίνηση του ρήγματος ήταν κανονική με υποχώρηση του ΝΔ τμήματος, το οποίο βρίσκεται στο Κόλπο του Σαρωνικού. Η γεωμετρία αυτή του ρήγματος επιβεβαιώνεται από την διασπορά των μετασει-



Σχήμα 2.17: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Νότια Πάρνηθα - Δυτική Αττική) όπου παρουσιάζονται τρία (1, 2, 3) νεοτεκτονικά ρήγματα: 1. Ρήγμα με ΒΑ - ΝΔ διεύθυνση, στους ανατολικούς πρόποδες της Πάρνηθας (με διακεκομμένη γραμμή), 2. Το ρήγμα του Θριασίου Πεδίου (διακεκομμένη γραμμή) 3. Το ρήγμα της Φυλής που είναι πιθανά σεισμογενής δομή (παχιά γραμμή με διακοπές) (Pavlidis et al. 2002).

Figure 2.17: Simplified geological map of the study area (southern Parnitha mountain - western Attica district), where three normal neotectonic faults (1, 2, 3) are shown: 1. NE - SW trending fault of the eastern marginal foothills of Mt. Parnitha (western Athens basin) as dashed line; 2. Thriassion neotectonic fault as dashed line; 3. Fili fault, which is the possible seismogenic structure, as thick line with ticks (Pavlidis et al. 2002).

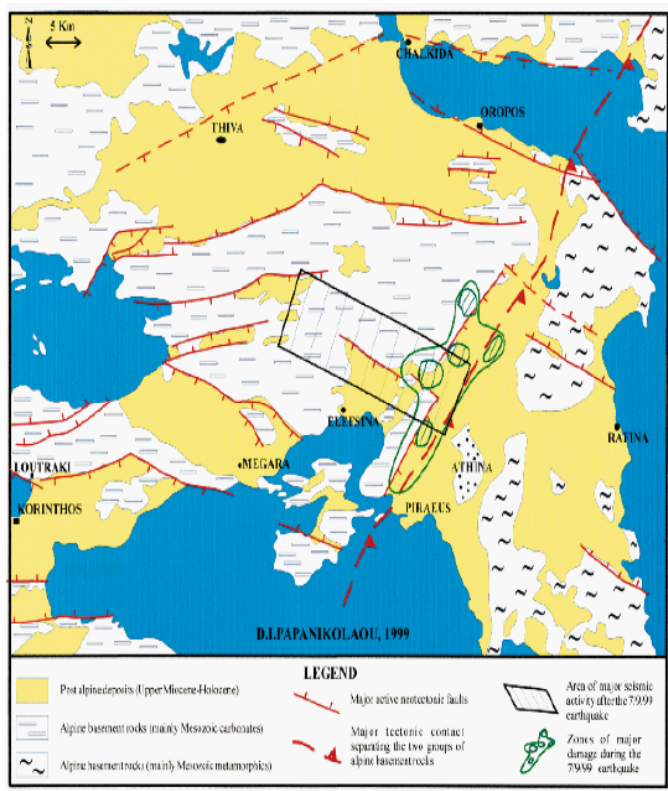
σμών, η οποία σχηματίζει ένα παραλληλόγραμμο όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.19. Η σεισμική διάρρηξη συνέβη σε βάθος 15-20 Km χωρίς να εμφανιστεί ίχνος στην επιφάνεια. Μια ελάχιστη ένδειξη επιφανειακής διάρρηξης παρατηρήθηκε ΝΔ της Πάρνηθας και ΒΔ της Φυλής μέσα στο αλπικό υπόβαθρο, κατά μήκος πολλών εκατοντάδων μέτρων, ενώ παρατηρήθηκαν πτώσεις βράχων στην ευρύτερη περιοχή. Είναι αξιοσημείωτο πως αυτή η σεισμική διάρρηξη έχει τον ίδιο προσανατολισμό με αυτή του ρήγματος που έδωσε τον σεισμό, δηλαδή ΔΒΔ - ΑΝΑ αλλά αντίθετη κλίση βύθισης ΒΒΑ. Οι υπόλοιπες διαρρήξεις που παρατηρήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή δεν είναι σεισμογενείς, αλλά αφορούν σχισμές σε ασταθείς εδαφικές πλαγιές ή ρηγματώσεις σε ασυνέχειες πετρωμάτων. Μεγάλα νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής δεν ενεργοποιήθηκαν, παρ' ότι ένα από αυτά βρίσκεται ακριβώς στην περιοχή των επικέντρων και έχει την ίδια γεωμετρία με το ρήγμα που έδωσε τον σεισμό. Το επιφανειακό αυτό ρήγμα δια-



Σχήμα 2.18: Εικόνα ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) της περιοχής του epicέντρου. Η ανοιχτού χρώματος γραμμή είναι το ορθό ρήγμα του Θριασίου πεδίου και η σκούρου χρώματος γραμμή είναι το ορθό ρήγμα της Φυλής. Με σταυρούς παρουσιάζονται τα επίκεντρα της μετασεισμικής δραστηριότητας (Papadopoulos et al. 2000). Με αστεράκια είναι η προκαταρκτική και η μετατοπισμένη επίλυση για του epicέντρο του κυρίου σεισμού της 7ης Σεπτεμβρίου του 1999. Σχηματικά επίσης παρουσιάζονται πτώσεις βράχων και άλλα μακροσεισμικά φαινόμενα με τελείες. Τα Λατινικά γράμματα υποδεικνύουν την σεισμική ένταση (Pavlidis et al. 2002).

Figure 2.18: Shaded relief image of a Digital Elevation Model (DEM) of the epicentral area simulating orientation of topography where the spatial distribution of the aftershocks is shown too. Light line is the Thriassion normal fault heavy dark line is the Fili normal fault. Crosses are aftershock epicentres provided by (Papadopoulos et al. 2000). Stars are the preliminary and relocated NOAGI epicenters of the main shock of September 7, 1999. Map shows also schematically the distribution of rock falls mainly and other macroseismic phenomena (dots). Roman capital letters indicate the earthquake intensity (Pavlidis et al. 2002).

τρέχει παράλληλα το ανατολικό όριο της λεκάνης του Θριάσιου και βρίσκεται σχεδόν παράλληλα με το ρήγμα που ενεργοποιήθηκε 15 km βαθύτερα (Papanikolaou et al. 1999).



Σχήμα 2.19: Γεωτεκτονικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Αττικής (Papanikolaou et al. 1999).

Figure 2.19: Geotectonic map of Attica region (Papanikolaou et al. 1999).

Ο σεισμός συνέβη σε εργάσιμες ώρες με αποτέλεσμα να παγιδευτούν εκατοντάδες άνθρωποι στα ερείπια των δεκάδων κτιρίων που κατέρρευσαν, ανάμεσα τους και 6 εργοστάσια. Στον σεισμό αυτόν 143 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους, είτε μέσα στα κατεστραμμένα κτίρια, είτε από πτώσεις αντικειμένων, είτε από καρδιακή προσβολή. Τραυματίστηκαν περίπου 7000 και γύρω στις 70000 οικογένειες βρέθηκαν άστεγες. Σε πολλές περιοχές διακόπηκε η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος η οποία οδήγησε στην δημιουργία κυκλοφοριακού χάους. Οι τηλεφωνικές επικοινωνίες μπλοκαρίστηκαν από την υπερχρήση λόγω του πανικού που προκλήθηκε. Όλη η περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής βρέθηκε σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης και πραγματοποιήθηκε επείγουσα εκκένωση κτιρίων (Andrianakis et al. 1999). Αυτός είναι ο πιο μεγάλος αριθμός νεκρών

του 20ου αιώνα ως αποτέλεσμα σεισμικής δραστηριότητας για την Ελλάδα, αμέσως μετά από τον σεισμό του 1953 στα Ιόνια νησιά, όπου οι νεκροί έφτασαν στους 455. Οι περιοχές με τις περισσότερες ζημιές ήταν ο δήμος Άνω Λιοσίων και Αχαρνών (Pavlidis *et al.* 2002), ενώ συνολικά οι υλικές ζημιές ήταν τεράστιες (Σχήμα 2.20).



Σχήμα 2.20: Κατεστραμμένο κτίριο από το σεισμό της 7/9/1999 με επίκεντρο την ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας.

Figure 2.20: Ruined building after the 7/9/1999 earthquake.

2.3 Προγενέστερες Εργασίες για την Κινηματική Συμπεριφορά της Κεντρικής Ελλάδας

Η Ελλάδα, όπως αναφέρθηκε, βρίσκεται στα όρια τριών τεκτονικών πλακών και παρουσιάζει υψηλή σεισμική δραστηριότητα. Ως εκ τούτου είναι ένα γεωφυσικό εργαστήριο για τα επιστημονικά πεδία της Σεισμολογίας και της Τεκτονικής. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει προσελκύσει κατά περιόδους σημαντικούς επιστήμονες απ' όλο τον κόσμο με σκοπό τη συλλογή στοιχείων και την αξιοποίηση τους στην ερμηνεία της τεκτονικής

συμπεριφοράς. Η συμβολή των γεωδαιτικών μεθόδων στην διερεύνηση μικρομετακινήσεων λόγω γεωφυσικών φαινομένων είναι σημαντική. Η εξέλιξη της Δορυφορικής Γεωδαισίας έδωσε ώθηση τις τελευταίες δεκαετίες στη μελέτη των τεκτονικών μετακινήσεων με γεωδαιτικές μεθόδους. Πολλά γεωδαιτικά δίκτυα ιδρύθηκαν γι' αυτό τον σκοπό σε όλη την Ελληνική επικράτεια. Αρκετά από τα σημεία των δικτύων αυτών είναι βάθρα που ανήκουν στο Ελληνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο, ενώ άλλα υλοποιήθηκαν σε γεωλογικά σταθερό υπόβαθρο με μεταλλικές σημάτσες στο έδαφος για να εξυπηρετήσουν τις ειδικές ανάγκες του κάθε δικτύου. Πολλά από αυτά τα δίκτυα έχουν σημαντικές επικαλύψεις και άλλα είναι υποσύνολα των αρχικών δικτύων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα γεωδαιτικά δίκτυα που έχουν υλοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Ελλάδας.

Λίγους μήνες μετά το σεισμό του 1981 η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού επαναμέτρησε με επίγειες μεθόδους 29 τριγωνομετρικά σημεία στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων νήσων με σκοπό την μελέτη των μικρομετακινήσεων μετά τον σεισμό. Η έμφαση δόθηκε στις κατακόρυφες μετατοπίσεις. Τα σημεία αυτά είχαν μετρηθεί το 1960 για τις ανάγκες του Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου της Χώρας (*Stiros et al. 2007*). Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν σε διδακτορική διατριβή (*Μητσακάκη 1986*).

Το Δίκτυο της Κεντρικής Ελλάδας μετρήθηκε πρώτη φορά το 1989 και περιλαμβάνει 68 σημεία τα οποία είναι κυρίως μεταλλικές σημάτσες σε σταθερό γεωλογικό υπόβαθρο που υλοποιήθηκαν ειδικά γι' αυτό τον σκοπό. Μετρήθηκε συνολικά 3 φορές έως το 1993. Αρκετά από τα σημεία του έχουν επαναμετρηθεί συμμετέχοντας σε άλλα δορυφορικά γεωδαιτικά δίκτυα. Οι μετρήσεις GPS, η επεξεργασία τους, καθώς και η ανάλυση και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων έγιναν σε συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας και του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου του ΕΜΠ με το Department of Earth Sciences, University of Oxford. Πολλές σημαντικές εργασίες καθώς και διδακτορικές διατριβές έχουν εκπονηθεί αξιοποιώντας τις μετρήσεις σε αυτή την περιοχή. Ενδεικτικά αναφέρονται *Clarke et al. (1998)*, *Le Pichon et al. (1995)*, *Davies (1996)*.

Το δίκτυο Old triangulation μετρήθηκε μια φορά το 1987 σε συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας με το Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K και το Delft Institute for Earth-Oriented Space Research. Το σύνολο των σημείων που μετρήθηκαν είναι 24 και περιελάμβανε τριγωνομετρικά πρώτης και τέταρτης τάξης καθώς και πλατφόρμες μετρήσεων κινητών μονάδων laser. Από το σύνολο των σημείων χρησιμοποιήθηκαν 15 για την εκτίμηση της παραμόρφωσης της περιοχής (*Veis et al. 1992*).

Το δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου μετρήθηκε πρώτη φορά το 1990 και ακολούθησαν στην πορεία τουλάχιστον δέκα σειρές μετρήσεων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ο αριθμός των μετρημένων σημείων δεν ήταν ο ίδιος κάθε φορά. Σχεδόν αμέσως μετά τον σεισμό του Αιγίου, το 1995, πραγματοποιήθηκαν γεωδαιτικές μετρήσεις με GPS για να διερευνηθεί η παραμόρφωση της περιοχής που συνδεόταν άμεσα με το σεισμικό γεγονός (post seismic deformation). Γι' αυτό το λόγο το δίκτυο επεκτάθηκε και πυκνώθηκε σημαντικά, με μετρήσεις σε όσο το δυνατόν περισσότερα τριγωνομετρικά σημεία στην περιοχή. Οι εργασίες πεδίου, η επεξεργασία των μετρήσεων, καθώς και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας και του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου του ΕΜΠ, με το Institut de Physique du Globe de Paris. Ο αριθμός των κορυφών του δικτύου φτάνει τα 150 και περιλαμβάνει σημεία του Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου (Βάθρα ΓΥΣ) καθώς και μεταλλικές σημάνσεις στο έδαφος που υλοποιήθηκαν ειδικά για αυτόν τον σκοπό. Πολλές σημαντικές εργασίες καθώς και διδακτορικές διατριβές έχουν εκπονηθεί αξιοποιώντας τις μετρήσεις αυτές. Ενδεικτικά αναφέρονται *Αγατζά-Μπαλοδήμου et al. (1994)*, *Clarke et al. (1998)*, *Briole et al. (2000)*, *Agatza-Balodimou et al. (2002)*, *Avallone (2003)*, *Aval-lone et al. (2004)*.

Το δίκτυο της Εύβοιας αποτελείται από ένα σύνολο 71 σημείων και έχει σημαντικές επικαλύψεις με το Εθνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο, με το δίκτυο της Κεντρικής Ελλάδας όπως και αυτό του Κορινθιακού Κόλπου. Μετρήθηκε πρώτη φορά το 1997 και τμήμα του επαναμετρήθηκε το 2005. Οι μετρήσεις GPS πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας και του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου του ΕΜΠ με το Institut de Physique du Globe de Paris. Η ανάλυση και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων είναι μέρος της παρούσας εργασίας.

Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Seismic Hazard in Greece (SING) μετρήθηκαν αρκετά από τα σημεία του Κορινθιακού και του δικτύου της Κεντρικής Ελλάδας, καθώς και νέα σημεία στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, της Βοιωτίας και της Αργολίδας. Το δίκτυο αυτό μετρήθηκε 3 φορές με αρχή το 1998. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, καθώς και την επεξεργασία τους συνεργάστηκαν οι παρακάτω φορείς: Department of Geomatic Engineering, University College London, U.K, Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, ΕΜΠ, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου ΕΜΠ, Institut de Physique du Globe de Paris, Delft Institute for Earth-Oriented Space Research, Delft University of Technology, Netherlands, Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, ETH Honggerberg, Zurich, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne, U.K.. Κάποια από τα αποτελέσματα για αυτό το δίκτυο αξιο-

ποιούνται στην παρούσα εργασία.

Το δίκτυο Αλκυονίδων, Αταλάντης, Πάρνηθας που χρηματοδοτήθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) μετρήθηκε για πρώτη φορά το 2001 από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων ΕΜΠ. Περιλαμβάνει συνολικά 30 σημεία και έχει μετρηθεί έως σήμερα 3 φορές. Αρκετά από τα σημεία του δικτύου είναι υποσύνολα των δικτύων της Κεντρικής Ελλάδας και της Εύβοιας. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα έχουν δημοσιευτεί (*Marinou et al. 2006, Βέης et al. 2007*) και το σύνολο το στοιχείων αποτελεί μέρος της παρούσας εργασίας.

Το δίκτυο του Καπαρελλίου ιδρύθηκε και μετρήθηκε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών σε συνεργασία με το Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences. Το σύνολο των σημείων του δικτύου είναι 11 και έχουν μετρηθεί έως τώρα 4 φορές με αρχή το 2004. Η ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων καθώς και η διερεύνηση των μικρομετακινήσεων της περιοχής είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Προκαταρκτικά αποτελέσματα έχουν δημοσιευτεί σε επιστημονικά συνέδρια (*Marinou et al. 2008, 2010*).

Στο πλαίσιο διδακτορικής διατριβής που εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής μετρήθηκαν σε τρεις χρονικές περιόδους 41 σημεία και έγινε ανάλυση και υπολογισμοί για την εκτίμηση της παραμόρφωσης στην περιοχή. Κάποια από αυτά τα σημεία ανήκουν στο Εθνικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο της Χώρας και άλλα ιδρύθηκαν ειδικά γι' αυτόν τον σκοπό (*Φουμέλης 2010, Foutelis et al. 2010*).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στοιχεία για όλα τα γεωδαιτικά δίκτυα στην Κεντρική Ελλάδα.

Δίκτυο	Φορείς	Σημεία	Γεωδαιτικά Δεδομένα	Εποχές Μέτρησης
Αλκυονίδων	ΓΥΣ	29	Επίγειες μετρήσεις	1
Old Triangulation	Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K. Delft Institute for Earth-Oriented Space Research, Delft University of Technology, Netherlands	24	GPS	1
Κεντρικής Ελλάδας (Central Greece)	Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K. Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ	68	GPS	3
Κορινθιακού Κόλπου (Corinth Gulf)	Institut de Physique du Globe de Paris, France Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ	~150	GPS	~10
Εύβοιας (Evia)	Institut de Physique du Globe de Paris, France Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ	71	GPS	2
Seismic Hazard in Greece SING	Department of Geomatic Engineering, University College London, U.K. Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ Institut de Physique du Globe de Paris, France Delft Institute for Earth-Oriented Space Research, Delft University of Technology, Netherlands Department of Earth Sciences, University of Oxford, U.K. Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, ETH Honggerberg, Zurich, Switzerland National Observatory of Athens, Greece Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne, U.K.	54	GPS	3
Αλκυονίδες-Αταλάντη-Πάρνηθα ΟΑΣΠ	Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ΕΜΠ	30	GPS	3
Καπαρέλλι	Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, Poland National Observatory of Athens, Greece	11	GPS	4
Αττική	Michael Foumelis, phd thesis	41	GPS	3

Πίνακας 2.1: Γεωδαιτικά δίκτυα με σκοπό την παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων στην Κεντρική Ελλάδα.

Table 2.1: Geodetic networks for monitoring tectonic movements in Central Greece.

3 Διεθνή Γήινα Συστήματα Αναφοράς

3.1 Γενικά

Είναι γενικά γνωστό πως το σχήμα της γης αλλάζει συνεχώς λόγω (α) των τεκτονικών μετατοπίσεων του φλοιού της, (β) των παλιρροιών στους ωκεανούς και στον στερεό φλοιό, (γ) των επιδράσεων από το φορτίο των ωκεανών και της ατμόσφαιρας, (δ) των πολικών παλιρροιών καθώς και (ε) των περιφερειακών και τοπικών επιδράσεων (*Bomford 1980, Βέης et al. 2008*). Για να προσδιοριστεί η μεταβολή του σε συνάρτηση με τον χρόνο πρέπει να οριστούν συστήματα αναφοράς που να συμπεριλαμβάνουν αυτές τις επιδράσεις.

Τα συστήματα αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των τεκτονικών κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών, των καταβυθίσεων ή ανυψώσεων ανά περιοχή, αλλά και για τον υπολογισμό της περιστροφής της γης στο διάστημα. Η περιστροφή της γης υπολογίζεται σε σχέση με τις θέσεις των άστρων στην ουράνια σφαίρα, οι οποίες θέσεις ορίζουν ένα πλαίσιο αναφοράς που λέγεται ουράνιο.

Το Ουράνιο Σύστημα Αναφοράς (Celestial Reference System, CRS) ορίστηκε, αρχικά, σαν ένα σύστημα συντεταγμένων που προσδιορίζει τις θέσεις των ουρανίων σωμάτων. Ο ορισμός αυτός βασίστηκε στην υπόθεση πως ο χώρος είναι Ευκλείδειος και ο χρόνος είναι απόλυτος, δηλαδή δεν εξαρτάται από την φυσική και δυναμική κατάσταση του χρονομέτρου που τον μετρά ή την θέση του στον χώρο. Με αυτή την παραδοχή, το σύστημα συντεταγμένων δεν περιστρέφεται σε σχέση με εξωγαλαξιακά σώματα και είναι αδρανειακό (με την έννοια ότι οι κινήσεις στο ηλιακό σύστημα μπορούν να περιγραφούν χωρίς φυγόκεντρες ή και Coriolis επιταχύνσεις) (*Konvalensky 1998*). Σήμερα αυτό το Ευκλείδειο μοντέλο έχει αντικατασταθεί από ένα σχετικιστικό μοντέλο κατά το οποίο ο χώρος και ο χρόνος σχετίζονται ως ένα μοναδικό γεωμετρικό αντικείμενο του οποίου οι ιδιότητες προσδιορίζονται από τη κατανομή της ύλης στον χώρο (*Konvalensky 1998*). Η περιστροφή της γης ορίζει τους άξονες του συστήματος οι οποίοι είναι ο ουράνιος Ισημερινός και ο μεσημβρινός που περνά από το **Εαρινό σημείο** (vernal equinox). Το εαρινό σημείο είναι η τομή του Ισημερινού με το επίπεδο της τρο-

χιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο (εκλειπτική). Η θέση των σωμάτων ορίζεται από δύο γωνίες, την **ορθή αναφορά α** (right ascension), και την **απόκλιση δ** (declination) (*Ma and Feissel 1997*). Το Ουράνιο Σύστημα αναφοράς υλοποιείται με ένα Ουράνιο Πλαίσιο Αναφοράς (International Reference Frame – ICRF). Το Ουράνιο Πλαίσιο Αναφοράς αποτελείται από μια σειρά συντεταγμένων ακριβείας, εξωγαλαξιακών πηγών ακτινοβολίας (κυρίως quasars). Για να γίνει αυτός ο προσδιορισμός είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός παρατηρήσεων για μεγάλη χρονική περίοδο, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα των θέσεων από την οποία καθορίζονται οι άξονες του Συστήματος. Η πρώτη ολοκληρωμένη υλοποίηση του Ουράνιου Πλαισίου Αναφοράς είναι αυτή του 1995 που περιλαμβάνει τις θέσεις 212 εξωγαλαξιακών πηγών ακτινοβολίας οι οποίες προσδιορίστηκαν με την τεχνική VLBI. Στην υλοποίηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν επίσης 294 πηγές ακτινοβολίας με λιγότερες διαθέσιμες παρατηρήσεις και 102 άλλες πηγές που χαρακτηρίζονται ως “κατάλληλες” με σκοπό την πύκνωση του δικτύου (*Ma et al. 1998, Petit and Luzum 2010*). Στην πορεία πραγματοποιήθηκαν δύο αναθεωρήσεις του Ουράνιου Πλαισίου Αναφοράς, η πρώτη είναι το ICRF-Ext.1 το οποίο περιλαμβάνει μετρήσεις VLBI έως το Απρίλιο του 1999 (*Gambis 1999*) και η δεύτερη το ICRF-Ext.2 με δεδομένα VLBI έως τον Μάιο του 2002 (*Fey et al. 2004, Petit and Luzum 2010*).

Ένα Ιδανικό Γήινο Σύστημα Αναφοράς (Terrestrial Reference Frame, TRS) ορίζεται ως ένα τριδιάστατο σύστημα αναφοράς (με τη μαθηματική του έννοια), το οποίο περιστρέφεται με τη γη. Με δεδομένους τους νόμους του Νεύτωνα, η γεωμετρία του φυσικού χώρου, που θεωρείται ως ένας **Ευκλείδειος ομοπαράλληλος (affine) χώρος** τριών διαστάσεων, παρέχει ένα συγκεκριμένο και αυστηρά ορισμένο μοντέλο ενός τέτοιου συστήματος, με την επιλογή ενός ομοπαράλληλου (O,E) πλαισίου (με (O) ορίζεται η αφετηρία και με (E) η βάση του διανυσματικού χώρου). Οι περιορισμοί που αφορούν τη βάση (E) του διανυσματικού χώρου είναι οι συνιστώσες της να είναι ορθογώνιες και του ιδίου μήκους. Το κοινό μήκος των τριών αυτών συνιστωσών εκφράζει την κλίμακα του TRS, και η τριάδα των μοναδιαίων διανυσμάτων, συγραμμικών προς τη βάση, τον προσανατολισμό του. Με δεδομένα τα παραπάνω ορίζονται γεωκεντρικά συστήματα των οποίων η αρχή είναι κοντά στο γεώκεντρο και ο άξονας των Z περνά από τον πόλο (<http://itrf.ensg.ign.fr>).

Τα συμβατικά γήινα συστήματα αναφοράς (CTRFs — Conventional Terrestrial Reference Frames) ορίζουν το σύνολο των συμβάσεων, αλγορίθμων και σταθερών που προσδιορίζουν την εκτίμηση συντεταγμένων σημείων της φυσικής γήινης επιφάνειας, που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο ιδανικό σύστημα αναφοράς. Τα CTRFs ορίζονται από ένα σύνολο σημείων στην φυσική γήινη επιφάνεια που έχουν προσδιοριστεί οι συντεταγμέ-

νες τους με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια και αποτελούν την υλοποίηση ενός ιδανικού γήινου πλαισίου αναφοράς. Δυο ειδών πλαίσια προς το παρόν υπάρχουν, τα δυναμικά και τα κινηματικά, ανάλογα από το αν ένα δυναμικό μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί κατά τον προσδιορισμό τους.

Το Παγκόσμιο Γήινο Σύστημα Αναφοράς (International Terrestrial System, ITRS) είναι ένα χωρικό σύστημα αναφοράς το οποίο περιστρέφεται μαζί με τη γη ακολουθώντας την ημερήσια κίνηση της στο διάστημα. Η διεθνής υπηρεσία για την περιστροφή της γης και τα συστήματα αναφοράς (International Earth Rotation and Reference System service, IERS) έχει την ευθύνη για την διάθεση των κατάλληλων συστημάτων αναφοράς στην παγκόσμια κοινότητα των αστρονόμων, γεωδαιτών και γεωφυσικών. Οι υλοποιήσεις των γήινων Συστημάτων παρέχονται από το IERS (ITRS product center, ITRS-PC) και ονομάζονται πλαίσια (International Terrestrial Reference Frames, ITRF). Σήμερα χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικές δορυφορικές τεχνικές για τον υπολογισμό των γήινων πλαισίων: το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού GPS (Global Positioning System), η συμβολομετρία πολύ μεγάλων αποστάσεων (Very-long-baseline interferometry — VLBI), η τηλεμετρία Laser προς δορυφόρους (Satellite Laser Ranging — SLR) και το Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS). Οι συντεταγμένες των ITRF είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού όλων των λύσεων από τα κέντρα ανάλυσης και όλων των παρατηρήσεων των δορυφορικών τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν (<http://itrf.ensg.ign.fr>).

Τα πλαίσια αναφοράς αναθεωρούνται όταν το δίκτυο των σταθμών που είναι κατάλληλα εξοπλισμένο για να κάνει παρατηρήσεις με αυτές τις τεχνικές επεκτείνεται ή η περίοδος των παρατηρήσεων αυξάνει. Τα Πλάισια Αναφοράς έχουν αναθεωρηθεί 12 φορές ξεκινώντας από το 1988. Η ονομασία των Γήινων Πλαισίων (ITRF_{xx}) δίνεται από την τελευταία χρονιά που έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα στη συνόρθωσή τους. Για παράδειγμα στο ITRF08 έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα έως και το 2008. Κάθε καινούργιο ITRF είναι πιο ακριβές σε σχέση με το προηγούμενο γιατί έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερα δεδομένα από περισσότερους σταθμούς, ενώ περιλαμβάνει δεδομένα υψηλότερης ακρίβειας και στους υπολογισμούς έχουν χρησιμοποιηθεί βελτιστοποιημένες τεχνικές. Κάθε υλοποίηση γήινου πλαισίου περιλαμβάνει ένα σετ συντεταγμένων των σταθμών, τις ταχύτητες τους καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματα. Έτσι είναι δυνατή η σύγκριση παρατηρήσεων από διαφορετικές εποχές, γεγονός που επιτρέπει την προτυποποίηση των μεταβολών του γήινου φλοιού.

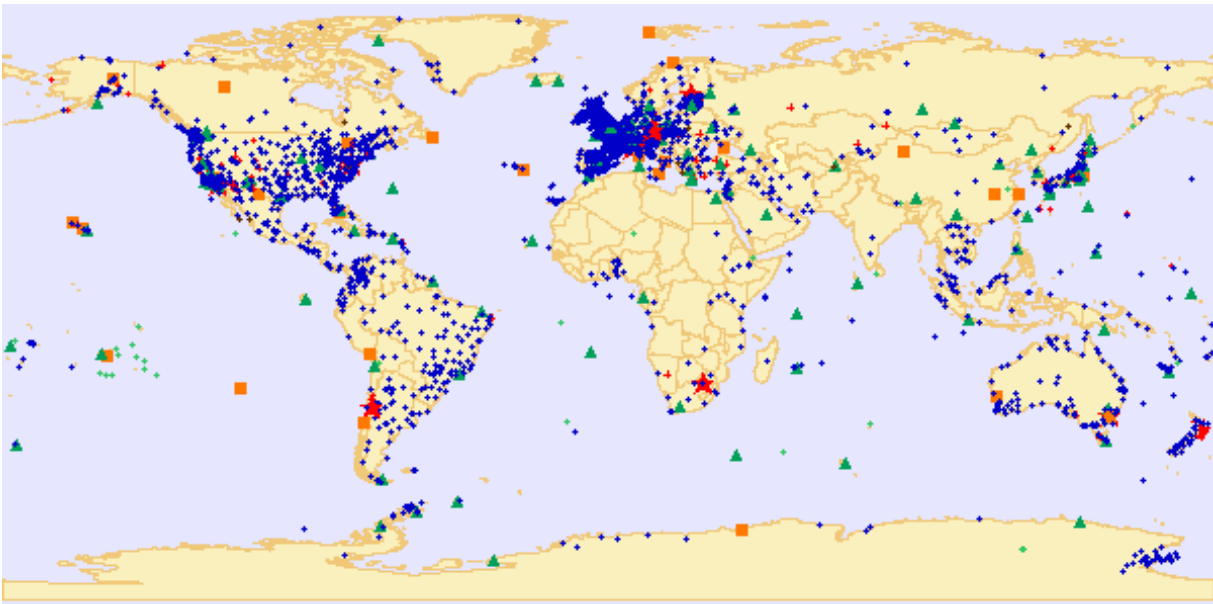
Σε εθνική κλίμακα πολλές χώρες, για την εξυπηρέτηση γεωδαιτικών, χαρτογραφικών, κτηματολογικών κ.α. αναγκών, χρησιμοποιούν Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς. Ένα

τέτοιο Σύστημα Αναφοράς ορίζεται με τις συν/νες που δίνονται στην αφετηρία (φυσικό σημείο στην επιφάνεια της Γης) και το αξιμούθιο προς ένα δεύτερο σημείο. Το μαθηματικό μοντέλο που προσεγγίζει καλύτερα το γεωειδές της χώρας είναι ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής που ορίζεται από τις παραμέτρους του (a, f). Οι παράμετροι, του ελλειψοειδούς αναφοράς σε συνδυασμό με τις συντεταγμένες της αφετηρίας και του αξιμουθίου ορίζουν το λεγόμενο Γεωδαιτικό DATUM. Για να οριστεί ένα Γεωδαιτικό DATUM πρέπει να οριστούν 6 παράμετροι (3 θέσης και 3 προσανατολισμού) αφού υπάρχουν 6 βαθμοί ελευθερίας. Στον ορισμό αυτόν θεωρείται πως η κλίμακα μηκών είναι δοσμένη (συνήθως με τον ορισμό της ταχύτητας του φωτός c). Σήμερα με την αξιοποίηση παρατηρήσεων από τεχνητούς δορυφόρους τα DATUM παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις από το γήινο σύστημα, ενώ για τον ορισμό τους αρκούν οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου μηδενικής τάξης (*Levallois 1970, Bomford 1980, Βέης et al. 2008*).

Το 1988 δημιουργήθηκε η Διεθνής Υπηρεσία για την Περιστροφή της Γης και τα Συστήματα Αναφοράς (International Earth Rotation and Reference System service – IERS) για να υλοποιήσει ένα Διεθνές Ουράνιο Πλαίσιο Αναφοράς (International Celestial Reference Frame – ICRF), ένα Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς (International Terrestrial Reference Frame – ITRF) καθώς και για να επιμελείται την συνεχή ενημέρωσή τους. Η σύνδεση των Πλαισίων αυτών επιτυγχάνεται μέσω των παραμέτρων περιστροφής της γης (Earth Rotation Parameters EOPs). Έτσι η υιοθέτηση ενός κοινού συστήματος αναφοράς επιτρέπει την σύνδεση των θέσεων των δορυφόρων με τις θέσεις σταθμών πάνω στην γη.

Στο *Σχήμα 3.1* παρουσιάζεται το παγκόσμιο δίκτυο σταθμών που χρησιμοποιείται για τις διάφορες υλοποιήσεις των Γήινων Πλαισίων Αναφοράς (ITRF's), ενώ στο *Σχήμα 3.2* οι αντίστοιχοι σταθμοί για τον Ελλαδικό Χώρο.

Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 3.2* το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου και το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας με τον σταθμό Dionysos και άλλους σταθμούς στον Ελλαδικό Χώρο (Karitsa, Xrysokelaria, Katavia κ.α) έχουν συμμετάσχει στις υλοποιήσεις διάφορων ITRF με μετρήσεις GPS και DORIS. Στο *Σχήμα 3.3* φαίνεται ο σταθμός DORIS στον Διόνυσο που μετρά συνεχώς από το 1989 έως σήμερα.



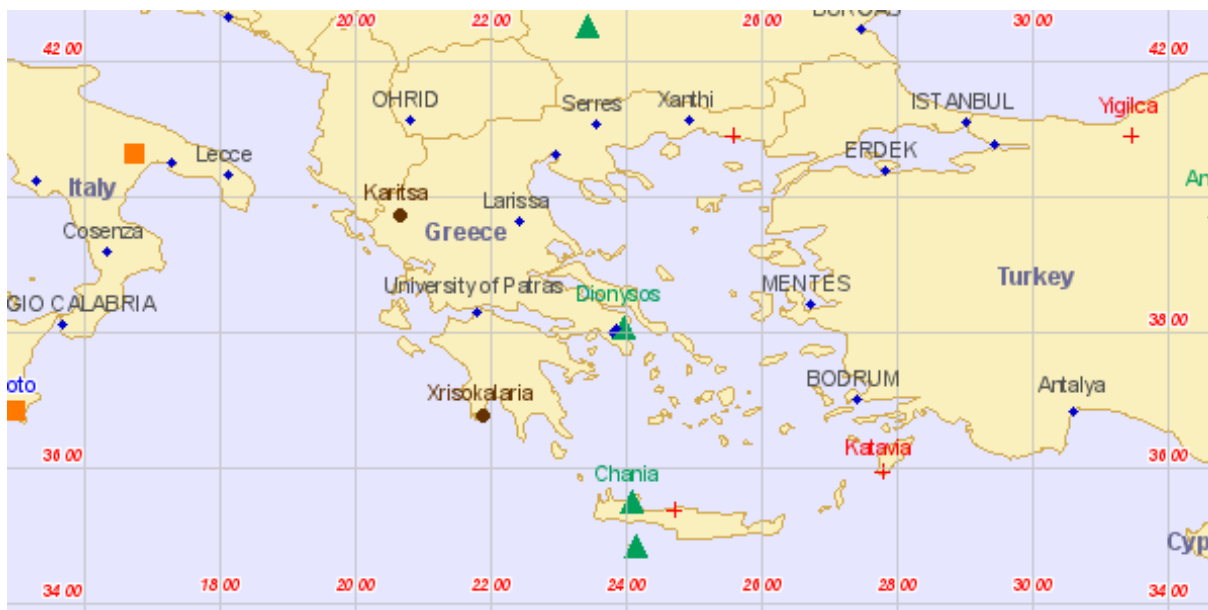
Σχήμα 3.1: Το δίκτυο σταθμών που συμμετέχουν για τον ορισμό του ITRF. Με κόκκινα αστεράκια σημειώνονται οι σταθμοί παρατήρησης που διαθέτουν τις 4 τεχνικές, με κόκκινο τετράγωνο οι σταθμοί παρατήρησης με 3 τεχνικές, με πράσινο τρίγωνο οι σταθμοί παρατήρησης με δυο τεχνικές, με μπλε ρόμβο οι σταθμοί παρατήρησης GPS, με πράσινο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης DORIS, με μαύρο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης SLR, και με κόκκινο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης VLBI (<http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php>).

Figure 3.1: ITRF Geodetic Network. Red stars present four techniques stations, red squares present 3 techniques stations, green triangles present 2 techniques stations, blue rhombus present GPS stations, green circles present DORIS stations, black circles present SLR stations, red stations present VLBI stations (<http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php>).

3.2 Διεθνής Γεωδαιτική Υπηρεσία

Η Διεθνής Γεωδαιτική Υπηρεσία (International Geodetic Service, IGS) του παγκόσμιου δορυφορικού εντοπισμού GNSS (Global Navigation Satellite System), η οποία αναφερόταν στο παρελθόν ως υπηρεσία του συστήματος παγκόσμιου εντοπισμού (GPS), είναι μια εθελοντική ένωση περισσότερων από 200 φορέων, οι οποίοι συνδυάζουν δεδομένα από μόνιμους σταθμούς GPS και GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistem) για να παράξουν υψηλής ακριβείας προϊόντα GPS και GLONASS.

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται το μόνιμο δίκτυο δορυφορικών σταθμών σε όλο τον κόσμο ενώ στο Σχήμα 3.5 οι αντίστοιχοι σταθμοί στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα δεν υπάρχει προς το παρόν μόνιμος σταθμός IGS. Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία (πρωτογενή δεδομένα, τροχιές ακριβείας και μοντέλα ιονόσφαιρας) είναι προϊόντα της IGS που διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο σε διάφορες ηλεκτρο-



Σχήμα 3.2: Το δίκτυο σταθμών παρατήρησης που συμμετέχουν για τον ορισμό του ITRF στην Ελλάδα. Με πράσινο τρίγωνο σημειώνονται οι σταθμοί παρατήρησης με δυο τεχνικές, με μπλε ρόμβο οι σταθμοί παρατήρησης GPS, με πράσινο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης DORIS, με μαύρο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης SLR και με κόκκινο κύκλο οι σταθμοί παρατήρησης VLBI (<http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php>).

Figure 3.2: ITRF Geodetic Network in Greece. Green triangles present stations with 2 techniques, blue rhombus present GPS stations, green circles present DORIS stations, black circles present SLR stations, red circles present VLBI stations (<http://itrf.ensg.ign.fr/GIS/index.php>).

νικές διευθύνσεις.

Τα προϊόντα της IGS είναι πλήρως εξαρτημένα από το πλαίσιο αναφοράς που έχει υιοθετηθεί κατά τον προσδιορισμό τους. Οι αριθμητικές τιμές των μετρημένων στοιχείων έχουν νόημα μόνο όταν εκφράζονται σε ένα καλά ορισμένο γήινο πλαίσιο αναφοράς, ενώ η ακρίβεια τους εξαρτάται μερικώς από την ποιότητα υλοποίησης του γήινου πλαισίου. Τα προϊόντα της IGS και οι εφαρμογές των προϊόντων αυτών, εξαρτώνται από την αλληλουχία κάποιων πλαισίων αναφοράς. Το ITRF παρέχει το «απόλυτο» μεγάλης χρονικής διάρκειας Σύστημα, δηλαδή την καθοριστική υλοποίηση της αρχής του συστήματος, της κλίμακας, του προσανατολισμού καθώς και των μεταβολών του με τον χρόνο. Σε αυτό το Σύστημα συνδέεται η υλοποίηση του γήινου πλαισίου IGS όπως αυτό προκύπτει με την χρήση μόνο δεδομένων GPS (<http://igscb.jpl.nasa.gov/>).



Σχήμα 3.3: Το σύστημα DORIS στο σταθμό του Διονύσου από το 1989 – σήμερα

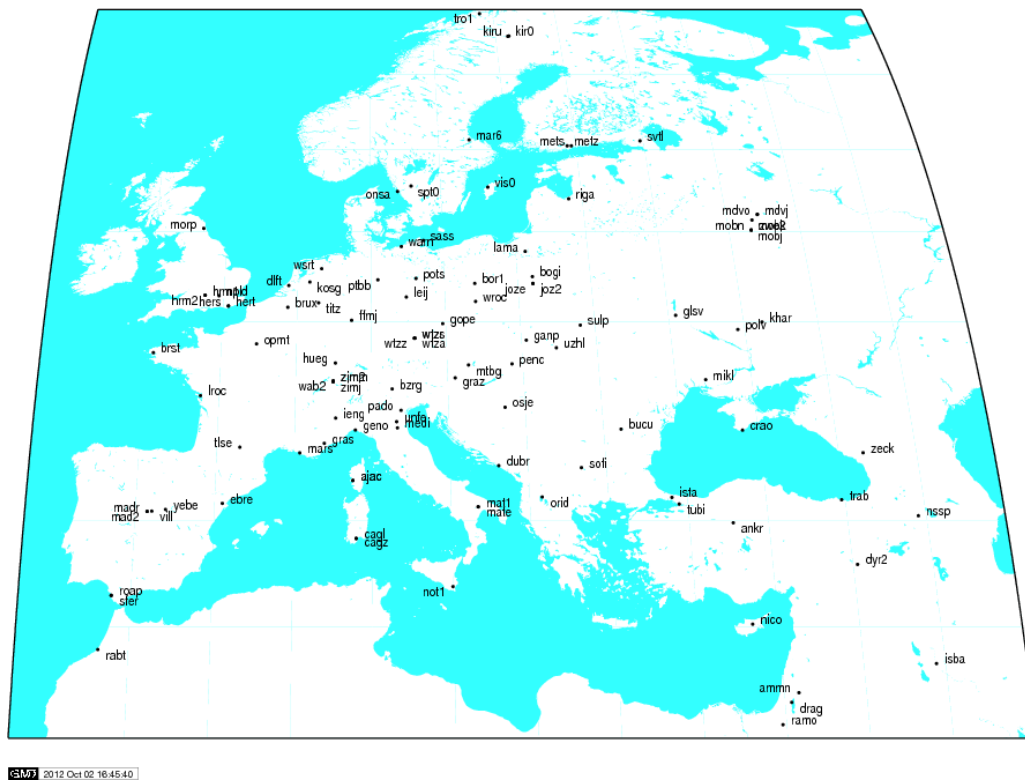
Figure 3.3: Doris Station at Dionysos Satellite Observatory 1989 – today

3.3 Διεθνή Γήινα Πλαίσια Αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στην Εργασία

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά συστήματα αναφοράς ITRF ή IGS, αναλόγως με την περίοδο που έγιναν οι μετρήσεις και η επεξεργασία τους την τελευταία δεκαετία. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν:

Το **ITRF1996** είναι το αποτέλεσμα της επίλυσης και συνόρθωσης δεδομένων από 500 σταθμούς σε σύνολο 290 τοποθεσιών (sites) παγκοσμίως. Ο προσδιορισμός αυτού του Γήινου Πλαισίου (αρχή, κλίμακα, προσανατολισμός και μεταβολή τους με το χρόνο) επιτεύχθηκε έτσι, ώστε να είναι στο ίδιο σύστημα αναφοράς με το ITRF 1994. Επιπροσθέτως οι ταχύτητες για κάθε σταθμό δεσμεύτηκαν να είναι ίδιες για όλα τα σημεία στην ίδια τοποθεσία. Τα τελικά αποτελέσματα είναι η συνδυασμένη λύση θέσεων και ταχυτήτων ταυτόχρονα, με πλήρη χρήση πινάκων μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας που διατέθηκαν από τα κέντρα ανάλυσης. Επιπλέον επιβλήθηκε ένα λεπτομερές μοντέλο βαρών βασισμένο στην εκτίμηση των συνιστωσών της μεταβλητότητας με χρήση της μεθόδου Helmert (*Boucher et al. 1998*).

Το **ITRF2000** είναι το αποτέλεσμα επίλυσης και συνόρθωσης δεδομένων από 800 σταθμούς σε σύνολο 500 τοποθεσιών παγκοσμίως με καλύτερη χωρική κατανομή από τα προηγούμενα ITRF. Είναι η πρώτη φορά που ένα Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς συνδυάζει λύσεις δορυφορικής γεωδαισίας χωρίς δεσμεύσεις, απαλλαγμένες από μο-



Σχήμα 3.5: Το Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών παρατήρησης της IGS
Figure 3.5: The European IGS Network

του ρυθμού μεταβολής της, ως προς τις χρονοσειρές VLBI διάρκειας 26 ετών. Ο προσανατολισμός του στην εποχή 2000 και ο ρυθμός μεταβολής του συμβαδίζει με αυτόν του ITRF 2000 με την χρήση 70 σταθμών υψηλής γεωδαιτικής ακρίβειας (*Altamimi et al. 2007*).

Το **ITRF2008** είναι το αποτέλεσμα επίλυσης και συνόρθωσης δεδομένων από 934 σταθμούς σε σύνολο 580 τοποθεσιών παγκοσμίως. Η κατανομή των σταθμών είναι ανισοβαρής μεταξύ βορείου (463 τοποθεσίες) και νοτίου (117 τοποθεσίες) ημισφαιρίου. Το ITRF 2008 είναι μια εκλεπτυσμένη εκδοχή του Γήινου Πλαισίου η οποία στηρίζεται στην επανεπεξεργασία λύσεων και από τις 4 δορυφορικές τεχνικές VLBI, SLR, GPS και DORIS για χρονικά διαστήματα 29, 26, 12.5 και 16 ετών αντίστοιχα. Για τον προσδιορισμό του ITRF2008 χρησιμοποιήθηκαν ως πρωταρχικά δεδομένα χρονοσειρές (εβδομαδιαίες από δορυφορικές τεχνικές και εικοσιτετράωρες από VLBI) από θέσεις σταθμών και ημερήσιες παραμέτρους Προσανατολισμού της Γης (EOPs). Η αφητηρία του ITRF2008 έχει οριστεί έτσι, ώστε να έχει μηδενικές μεταθέσεις και ρυθμό μετάθεσης ως προς το μέσο κέντρο μάζας της γης, το οποίο έχει εκτιμηθεί από τις χρονοσειρές SLR (με χρήση 179 σταθμών υψηλής γεωδαιτικής ακρίβειας). Η κλίμακα του ορίζεται

με μηδενισμό της κλίμακας και του ρυθμού μεταβολής της ως προς τη μέση τιμή των λύσεων VLBI και SLR, όπως αυτή προκύπτει από τον συνδυασμό των μακράς διάρκειας αντίστοιχων χρονοσειρών τους. Ο προσανατολισμός του στην εποχή 2005 και ο ρυθμός μεταβολής του συμβαδίζει με αυτόν του ITRF 2005 (*Altamimi et al. 2011*).

Το **IGS05** είναι το αποτέλεσμα επίλυσης και συνόρθωσης δεδομένων από 132 σταθμούς του IGS παγκοσμίως. Χρησιμοποιήθηκαν απόλυτες διορθώσεις κεραιών δορυφόρων και δεκτών. Για την επίλυση συμπεριλήφθηκαν δεδομένα από το 1994 και μετά. Είναι ευθυγραμμισμένο με το ITRF 2005 (*IGS Mailing List 2005*). Η σύνδεση με το ITRF γίνεται με την χρήση ενός μετασχηματισμού Helmert 14 παραμέτρων για επιλεγμένους γεωδαιτικούς σταθμούς GPS μεγάλης ακριβείας. Η μεγαλύτερη εσωτερική συμβατότητα που διαθέτει η υλοποίηση ενός γήινου πλαισίου IGS είναι η αιτία που προτιμάται αυτό, αντί της ακρίβειας που παρέχει το ITRF (*Ray et al. 2004*).

3.4 Μετασχηματισμοί Συστημάτων Αναφοράς

Σε εφαρμογές διαφόρων θετικών επιστημών μεταξύ αυτών και της γεωδαισίας, συχνά είναι ανάγκη οι συντεταγμένες ενός σημείου που είναι εκφρασμένες σε ένα σύστημα αναφοράς να μετατραπούν σε ένα άλλο σύστημα αναφοράς. Οι αλλαγές μεταξύ των γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς είναι, προφανώς, μέρος της γενικότερης ομάδας που αφορά τους μετασχηματισμούς των συντεταγμένων (*Bomford 1980, Torge 2001, Μητσακάκη and Παπαζήση 2004*). Ο γενικός μετασχηματισμός των καρτεσιανών συντεταγμένων ενός σημείου της φυσικής γήινης επιφάνειας από ένα Σύστημα Αναφοράς σε ένα άλλο, μπορεί να εκφρασθεί από ένα τρισδιάστατο μετασχηματισμό ομοιότητας (3 μεταθέσεις, κλίμακα και έναν πίνακα στροφής).

Έτσι το μοντέλο μετασχηματισμού όταν οι στροφές είναι διαφορικές δίνεται από την ακόλουθη σχέση (http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

όπου X, Y, Z είναι οι τελικές συντεταγμένες στο Σύστημα Αναφοράς που θέλουμε να καταλήξουμε και X_s, Y_s, Z_s οι συντεταγμένες στο αρχικό Σύστημα Αναφοράς, T_1, T_2, T_3 οι μεταθέσεις κατά τους άξονες X, Y, Z , D η κλίμακα και R_1, R_2, R_3 οι τρεις διαφορικές

στροφές κατά τους τρεις άξονες. Οι παράμετροι του μοντέλου πρέπει να αναφέρονται στην εποχή που βρίσκεται το σετ των συντεταγμένων που πρόκειται να μετασχηματιστεί. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$P(t) = P(epoch) + \dot{P} \cdot (t - epoch) \quad (3.2)$$

όπου P η παράμετρος μετασχηματισμού, \dot{P} η πρώτη παράγωγος με τον χρόνο (ρυθμός μεταβολής), $epoch$ η εποχή αναφοράς.

Οι παράμετροι μετασχηματισμού μεταξύ των διαφορετικών Γήινων Πλαισίων Αναφοράς ITRF είναι δημοσιευμένες στο IERS Annual Report και στο IERS Technical Notes. Η περίληψη τους βρίσκεται στο IERS Conventions (2003) (McCarthy and Petit 2003) και είναι αναρτημένες στην ιστοσελίδα <ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP> για όλα τα ITRF πριν το 2000 (Πίνακας 3.1).

Solution (units)	T_1 (cm)	T_2 (cm)	T_3 (cm)	D (ppb)	R_1 (0.001")	R_2 (0.001")	R_3 (0.001")	$epoch$	IERS Tech.
Rates (units)	\dot{T}_1 (cm/y)	\dot{T}_2 (cm/y)	\dot{T}_3 (cm/y)	\dot{D} (ppb/y)	\dot{R}_1 (0.001"/y)	\dot{R}_2 (0.001"/y)	\dot{R}_3 (0.001"/y)		
ITRF97	0.67	0.61	-1.85	1.55	0	0	0	1997	27
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF96	0.67	0.61	-1.85	1.55	0	0	0	1997	24
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF94	0.67	0.61	-1.85	1.55	0	0	0	1997	20
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF93	1.27	0.65	-2.09	1.95	-0.39	0.8	-1.14	1988	18
rates	-0.29	-0.02	-0.06	0.01	-0.11	-0.19	0.07		
ITRF92	1.47	1.35	-1.39	0.75	0	0	-0.18	1988	15
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF91	2.67	2.75	-1.99	2.15	0	0	-0.18	1988	12
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF90	2.47	2.35	-3.59	2.45	0	0	-0.18	1988	9
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF89	2.97	4.75	-7.39	5.85	0	0	-0.18	1988	6
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		
ITRF88	2.47	1.15	-9.79	8.95	0.1	0	-0.18	1988	IERS An. Rep. 1988
rates	0	-0.06	-0.14	0.01	0	0	0.02		

Πίνακας 3.1: Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2000 σε προηγούμενα ITRFs (<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>)

Table 3.1: Transformation parameters from ITRF2000 to previous ITRFs (<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>)

(units)	T_1 (mm)	T_2 (mm)	T_3 (mm)	D (ppb)	R_1 (0.001")	R_2 (0.001")	R_3 (0.001")
	0.1	-0.8	-5.8	0.4	0	0	0
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0	0	0
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

Πίνακας 3.2: Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2005 στο ITRF2000 (<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>)

Table 3.2: Transformation parameters from ITRF2005 to ITRF2000 (<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>)

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF 2005 στο ITRF 2000 και στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF 2008 σε προηγούμενα ITRF.

Οι παράμετροι που ορίζουν κάθε ITRF βασίζονται σε διαφορετική ομάδα δεδομένων και διαφορετικές στρατηγικές επεξεργασίας. Αυτό έχει σαν συνέπεια, όταν μια επίλυση ενός δικτύου που έχει υπολογισθεί στο ITRF2005 μετασχηματίζεται σε κάποιο άλλο, πχ. ITRF2000, οι συντεταγμένες των κορυφών του να μην συμπίπτουν με τις αντίστοιχες του ITRF2000. Αυτό ισχύει τόσο για τους σταθμούς που έχουν συμμετάσχει στον προσδιορισμό των δύο ITRF όσο και για οποιουδήποτε άλλους σταθμούς του δικτύου που επιλύεται. Φυσικά αυτές οι αποκλίσεις είναι πάρα πολύ μικρές και αναμένονται τόσο στις συντεταγμένες, όσο και στις ταχύτητες, ιδιαίτερα για νέους σταθμούς. Ας σημειωθεί ότι για την συνόρθωση είναι προτιμότερο το σετ των προσωρινών συντεταγμένων να επιλέγεται από το τελευταίο ITRF (*Hollenstein 2007*).

Solution (units)	T_1 (cm)	T_2 (cm)	T_3 (cm)	D (ppb)	R_1 (0.001")	R_2 (0.001")	R_3 (0.001")	<i>epoch</i>
Rates (units)	\dot{T}_1 (cm/y)	\dot{T}_2 (cm/y)	\dot{T}_3 (cm/y)	\dot{D} (ppb/y)	\dot{R}_1 (0.001"/y)	\dot{R}_2 (0.001"/y)	\dot{R}_3 (0.001"/y)	
ITRF2005	-2	0.9	-4.7	0.94	0	0	0	2000
rates	0.3	0	0	0	0	0	0	
ITRF2000	-1.9	-1.7	-10.5	1.34	0	0	0	2000
rates	0.1	0.1	-1.8	0.08	0	0	0	
ITRF97	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF96	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF94	4.8	2.6	-33.2	2.92	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF93	-24	2.4	-38.6	3.41	-1.71	-1.48	-0.3	2000
rates	-2.8	-0.1	-2.4	0.09	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92	12.8	4.6	-41.2	2.21	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF91	24.8	18.6	-47.2	3.61	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF90	22.8	14.6	-63.2	3.91	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF89	27.8	38.6	-101.2	7.31	0	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	
ITRF88	22.8	2.6	-125.2	10.41	0.1	0	0.06	2000
rates	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0	0	0.02	

Πίνακας 3.3: Παράμετροι μετασχηματισμού από το ITRF2008 σε προηγούμενα ITRFs (http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt)

Table 3.3: Transformation parameters from ITRF2008 to previous ITRFs (http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt)

4 Κινηματικά Μοντέλα Προσδιορισμού Παραμόρφωσης

4.1 Γενικά

Έχει διαπιστωθεί ότι η συμπεριφορά του γήινου φλοιού σε συνθήκες ενεργού παραμόρφωσης, ιδιαίτερα στις ηπειρωτικές περιοχές, είναι περίπλοκη. Μέχρι πρόσφατα ήταν δύσκολο να προτυποποιηθεί με επάρκεια και ακρίβεια. Η περιπλοκότητα του φαινομένου της παραμόρφωσης είναι παρούσα τόσο σε τοπικό επίπεδο, π.χ. η αλληλεπίδραση μεταξύ συστήματος ρηγμάτων, όσο και σε ευρύ επίπεδο, π.χ. η κινηματική συμπεριφορά μεταξύ ηπείρων. Η δυνατότητα ποσοτικής εκτίμησης της τρέχουσας παραμόρφωσης του γήινου φλοιού περιοριζόταν από την έλλειψη των κατάλληλων μεθόδων παρατήρησης, που θα επέτρεπαν την με ακρίβεια ποσοτικοποίηση των εκτεταμένων και περίπλοκων μοτίβων μετακίνησης του φλοιού. Αυτός ο περιορισμός, ουσιαστικά, έχει ξεπεραστεί χάρις στην ευρεία χρήση των παρατηρήσεων της δορυφορικής γεωδαισίας, ιδιαίτερα την τελευταία εικοσαετία.

Η κύρια δυσκολία στην προτυποποίηση της παραμόρφωσης του φλοιού οφείλεται στο ότι η χωρική κατανομή της αντοχής της λιθόσφαιρας παρουσιάζει σημαντική ετερογένεια. Στο ψαθυρό/ελαστικό (brittle/elastic) άνω τμήμα του φλοιού οι ζώνες των ρηγμάτων είναι πιο αδύναμες (η παραμόρφωση εκδηλώνεται σε μικρότερες τάσεις) από τις περιβάλλουσες περιοχές. Στο πλαστικό (ductile) βαθύτερο τμήμα του φλοιού και στην πάνω ζώνη του μανδύα, η αντοχή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, σε σημαντικό βαθμό από το είδος του πετρώματος, τη θερμοκρασία, και την τάση. Με δεδομένη τη περιπλοκότητα αυτή διαμορφώθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για να περιγράψουν με απλά μοντέλα την λιθοσφαιρική παραμόρφωση. Η μία αφορά στην προσέγγιση των μπλοκ ή μικροπλακών και έχει εφαρμοσθεί σχεδόν αποκλειστικά για να περιγράψει την κινηματική συμπεριφορά του γήινου φλοιού. Η δεύτερη βασίζεται στην μηχανική του συνεχούς μέσου, ρηγματωμένου ή μη, και συνενώνει την κινηματική και την δυναμική έχοντας ως προϋπόθεση ότι οι πλαστικές ιδιότητες της λιθόσφαιρας ελέγχουν την

παραμόρφωση (Thatcher 2009).

Η παρούσα εργασία ασχολείται αποκλειστικά με κινηματικά μοντέλα, συνεπώς ακολουθεί την πρώτη προσέγγιση. Τα δεδομένα σε οποιοδήποτε κινηματικό μοντέλο είναι τα μη συνεχή πεδία μετακινήσεων που προκύπτουν από επαναλαμβανόμενες δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις, συνηθέστερα με το σύστημα GPS. Έτσι τα δεδομένα μπορεί να είναι απευθείας **μετακινήσεις, ετήσιοι ρυθμοί μετακίνησης (ταχύτητες)** όπως αυτές προκύπτουν από τις μετρήσεις ή **ομαλοποιημένες ταχύτητες (normalized velocities)**. Για να είναι δυνατή η εκτίμηση των τελευταίων θα πρέπει να είναι διαθέσιμες μετρήσεις GPS από τουλάχιστον τρεις περιόδους παρατηρήσεων ή να χρησιμοποιούνται στοιχεία από “μόνιμους” GPS σταθμούς παρατήρησης. Οι ομαλοποιημένες ταχύτητες στις περιπτώσεις αυτές προκύπτουν είτε, στην απλούστερη περίπτωση, από μοντέλα **γραμμικής παρεμβολής (linear regression)**, ή από πιο περίπλοκα μοντέλα ανωτέρου βαθμού, που επιχειρούν να περιγράψουν περιοδικά ή ήμι-περιοδικά φαινόμενα κάποιων σταθμών (Nikolaidis 2002, Ostini 2012).

Η εξέταση των πεδίων ταχυτήτων επιτρέπει τον εντοπισμό υποπεριοχών με ομοιόμορφη μετακίνηση. Τέτοιες υποπεριοχές μπορεί να παρουσιάζουν συστηματική **μετάθεση άκαμπτου σώματος (rigid body translation)** προς κάποια κατεύθυνση ή και **ενιαία στροφή (rigid body rotation)**. Ένας τρόπος εκτίμησης της στροφής αυτής είναι ο υπολογισμός του **πόλου στροφής κατά Euler (Euler 1775)**.

Τα πεδία των ομαλοποιημένων ταχυτήτων είναι η συνηθέστερη απεικόνιση της κινηματικής συμπεριφοράς μιας περιοχής. Είναι επίσης, δυνατόν να ομαδοποιηθούν τα πεδία ταχυτήτων σε υποσύνολα διανυσμάτων που παρουσιάζουν παρόμοιο μέγεθος και φορά και να απεικονισθούν αυτά τα επιμέρους υποσύνολα με τον **τανυστή του ρυθμού της ανηγμένης παραμόρφωσης (strain tensor)** στο εσωτερικό κάθε επιλεγμένης υποπεριοχής (Veis et al. 1992). Τα υποσύνολα αυτά είναι δυνατόν να αποτελούνται από απλά τρίγωνα, με τρία διανύσματα μετακίνησης στις κορυφές τους ή να ομαδοποιούν διανύσματα ευρύτερων περιοχών.

4.2 Τανυστής του Ρυθμού της Ανηγμένης Παραμόρφωσης

Οι τεκτονικές παραμορφώσεις χαρακτηρίζονται από ασυνέχεια τόσο στο χώρο (π.χ. ρηγματωμένο συνεχές μέσο από την παρουσία των ρηγμάτων) και στο χρόνο (επεισο-

διακή κίνηση λόγω σεισμού). Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις, ανάλογα με την κλίμακα του χώρου και του χρόνου, είναι δυνατόν να αντιμετωπισθεί ως πρόβλημα συνεχούς μέσου και η ασυνέχεια να διερευνηθεί ξεχωριστά (Veis et al. 1992). Εξ άλλου, είναι προφανές ότι για να διερευνηθούν λεπτομερώς οι ασυνέχειες απαιτείται ένα πολύ πυκνό στο χώρο και στο χρόνο δίκτυο σημείων ελέγχου. Τέτοια δίκτυα ελέγχου με τις ανάλογες ακρίβειες παρέχουν οι γεωδαιτικές μέθοδοι από παλιά. Σήμερα, με τις δυνατότητα εγκατάστασης μόνιμων σταθμών GPS οι δυσχέρειες στην αντιμετώπιση της ασυνέχειας έχουν εν μέρει αρθεί, αλλά η διαδικασία αυτή παραμένει μια πολύ δαπανηρή λύση.

Γενικά, οι δορυφορικές παρατηρήσεις επιτρέπουν την διερεύνηση της τεκτονικής συμπεριφοράς στις τρεις διαστάσεις. Ωστόσο, η τρίτη συνιστώσα των παρατηρήσεων GPS, που αποτελούν και την πλειοψηφία των διαθέσιμων δορυφορικών παρατηρήσεων, παραμένει, σε σχέση με τις οριζοντιογραφικές συνιστώσες, μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη σε αβεβαιότητα. Συνεπώς, το πρόβλημα των μετακινήσεων προτιμάται να αντιμετωπίζεται διαχωρίζοντας την οριζοντιογραφία από την τρίτη διάσταση.

Χρησιμοποιώντας τα διανύσματα μετακίνησης που προκύπτουν με γεωδαιτικές μεθόδους, είναι δυνατή η μελέτη της παραμόρφωσης του γήινου φλοιού είτε σύμφωνα με τις διαδικασίες που ακολουθούνται στη μελέτη παραμορφώσεων για τις χαρτογραφικές προβολές, ή για τη θεωρία της ελαστικότητας και της μηχανικής του συνεχούς μέσου (Veis et al. 1992).

Ακολούθως, δίνεται συνοπτικά το μοντέλο δισδιάστατης γραμμικής παραμόρφωσης, που ακολουθείται ευρέως διεθνώς σε ανάλογες μελέτες, θεωρώντας ότι η περιοχή που εξετάζεται παραμορφώνεται ομογενώς στο εσωτερικό της. Εξ άλλου, τα σχετικά μικρά μεγέθη των μετακινήσεων του γήινου φλοιού, καθώς και η σχετικά περιορισμένη έκταση των περιοχών μελέτης επιτρέπουν τη χρήση της διαφορικής θεωρίας της ελαστικής παραμόρφωσης, δηλαδή της γραμμικής προσέγγισης χωρίς να υπάρχει απώλεια της απαιτούμενης ακρίβειας (Αγατζά-Μπαλοδήμου et al. 1994, Agatza-Balodimou et al. 2002, Veis et al. 1992).

Συνεπώς, ακολουθείται το μοντέλο της διαφορικής ελαστικής ανηγμένης παραμόρφωσης (infinitesimal elastic strain) με γενική έκφραση την:

$$(E_i^j - E_i^0) = [\dot{d}_E + \dot{e}_E(E_i - E_0) + \dot{e}_N(N_i - N_0)](t^j - t^0) \quad (4.1)$$

$$(N_i^j - N_i^0) = [\dot{d}_N - \dot{e}_E(E_i - E_0) + \dot{e}_N(N_i - N_0)](t^j - t^0) \quad (4.2)$$

όπου

(E_i^j, N_i^j) συνιστώσα προς Ανατολάς και Βορρά του σημείου i την εποχή j

(E_i^0, N_i^0) συνιστώσα προς Ανατολάς και Βορρά του σημείου i την εποχή αναφοράς

$(E_i - E_0), (N_i - N_0)$ θέση του σημείου i ως προς το σημείο αναφοράς

(\dot{d}_E, \dot{d}_N) συνιστώσες του ρυθμού της μετάθεσης άκαμπτου σώματος

(\dot{e}_E, \dot{e}_N) ρυθμοί διαστολής που εκφράζουν την παραμόρφωση κλιμακας

$(\dot{\epsilon}_E, \dot{\epsilon}_N)$ ρυθμοί μικρών στροφών των Καρτεσιανών αξόνων E, N

(t^0, t^j) εποχή αναφοράς και εποχή j

Σε μορφή πινάκων το μοντέλο εκφράζεται ως

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_i^j - E_i^0 \\ N_i^j - N_i^0 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{d}_E \\ \dot{d}_N \end{bmatrix} (t^j - t^0) + \begin{bmatrix} \dot{e}_E & \dot{\epsilon}_N \\ -\dot{\epsilon}_E & \dot{e}_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_i - E_0 \\ N_i - N_0 \end{bmatrix} (t^j - t^0) = \\ & \begin{bmatrix} \dot{d}_E \\ \dot{d}_N \end{bmatrix} (t^j - t^0) + \begin{bmatrix} \dot{\rho} + \frac{\dot{\gamma}_1}{2} & \dot{\omega} + \frac{\dot{\gamma}_2}{2} \\ -(\dot{\omega} - \frac{\dot{\gamma}_2}{2}) & \dot{\rho} - \frac{\dot{\gamma}_1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_i - E_0 \\ N_i - N_0 \end{bmatrix} (t^j - t^0) \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\dot{\delta} = (\dot{d} + \dot{E}\delta x)\delta t$$

Προφανώς, ο πίνακας E δεν είναι άλλος από τον δεύτερης τάξης διαφορικό τανυστή της ανηγμένης παραμόρφωσης (**second order infinitesimal strain tensor**), ενώ οι παράμετροι γ_1, γ_2 είναι οι διατμητικές συνιστώσες του ρυθμού της ανηγμένης παραμόρφωσης (**shear strain rate components**), ω είναι ο ρυθμός στροφής του άκαμπτου σώματος (**solid body rotation rate**) και ρ ο ρυθμός μεγέθυνσης (**dilatation rate**). Από τις προηγούμενες παραμέτρους του τανυστή της ανηγμένης παραμόρφωσης μπορούν να υπολογισθούν οι ρυθμοί της μέγιστης και ελάχιστης παραμόρφωσης κλίμακας (maximum and minimum strain rates), e_{max} και e_{min} , δηλαδή οι άξονες της έλλειψης του ρυθμού της ανηγμένης παραμόρφωσης (strain rate ellipse), καθώς και το αζιμούθιο της e_{max} , αλλά και ο ολικός ρυθμός διάτμησης (total shear rate) $\dot{\gamma} = (\dot{\gamma}_1^2 + \dot{\gamma}_2^2)^{1/2}$.

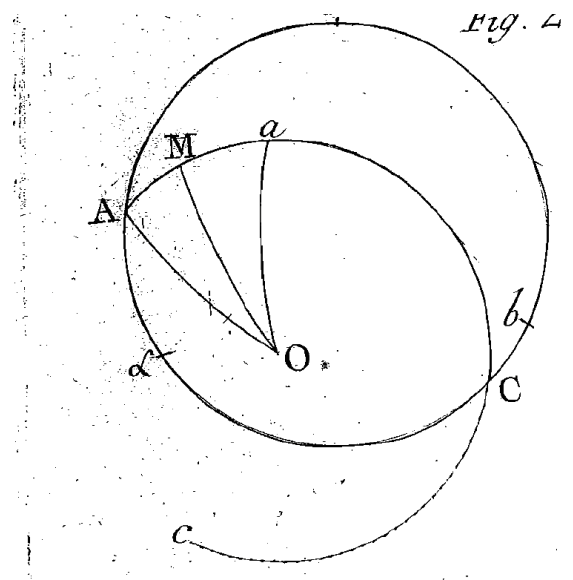
Ας σημειωθεί ότι αν προστεθεί η μονάδα στις e_{max} και e_{min} προκύπτουν οι κύριοι άξονες μιας έλλειψης που απεικονίζει τον μοναδιαίο κύκλο μετά την παραμόρφωση. Η έλλειψη αυτή είναι γνωστή στη Χαρτογραφία ως δείκτης Tissot.

4.3 Πόλος Στροφής του Euler

Το 1775 ο γνωστός μαθηματικός Euler διατύπωσε το θεώρημα “Quomodocunque sphaera circa centrum suum conuertatur, semper assignari potest diameter, cuius directio in situ translato conueniat cum situ initiali” το οποίο σε ελεύθερη μετάφραση σημαίνει ότι αν μια σφαίρα περιστρέφεται γύρω από το κέντρο της είναι πάντα δυνατόν να βρεις μια διάμετρο της οποίας η διεύθυνση παραμένει η ίδια με την αρχική και στην μετατοπισμένη της θέση.

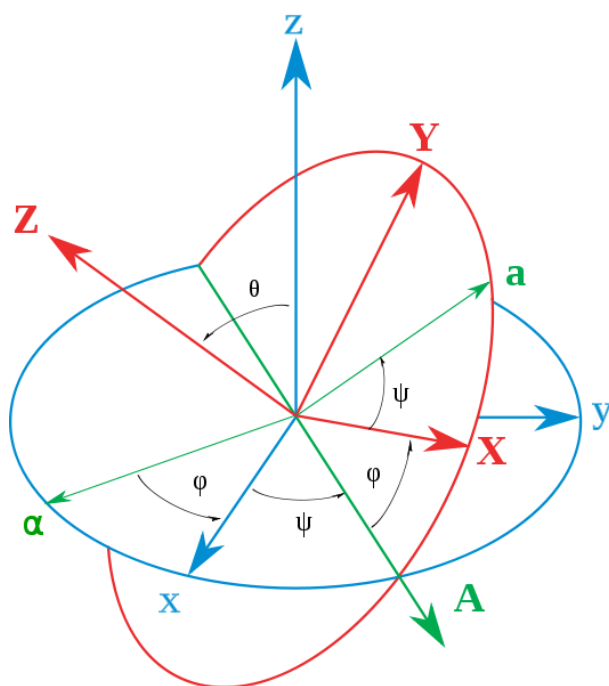
Στη γεωμετρία το θεώρημα του Euler αναφέρει ότι στον τρισδιάστατο χώρο, κάθε μετακίνηση ενός άκαμπτου στερεού σώματος τέτοια ώστε ένα σημείο του στερεού να παραμένει σταθερό, ισοδυναμεί με μία στροφή γύρω από έναν άξονα, που περνά από αυτό το σημείο. Το σημείο τομής του άξονα με την επιφάνεια περιστροφής ονομάζεται πόλος του Euler. Η επέκταση του θεωρήματος σε φαινόμενα που εξελίσσονται με τον χρόνο οδηγεί στην έννοια του στιγμιαίου πόλου περιστροφής.

Με όρους γραμμικής άλγεβρας το θεώρημα αναφέρει ότι στον τρισδιάστατο χώρο, δύο τυχαία συστήματα καρτεσιανών συντεταγμένων, με κοινή αρχή, συνδέονται με μια περιστροφή γύρω από έναν σταθερό άξονα. Για να το αποδείξει αυτό ο Euler θεωρεί ένα μέγιστο κύκλο στην σφαίρα και τον αντίστοιχο στον οποίο αυτός καταλήγει μέσω της κίνησης (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Το αρχικό σχήμα του Euler (Euler 1775).

Figure 4.1: Euler's original scheme (Euler 1775).



Σχήμα 4.2: Η γεωμετρική κατασκευή που δείχνει την περιστρεφόμενη σφαίρα όπου οι γωνίες στροφής Euler είναι οι ψ , ϕ και θ . Το μπλε πλαίσιο αναφέρεται στην αρχική σφαίρα ενώ το κόκκινο στην περιστρεφόμενη. Η κοινή διάμετρος των δύο κύκλων ορίζει το σημείο A του θεωρήματος. Τα τόξα Aa και Aa πρέπει να είναι ίσα. (http://en.wikipedia.org/wiki/Euler%27_rotation_theorem)

Figure 4.2: Construction showing the theorem for a rotated sphere whose Euler angles are ψ , ϕ and θ . Frame in blue is attached to the fixed sphere. Frame in red is fixed to the rotated sphere. The line of nodes N determines the point A of the theorem. The arcs Aa and Aa must be equal (http://en.wikipedia.org/wiki/Euler%27_rotation_theorem)

Αυτοί οι δύο κύκλοι τέμνονται σε δύο σημεία και A και C. Το σημείο A ανήκει στον αρχικό κύκλο και μεταφέρεται στο σημείο a στον δεύτερο κύκλο (Σχήμα 4.2).

Παράλληλα το A βρίσκεται στον δεύτερο κύκλο και άρα αντιστοιχεί με το σημείο a στον αρχικό. Το τόξο aA πρέπει να είναι ίδιο με το τόξο Aa. Στη συνέχεια πρέπει να κατασκευαστεί ένα σημείο O πάνω στη σφαίρα, το οποίο είναι στην ίδια θέση όσον αφορά τα τόξα aA και Aa. Αν ένα τέτοιο σημείο υπάρχει τότε οι αποστάσεις OA και Oa είναι ίσες μεταξύ τους και τα τόξα Oa και OA επίσης, καθώς και οι γωνίες OaA και OAa είναι ίσες μεταξύ τους.

Και οι γωνίες OAa και OaA πρέπει να είναι ίσες μεταξύ τους από την στιγμή που τα Oa και OA έχουν το ίδιο μήκος. Αυτό συνεπάγεται πως OAa και OAa είναι επίσης ίσα άρα το σημείο O βρίσκεται στην ευθεία που διχοτομεί την aAa. Το τόξο aO μπορεί να κατασκευαστεί έτσι ώστε η γωνία AaO να είναι ίση με την aAO (Euler 1775).

Στο σχήμα Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται οι 3 γωνίες στροφής που προκύπτουν από την περιστροφή ενός μέγιστου κύκλου γύρω από ένα σημείο.

4.4 Η Εφαρμογή του Θεωρήματος του Euler στην Θεωρία των Τεκτονικών Πλακών

Το θεώρημα του Euler εφαρμόζεται για τον υπολογισμό σχετικών κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών. Με την υπόθεση πως οι πλάκες κινούνται στην επιφάνεια μιας σφαίρας σαν συμπαγή άκαμπτα σώματα μπορεί να υπολογιστεί η κίνηση τους ως περιστροφή γύρω από έναν άξονα E , ο οποίος περνά από το κέντρο της σφαίρας σύμφωνα με το θεώρημα του Euler ή διαφορετικά το σημείο τομής του άξονα με την επιφάνεια της γης είναι ο πόλος της περιστροφής αυτής (Σχήμα 4.3). Ας σημειωθεί ότι πόλος του Euler είναι το μοναδικό σημείο που παραμένει σταθερό όταν κινούνται οι δύο πλάκες.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η αρχική θέση και ο προσανατολισμός μιας πλάκας S και η τελική της θέση S' . Η μετατόπιση της πλάκας μεταξύ των δύο θέσεων εκφράζεται με την περιστροφή ω γύρω από τον άξονα E που διέρχεται από το κέντρο της γης. Ο άξονας περιστροφής E τέμνει την επιφάνεια της γης στο σημείο που είναι γνωστό σαν πόλος στροφής Euler και ορίζεται από τη γεωγραφική του θέση ϕ , λ . Επομένως, η μετακίνηση μιας πλάκας μπορεί να εκφρασθεί σαν $rot(\phi, \lambda, \omega)$, όπου ω η γωνία στροφής.

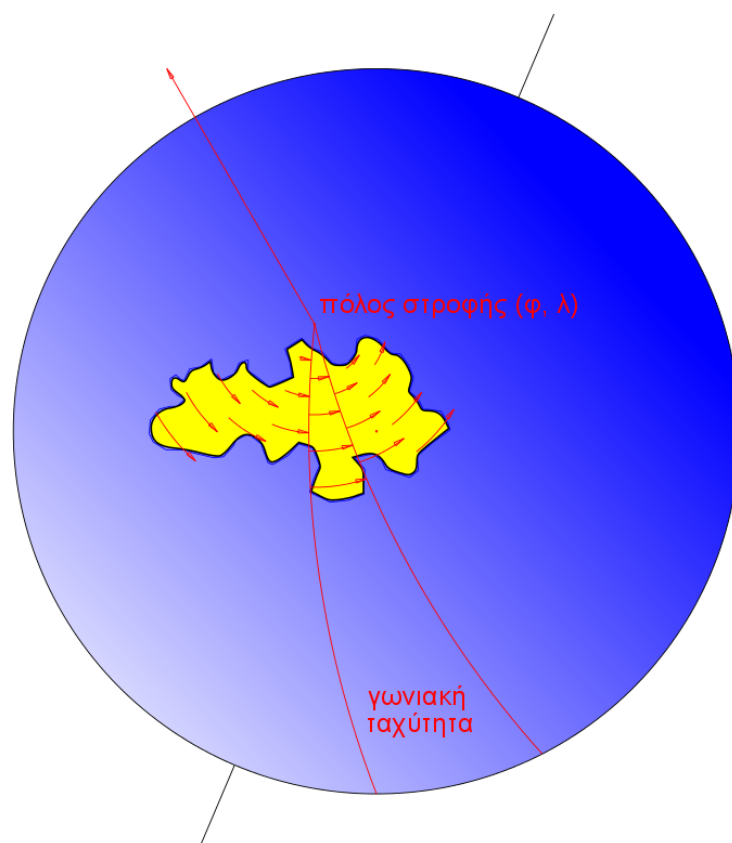
Η χρήση της δορυφορικής γεωδαισίας, τα τελευταία 30 περίπου χρόνια, έχει συνεισφέρει σημαντικά στο να είναι δυνατός ο υπολογισμός των σχετικών κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών, επειδή είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση τους και ο υπολογισμός ταχυτήτων σε επιλεγμένα σημεία πάνω σε αυτές τόσο στα όρια τους όσο και στην ενδοχώρα.

Η αξιοποίηση αυτών των ταχυτήτων επιτρέπει τον υπολογισμό του πόλου Euler, αλλά και του αντιστρόφου προβλήματος, όπου υπολογίζονται ταχύτητες σε μη γνωστά σημεία με γνωστές τις παραμέτρους του πόλου.

Η ταχύτητα ενός σημείου P_i από το διάνυσμα στροφής δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\vec{v}_i = \vec{\omega} \times \vec{r}_i \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} &= -\vec{r}_i \times \vec{\omega} \\ &= R_i \cdot \vec{\omega} \end{aligned} \quad (4.5)$$

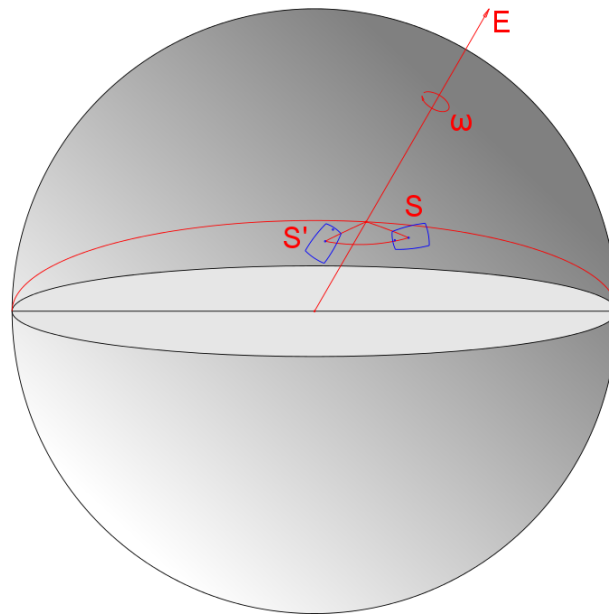


Σχήμα 4.3: Σύμφωνα με το θεώρημα του Euler η κίνηση μιας πλάκας σε μια σφαίρα μπορεί να εκφραστεί ως περιστροφή γύρω από έναν άξονα που περνά από το κέντρο της σφαίρας.

Figure 4.3: According Euler's theorem the movement of a plate on a sphere can be expressed as the rotation around a pole that sects the center of the sphere.

όπου $\vec{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$ το διάνυσμα στροφής, $\vec{v}_i = (v_{x_i}, v_{y_i}, v_{z_i})^T$ η ταχύτητα του σημείου P_i και $\vec{r}_i = (r_{x_i}, r_{y_i}, r_{z_i})^T$ το διάνυσμα θέσης του σημείου P_i .

Είναι γνωστό πως το σχήμα της γης προσεγγίζεται καλύτερα από ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Το υπολογιστικό μοντέλο του Euler όμως, αναφέρεται στην σφαίρα. Το ίδιο συμβαίνει και για τον υπολογισμό θεωρητικών ταχυτήτων στην επιφάνεια της γης χρησιμοποιώντας ένα πόλο στροφής. Η παραδοχή χρησιμοποίησης μια σφαίρας αντί του ελλειψοειδούς είναι αποδεκτή γιατί δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Η μεγαλύτερη διαφορά στο γεωγραφικό πλάτος μεταξύ σφαίρας και ελλειψοειδούς είναι περίπου $11'$ που αντιστοιχεί σε διαφορά συντεταγμένων της τάξης των $0.2^\circ \approx 22\text{Km}$ και σε μια μέγιστη διαφορά ταχύτητας μικρότερη του 0.1mm/yr αν οι ταχύτητες είναι της τάξης μερικών cm/yr . Αυτές οι τιμές βρίσκονται στα αποδεκτά όρια σφάλματος για τον προσδιορισμό της θέσης του πόλου (μερικές δεκάδες mm/yr για τις ταχύτητες και αρκετά δέκατα της μοίρας έως και 2° για την θέση του πόλου) (Hollenstein 2007).



Σχήμα 4.4: Η κίνηση μιας λιθοσφαιρικής πλάκας εκφρασμένη ως στροφή γύρω από έναν πόλο E.

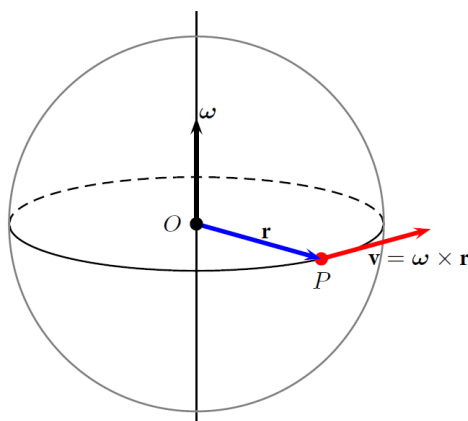
Figure 4.4: The movement of a tectonic plate expressed as the rotation around a pole E.

Παρ' όλα αυτά είναι σημαντικό για να υπάρχει συμβατότητα στα αποτελέσματα οι θέσεις των σημείων καθώς και του πόλου στροφής να αναφέρονται στην ίδια επιφάνεια αναφοράς.

Με την παραδοχή αυτή, το μέτρο της στροφής του πόλου καθώς και η θέση του δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 |\omega| &= \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} \\
 \lambda &= \arctan\left(\frac{\omega_y}{\omega_x}\right) \\
 \phi &= \arctan\left(\frac{\omega_z}{\sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Στην παρούσα εργασία όλες οι θέσεις και οι ταχύτητες των σημείων μετατράπηκαν από το ελλειψοειδές στη σφαίρα, έτσι ώστε ο υπολογισμός να γίνεται εξ ολοκλήρου στη σφαίρα. Η ακτίνα της Γης που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέση στην περιοχή μελέτης.

Σχήμα 4.5: Διάνυσμα στροφής ω .Figure 4.5: Rotation vector ω .

4.5 Υπολογισμός Πόλου Στροφής από Πεδίο Τεκτονικών Ταχυτήτων

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα η ταχύτητα \vec{v} ενός σημείου P με διάνυσμα θέσης \vec{r} (Σχήμα 4.5) δίνεται μέσω του διανύσματος στροφής $\vec{\omega}$ από την γνωστή σχέση σχέση 4.4.

Θεωρούμε τώρα τις συνιστώσες της ταχύτητας $\vec{v}(v_n, v_e, v_u)$ στη θέση P . Η κατακόρυφη συνιστώσα v_u είναι μηδέν (Σχέση 4.4), επειδή είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζουν οι άλλες δύο συνιστώσες και συνεπώς, είναι συγγραμική με το διάνυσμα θέσης \vec{r} , οπότε το εξωτερικό γινόμενο έχει μόνο οριζόντιες συνιστώσες. Για τις άλλες δύο συνιστώσες και τα μοναδιαία διανύσματα των αξόνων του τοπογραφικού συστήματος συντεταγμένων ($\vec{\eta}_n, \vec{\eta}_e, \vec{\eta}_u$) ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned} v_n &= \vec{v} \cdot \vec{\eta}_n \\ v_e &= \vec{v} \cdot \vec{\eta}_e \end{aligned} \quad (4.7)$$

ή

$$\begin{aligned} v_n &= (\vec{\omega} \times \vec{r}) \cdot \vec{\eta}_n \\ v_e &= (\vec{\omega} \times \vec{r}) \cdot \vec{\eta}_e \end{aligned} \quad (4.8)$$

ή

$$\begin{aligned} v_n &= (\vec{r} \times \vec{\eta}_n) \cdot \vec{\omega} \\ v_e &= (\vec{r} \times \vec{\eta}_e) \cdot \vec{\omega} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Αν η θέση του σημείου P είναι (ϕ, λ) , τότε το διάνυσμα θέσης \vec{r} δίνεται από την σχέση 4.10, όπου R_G η ακτίνα της γης για ένα μέσο πλάτος ϕ_μ της της περιοχής που μελετάται.

$$\vec{r} = R_G (\cos \lambda \cos \phi, \sin \lambda \cos \phi, \sin \phi)^T \quad (4.10)$$

Από τον ορισμό του τοποκεντρικού συστήματος αναφοράς, τα μοναδιαία διανύσματα $\vec{\eta}_n, \vec{\eta}_e$ είναι:

$$\begin{aligned} \vec{\eta}_n &= (-\cos \lambda \sin \phi, -\sin \lambda \sin \phi, \cos \phi)^T \\ \vec{\eta}_e &= (-\sin \lambda, \cos \lambda, 0)^T \end{aligned} \quad (4.11)$$

Με εφαρμογή των 4.9, 4.10, 4.11, προκύπτει

$$\begin{pmatrix} v_n \\ v_e \end{pmatrix} = R_G \begin{pmatrix} \sin \lambda & -\cos \lambda & 0 \\ -\cos \lambda \sin \phi & -\sin \lambda \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

Τα αρχικά δεδομένα είναι ένα σύνολο σημείων m με εξ υπολογισμού προσδιορισμένες ταχύτητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως ψευδοπαρατηρήσεις για τον υπολογισμό του πόλου στροφής.

$$\vec{v}_{obs(i)} = (v_{obs(n_i)}, v_{obs(e_i)})^T \quad \text{όπου } i = 1, \dots, m \quad (4.13)$$

Για κάθε σημείο i δίνεται ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας των ταχυτήτων (4.14).

$$C_i = \begin{pmatrix} \sigma_{v_{n_i}}^2 & \sigma_{v_{n_i}v_{e_i}} \\ \sigma_{v_{n_i}v_{e_i}} & \sigma_{v_{e_i}}^2 \end{pmatrix} \quad \text{όπου } i = 1, \dots, m \quad (4.14)$$

Σε περίπτωση που η συμμεταβλητότητα είναι μηδενική ο πίνακας C_i γίνεται διαγώνιος.

Με βάση την Σχέση 4.12 η διατύπωση της αρχής της MET γράφεται ως:

$$\vec{v}_i = A_i \vec{\omega} \quad \text{για } i = 1, \dots, m \quad (4.15)$$

όπου ο υποπίνακας σχεδιασμού (ή πίνακας των συντελεστών των αγνώστων παραμέτρων) για κάθε σημείο i είναι:

$$A_i = R_G \begin{pmatrix} \sin \lambda_i & -\cos \lambda_i & 0 \\ -\cos \lambda_i \sin \phi_i & -\sin \lambda_i \sin \phi_i & \cos \phi_i \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

Σύμφωνα με την αρχή των Ελαχίστων Τετραγώνων η λύση για το διάνυσμα $\vec{\omega}$ προκύπτει από ελαχιστοποίηση της παράστασης:

$$\min_{\omega} \{(v_{obs} - \hat{v})^T C^{-1} (v_{obs} - \hat{v})\} \quad (4.17)$$

ή

$$\min_{\omega} \{(v_{obs} - A\hat{\omega})^T C^{-1} (v_{obs} - A\hat{\omega})\} \quad (4.18)$$

όπου

$$v_{obs} = \underbrace{\begin{pmatrix} v_{obs(n_1)} \\ v_{obs(e_1)} \\ v_{obs(n_2)} \\ v_{obs(e_2)} \\ \vdots \\ v_{obs(n_m)} \\ v_{obs(e_m)} \end{pmatrix}}_{2m \times 1} \quad \text{και} \quad \hat{v} = \underbrace{\begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{pmatrix}}_{2m \times 3} \cdot \hat{\omega} \quad (4.19)$$

Ο σύνθετος πίνακας βαρών C^{-1} διαστάσεων $2m \times 2m$ είναι διαγώνιος γιατί τόσο τα σημεία όσο και οι συνιστώσες της ταχύτητας θεωρούνται στατιστικά ανεξάρτητα. Ο πίνακας βαρών δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C^{-1} = \begin{pmatrix} C_1^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_2^{-1} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & C_m^{-1} \end{pmatrix} \quad (4.20)$$

με τα C_i να δίνονται από την σχέση 4.14.

Το πρόβλημα των ελαχίστων τετραγώνων (4.18) είναι γραμμικό ως προς τις παραμέτρους $\vec{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$. Η λύση του, δηλαδή το διάνυσμα των αγνώστων καθοριστικών παραμέτρων, είναι:

$$\hat{\omega} = (A^T C^{-1} A)^{-1} A^T C^{-1} v_{obs} \quad (4.21)$$

Το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{(v_{obs} - A\hat{\omega})^T C^{-1} (v_{obs} - A\hat{\omega})}{2m - 3}} \quad (4.22)$$

Επειδή έχουμε $2m$ ταχύτητες (m θέσεις με ταχύτητες στις δύο συνιστώσες) και 3 παραμέτρους ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) το σύστημα έχει $2m - 3$ βαθμούς ελευθερίας.

Ο a posteriori πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του διανύσματος των αγνώστων παραμέτρων C_ω είναι:

$$C_\omega = \sigma_0^2 (A^T C^{-1} A)^{-1} \quad (4.23)$$

Είναι σημαντικό να γίνουν κάποια στατιστικά τεστ έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα χονδροειδή σφάλματα που μπορεί να υπάρχουν στις παρατηρήσεις. Για τον αυτό σκοπό θα χρησιμοποιηθούν τα κανονικοποιημένα υπόλοιπα (standardized residuals). Αυτό το στατιστικό τεστ δίνει την δυνατότητα να εκτιμηθεί ποιες από τις αρχικές τιμές των ταχυτήτων, που αποτελούν το διάνυσμα παρατηρήσεων, ικανοποιούν το μοντέλο για τον πόλο στροφής που υπολογίστηκε, για συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας (*Mikhail and Gracie 1981, Αγατζά-Μπαλοδήμου 2005*).

Το κανονικοποιημένο υπόλοιπο \tilde{v}_i μιας παρατήρησης i ορίζεται ως το πηλίκο του υπολοίπου των ταχυτήτων $v_i = v_{obs(i)} - \hat{v}_i$ προς το τυπικό σφάλμα του υπολοίπου σ_{v_i} . Οπότε για κάθε σημείο και για κάθε συνιστώσα $v_{v_{n_i}}$ και $v_{v_{e_i}}$ προκύπτει:

$$\tilde{v}_i = \frac{v_i}{\sigma_i} \quad (4.24)$$

Το σφάλμα του υπολοίπου σ_{v_i} υπολογίζεται για τις δύο συνιστώσες της ταχύτητας (κατά τον βορρά και την ανατολή) αντίστοιχα από τις σχέσεις

$$\begin{aligned} \sigma_{v_{n_i}} &= \sigma_0 \sqrt{C_i(1,1) - A_i(A^T C^{-1} A)^{-1} A_i^T(1,1)} \\ \sigma_{v_{e_i}} &= \sigma_0 \sqrt{C_i(2,2) - A_i(A^T C^{-1} A)^{-1} A_i^T(2,2)} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Τα κανονικοποιημένα υπόλοιπα ακολουθούν (κατά προσέγγιση) την κατανομή Student, εφόσον αναφέρονται σε σχετικά μικρό αριθμό δεδομένων (ταχυτήτων, $m < 30$). Σε

αντίθετη περίπτωση θεωρείται πως ακολουθείται η τυπική κανονική κατανομή. Έτσι είναι δυνατόν να συγκρίνουμε τις τιμές των \tilde{v}_i με μια κρίσιμη τιμή $T_{\alpha/2}$ της Student για επίπεδο σημαντικότητας α . Η παρατήρηση με το μεγαλύτερο κανονικοποιημένο υπόλοιπο που υπερβαίνει αυτήν την κρίσιμη τιμή αφαιρείται από το δείγμα και επαναλαμβάνεται η συνόρθωση. Για την παρούσα εργασία επιλέγεται επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, δηλαδή επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (Mikhail and Gracie 1981, Αγατζά-Μπαλοδήμου 2005).

Τα *a posteriori* τυπικά σφάλματα για τις συνιστώσες του διανύσματος στροφής $\vec{\omega}(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ δίνονται από την ρίζα των διαγώνιων στοιχείων του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας:

$$\begin{aligned}\sigma_{\omega_x} &= \sqrt{C_{\omega}(1, 1)} \\ \sigma_{\omega_y} &= \sqrt{C_{\omega}(2, 2)} \\ \sigma_{\omega_z} &= \sqrt{C_{\omega}(3, 3)}\end{aligned}\quad (4.26)$$

Όπως αναφέρθηκε αρχικά, το διάνυσμα στροφής $\vec{\omega}$ μετασχηματίζεται μέσω των εξισώσεων 4.6 και δίνει την θέση του πόλου στροφής (ϕ, λ) καθώς και την γωνιακή του ταχύτητα.

Σύμφωνα με τον νόμο μετάδοσης μεταβλητοτήτων ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας του πόλου στροφής C_p δίνεται από την εξίσωση $C_p = J C_{\omega} J^T$ όπου J ο Ιακωβιανός πίνακας του μετασχηματισμού της σχέσης 4.6.

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial|\omega|}{\partial\omega_x} & \frac{\partial|\omega|}{\partial\omega_y} & \frac{\partial|\omega|}{\partial\omega_z} \\ \frac{\partial\lambda}{\partial\omega_x} & \frac{\partial\lambda}{\partial\omega_y} & \frac{\partial\lambda}{\partial\omega_z} \\ \frac{\partial\phi}{\partial\omega_x} & \frac{\partial\phi}{\partial\omega_y} & \frac{\partial\phi}{\partial\omega_z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\omega_x}{|\omega|} & \frac{\omega_y}{|\omega|} & \frac{\omega_z}{|\omega|} \\ -\frac{\omega_y}{\sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}} & \frac{\omega_x}{\sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}} & 0 \\ -\frac{\omega_x \omega_y}{|\omega|^2 \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}} & -\frac{\omega_y \omega_z}{|\omega|^2 \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}} & \frac{\sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}}{|\omega|^2} \end{pmatrix}\quad (4.27)$$

Τα *a posteriori* τυπικά σφάλματα για το μέτρο της στροφής και την θέση του πόλου $|\omega|, \phi, \lambda$ δίνονται από την τετραγωνική ρίζα της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας

- συμμεταβλητότητας:

$$\begin{aligned}\sigma_{|\omega|} &= \sqrt{C_p(1, 1)} \\ \sigma_{\lambda} &= \sqrt{C_p(2, 2)} \\ \sigma_{\phi} &= \sqrt{C_p(3, 3)}\end{aligned}\tag{4.28}$$

5 Γεωδαιτικά Δίκτυα GPS

5.1 Γενικά

Από τα τέλη της δεκαετίας του 80 τα εργαστήρια Ανώτερης Γεωδαισίας και Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου σε συνεργασία με διάφορους φορείς και πανεπιστήμια του εξωτερικού, έχουν ιδρύσει σε περιοχές της Ελλάδας με έντονη σεισμική δραστηριότητα, γεωδαιτικά δίκτυα για την διαχρονική παρακολούθηση των τεκτονικών μετατοπίσεων αυτών των περιοχών.

Αυτά τα γεωδαιτικά δίκτυα σχεδιάστηκαν έτσι, ώστε να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες που δίνει η Δορυφορική Γεωδαισία και συγκεκριμένα το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS) σε έναν πρόσφατο σχετικά κλάδο της επιστήμης που λέγεται Τεκτονική Γεωδαισία. Τα αποτελέσματα που αφορούν τη μελέτη της κινηματικής μιας περιοχής, καθώς και της επιφανειακής της παραμόρφωσης συνδυασμένα με γεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα, βοηθούν στην κατανόηση των τεκτονικών μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα στην υπό μελέτη περιοχή.

Με δεδομένο πως η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού είναι μια σύγχρονη τεχνολογία που εξελίσσεται διαρκώς, οι αλλαγές και η αναβάθμιση στην πληροφορία από την εποχή των πρώτων μετρήσεων είναι σημαντικές. Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν σήμερα είναι πολύ μεγαλύτερες και η επεξεργασία των δεδομένων, λόγω εξέλιξης των υπολογιστικών μονάδων, πολύ ταχύτερη.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και η μείωση του κόστους επέτρεψε με την πάροδο των χρόνων, την ίδρυση μόνιμων δικτύων GPS για την συνεχή παρακολούθηση των τεκτονικών μετατοπίσεων σε διάφορες περιοχές. Οι μόνιμοι σταθμοί εγκαθίστανται κατά προτεραιότητα σε ασφαλή μέρη, δημόσια κτίρια κυρίως, όπου είναι διαθέσιμη παροχή ηλεκτρισμού και τηλεφωνική γραμμή για την μεταφορά των δεδομένων.

Ο πρώτος σταθμός GPS (DION) που εγκαταστάθηκε στην Ελλάδα είναι αυτός στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, ο οποίος μετράει συνεχώς από το 1995 (Σχήμα 5.1).

Όλα αυτά τα χρόνια το δίκτυο επεκτείνεται και προσπαθεί να καλύψει, κατά το δυνατόν



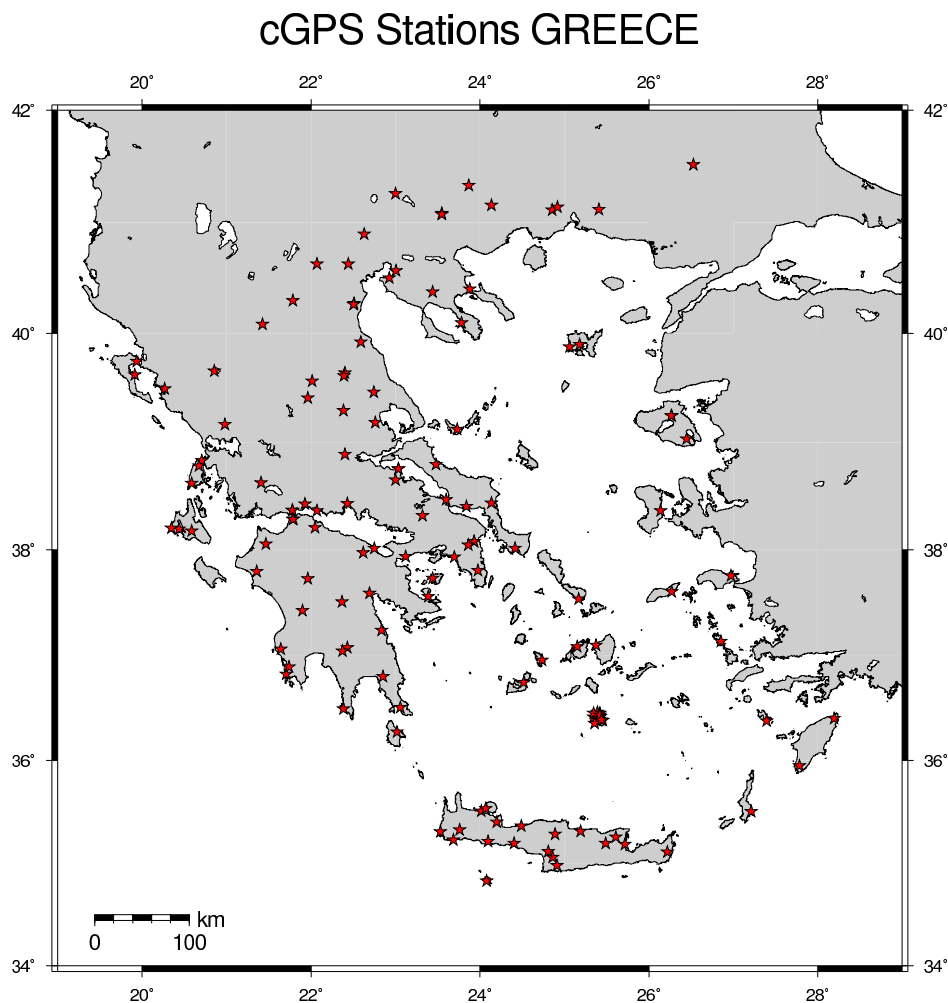
Σχήμα 5.1: Ο πρώτος μόνιμος Γεωδαιτικός Δορυφορικός σταθμός στην Ελλάδα στον Διόνυσο (DION)

Figure 5.1: The first permanent station in Greece at Dionysos area (DION)

περισσότερες περιοχές. Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται το μόνιμο δίκτυο σταθμών που είναι διαθέσιμο σήμερα (Ιούνιος 2012).

Η παρούσα εργασία εστιάζεται στην ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας, στο τρίγωνο που ορίζουν τα σημαντικά ρήγματα Αταλάντης, Πάρνηθας και Αλκυονίδων νήσων, τα οποία έχουν δώσει μεγάλους σεισμούς τα τελευταία 150 χρόνια με σημαντικές υλικές ζημιές και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, καθώς και στην περιοχή του ρήγματος του Καπαρελλίου το οποίο ενεργοποιήθηκε με τον μεγάλο σεισμό της Αθήνας του 1981. Επιπλέον στην περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκονται οι μόνιμοι σταθμοί της Αρκίτσας (ARKI) του Διονύσου (DION) και του Κρυονερίου (Kryo) ο οποίος έχει εγκατασταθεί σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης. Ο σταθμός της Αταλάντης που έχει εγκαταστήσει πρόσφατα το ΕΜΠ σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών δεν έχει ακόμα αρκετής διάρκειας παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα της επίλυσης του δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την εργασία.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 και άλλοι ερευνητικοί φορείς και πανεπιστήμια όπως το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το Πανεπιστήμιο της Πάτρας, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης καθώς και το Πανεπιστήμιο Κρήτης έχουν προχωρή-



GMD 2014 Feb 27 15:08:06 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 5.2: Μόνιμο δίκτυο γεωδαιτικών σταθμών του ΕΜΠ

Figure 5.2: Greek Continues GPS Sites (NTUA)

σει στην εγκατάσταση μόνιμων σταθμών για τον ίδιο ερευνητικό σκοπό. Στην παρούσα εργασία αναλύεται ο σταθμός NOA (Σχήμα 5.3) που ανήκει επίσημα στο EPN (EUREF Permanent) και βρίσκεται εγκατεστημένος στο Εθνικό Αστεροσκοπείο της Πεντέλης.

Η υλοποίηση των δικτύων μη μόνιμων σταθμών περιλαμβάνει πολλές φορές βάρθρα από το Εθνικό τριγωνομετρικό δίκτυο ή μεταλλικές σημάνσεις στο έδαφος. Στην πορεία των χρόνων για να εξαλειφθεί το σφάλμα κέντρωσης, κάποια από τα βάρθρα τροποποιήθηκαν, έτσι ώστε να βιδώνεται η κεραία σε σταθερή βάση, ενσωματωμένη σε αυτά.

Η επαναμέτρηση των δικτύων μη μόνιμων σταθμών τακτικά και με κάλυψη μεγαλύτερου χρονικού εύρους δίνει την δυνατότητα εκτίμησης μετακινήσεων με σχετικά μεγάλη

ακρίβεια, σε αντίθεση με τις κατακόρυφες ταχύτητες που ο υπολογισμός τους είναι λιγότερο ακριβής. Στην παρούσα εργασία αναλύονται οι παρατηρήσεις από το δίκτυο της Ευβοίας, για δύο εποχές μετρήσεων, το δίκτυο του τριγώνου Αταλάντης - Πάρνηθας - Αλκυονίδων, για τρεις εποχές μετρήσεων και το δίκτυο του Καπαρελλίου για 4 εποχές μετρήσεων. Για τον υπολογισμό των τελικών ταχυτήτων αξιοποιούνται επίσης όλα τα διαθέσιμα αποτελέσματα του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας και του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου για σημεία που βρίσκονται στην περιοχή ενδιαφέροντος από άλλες εργασίες υπαίθρου. Ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται δημοσιευμένα αποτελέσματα για την ευρύτερη περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου, για την διερεύνηση των σχετικών μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή.

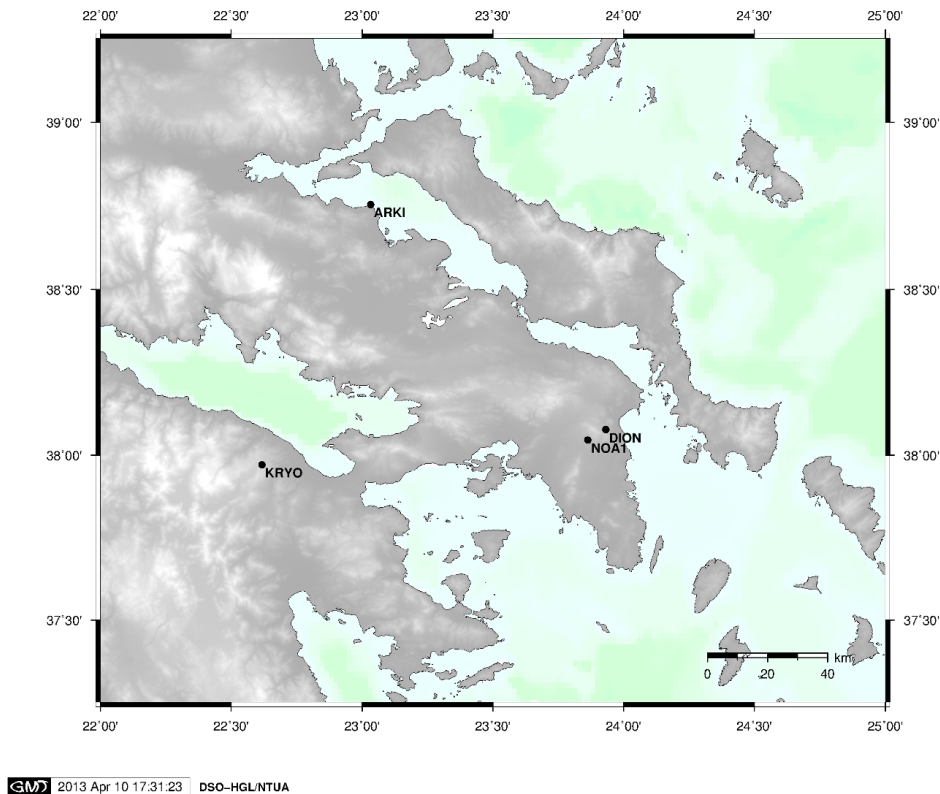


Σχήμα 5.3: Μόνιμος γεωδαιτικός σταθμός NOA (EUREF)
Figure 5.3: Permanent Geodetic Station NOA (EUREF)

5.2 Επίλυση Δικτύου Μόνιμων Σταθμών

Στην παρούσα εργασία επιλύθηκαν συνολικά 4 μόνιμοι σταθμοί (DION, ARKI, KRYO, NOA1) (Σχήμα 5.4) χρησιμοποιώντας για την επεξεργασία τα λογισμικά Bernese V4.2, Bernese V5.0 με διαφορετικές διαδικασίες επίλυσης (Πίνακας 5.1) Ο σταθμός του Διονύσου (DION), όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, μετράει συνεχώς από το 1995, ενώ της Αρκίτσας (ARKI) εγκαταστάθηκε μόνιμα τον Ιούλιο του 2001 στο φάρο που βρίσκεται

εκεί. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας τα δεδομένα των δυο σταθμών επιλύθηκαν για περίπου 4 χρόνια. Η επεξεργασία έγινε με το Bernese V.4.2 (όχι αυτόματα) και περιλαμβάνει συνορθωμένες λύσεις πενθημέρων, ανά δέκα ημέρες για κάθε μήνα. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνολικά στοιχεία για την επίλυση κάθε σταθμού. Στο Σχήμα 5.5 απεικονίζονται τα διαθέσιμα δεδομένα για όλους τους σταθμούς την τετραετία της επίλυσης.



Σχήμα 5.4: Μόνιμοι γεωδαιτικοί σταθμοί.

Figure 5.4: Permanent Geodetic Stations.

Παρατηρείται ότι η καταγραφή για το σταθμό της Αρκίτσας δεν ήταν συνεχής και αυτό οφείλεται σε προβλήματα ηλεκτροδότησης τα οποία ήταν αδύνατον, λόγω της απόστασης, να εντοπιστούν και να αποκατασταθούν αμέσως.

Οι σταθμοί IGS που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς ITRF2005 είναι τρεις: GRAZ (GRAZ), MATERA (MATE) και WETZEL (WTZR) και παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6.

Σταθμός	IGS Σταθμοί	Σύστημα Αναφοράς	Πρόγραμμα Επεξεργασίας	Συχνότητα Επίλυσης
ARKI	3	ITRF 1996	Bernese V.4.2	5 ημέρες ανά δέκα ημέρες
	16	IGS 2005	Bernese V.5.0	Ημερήσιες λύσεις συνεχώς
DION	3	ITRF 1996	Bernese V.4.2	5 ημέρες ανά δέκα ημέρες
	16	IGS 2005	Bernese V.5.0	Ημερήσιες λύσεις συνεχώς
NOA1	9	ITRF 2005	Bernese V.4.2	1 ημέρα ανά εβδομάδα
	16	IGS 2005	Bernese V.5.0	Ημερήσιες λύσεις συνεχώς
KRYO	16	IGS 2005	Bernese V.5.0	

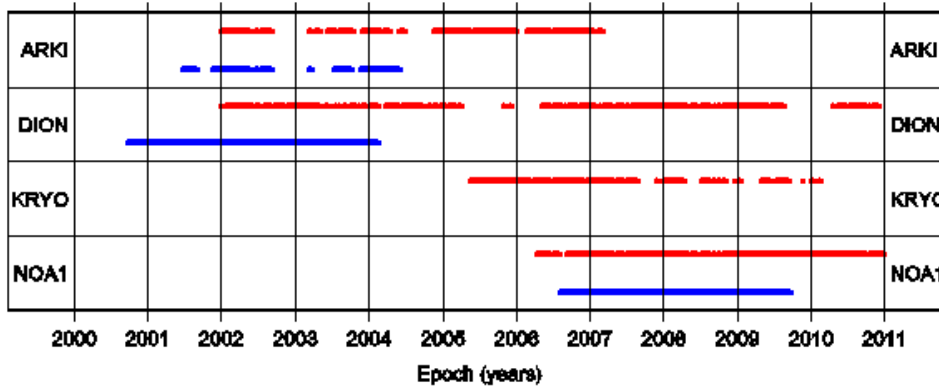
Πίνακας 5.1: Συνοπτικά στοιχεία για την επίλυση των μονίμων σταθμών.

Table 5.1: Brief description referring to the permanent stations processing.

Ο σταθμός NOA1 (Σχήμα 5.5) επιλύθηκε με το Bernese V4.2 για δεδομένα 3.5 περίπου χρόνων, με επεξεργασία μιας ημέρας ανά βδομάδα για το σύνολο του χρονικού διαστήματος της επίλυσης. Χρησιμοποιήθηκαν 10 σταθμοί IGS για την υλοποίηση του ITRF2005 (Σχήμα 5.6). Οι σταθμοί αυτοί είναι οι ANKARA (ANKR), BUCURESTI (BUCU), METZOKI DRAGOT (DRAG), GRAZ (GRAZ), MATERA (MATE), NICOSIA (NICO), NOTO (NOT1), MITZPE RAMON (RAMO), SOFIA (SOFI). Οι σταθμοί επιλέχθηκαν με κύρια κριτήρια την καλύτερη δυνατή γεωμετρία και την ποιότητα των δεδομένων τους.

Η επεξεργασία και για τους 3 αυτούς σταθμούς, όπως ήδη αναφέρθηκε, έγινε με το Bernese V4.2 με τις παρακάτω προδιαγραφές:

- Τελικά προϊόντα της IGS που περιλαμβάνουν τροχιές ακριβείας των δορυφόρων, διορθώσεις ρολογιών (αρχεία sr3) και αρχεία με τις παραμέτρους περιστροφής της γης (αρχεία erp).
- Αρχείο με τη σχετική βαθμονόμηση των κέντρων φάσης επίγειων και δορυφορικών κεραιών (igs_01.atx).
- Γωνία αποκοπής δορυφόρων από τον ορίζοντα 10° μοίρες.
- Ρυθμός δειγματοληψίας ανά 3 min (οι παρατηρήσεις κώδικα χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τον συγχρονισμό των χρονομέτρων των δεκτών).
- Υπολογισμός των διορθώσεων της τροπόσφαιρας σε κάθε σταθμό χρησιμοποιώντας το μοντέλο Niell. Η συνιστώσα ξηρότητας υπολογίστηκε ενώ η συνιστώσα υγρασίας εκτιμήθηκε.

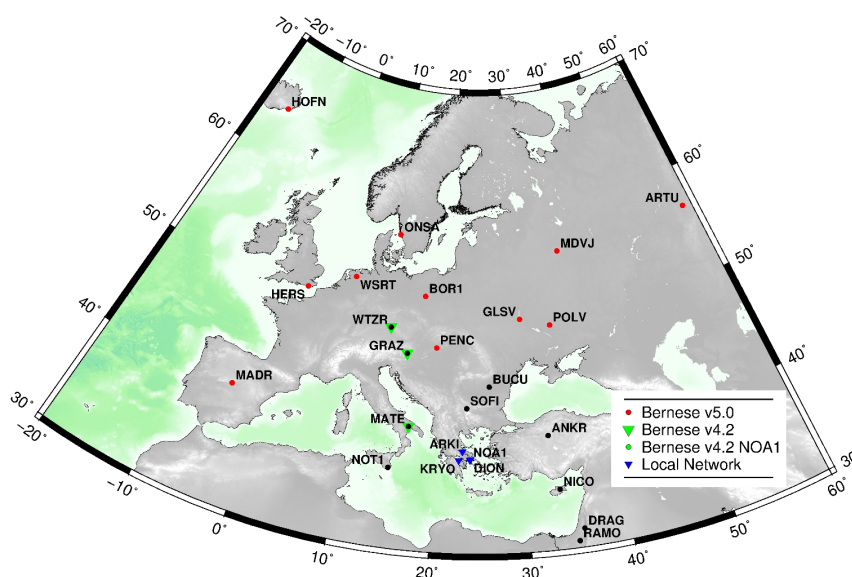


Σχήμα 5.5: Διαθέσιμα δεδομένα για τις επιλύσεις όλων των μόνιμων σταθμών (Με κόκκινο είναι οι επιλύσεις με Bernese V5.0 και με μπλε οι επιλύσεις με Bernese V4.2).

Figure 5.5: Time span of Permanent GPS data (Red: Bernese V5.0 solutions , Blue Bernese V4.2 solutions).

- Υπολογισμός και εφαρμογή τοπικού μοντέλου ιονόσφαιρας που βασίζεται σε σφαιρικές αρμονικές μόνο για βάσεις μεγαλύτερες των 400 km.
- Η στρατηγική QIF (Quasi Ionosphere Free) χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των ασαφειών φάσης σε όλες τις βάσεις. Επιλέχθηκε το όριο του 65% επιλυμένων ασαφειών φάσης ώστε η εκάστοτε βάση να συμπεριληφθεί στη δημιουργία των ημερήσιων κανονικών εξισώσεων.
- Δημιουργία αρχείου κανονικών εξισώσεων ανά ημέρα, χρησιμοποιώντας τις βάσεις όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Για την δημιουργία των κανονικών εξισώσεων επιβλήθηκαν ελάχιστες δεσμεύσεις στους σταθμούς αναφοράς.
- Επίλυση του συστήματος των ανωτέρω κανονικών εξισώσεων για την παραγωγή των συντεταγμένων των σταθμών ανά ημέρα. Η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς έγινε σταθεροποιώντας τους σταθμούς αναφοράς την εποχή επίλυσης στο ITRF1996 στη μέση εποχή για κάθε πενήνήμερο λύσης. Οι τελικές συντεταγμένες είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης λύσης (combined solution) των κανονικών εξισώσεων και των πέντε ημερών.

Οι σταθμοί ARKI, DION, KRYO και NOA1 επιλύθηκαν και με το Bernese V5.0 αυτόματα, για κάθε ημέρα διαθέσιμων δεδομένων τους την τελευταία δεκαετία. Η επεξεργασία αυτή έγινε στα πλαίσιο της συστηματικής διαδικασίας που ακολουθείται από το εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων του ΕΜΠ, για όλους τους μόνιμους σταθμούς που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο και των οποίων τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο (Paranikolaou et al. 2010, Marinou et al. 2011).



Σχήμα 5.6: Υλοποίηση Γήινων Πλαισίων Αναφοράς (ITRF96, ITRF2005, IGS05).

Figure 5.6: Realisation of International Reference Frames (ITRF96, ITRF2005, IGS05).

Τα διαθέσιμα δεδομένα που επιλύθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.5 και αφορούν την δεκαετία του 2000, δεν συμπεριλαμβάνονται δηλαδή δεδομένα του Διονύσου (DION) που ήταν ο μόνος σταθμός που μετρούσε και την δεκαετία του 90. Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε είναι το IGS 05 και για την υλοποίηση του χρησιμοποιήθηκαν 16 σταθμοί IGS που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6.

Η επίλυση και των 4 αυτών σταθμών έγινε αυτόματα με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Τελικά προϊόντα της IGS που περιλαμβάνουν τροχιές ακριβείας των δορυφόρων, διορθώσεις ρολογιών (αρχεία `sr3`) και αρχεία με τις παραμέτρους περιστροφής της γης (αρχεία `egr`).
- Παράμετροι (παγκόσμιων) μοντέλων ιονόσφαιρας (αρχεία `ion`) και διαφορικές διορθώσεις του κώδικα (αρχεία `dcb`) όπως αυτά παράγονται από την CODE.
- Αρχείο με τη απόλυτη βαθμονόμηση των κέντρων επίγειων και δορυφορικών κεραίων (`igs_05.atx`).
- Γωνία αποκοπής δορυφόρων από τον ορίζοντα 7° μοιρών.
- Ρυθμός δειγματοληψίας ανά 3 min (οι παρατηρήσεις κώδικα χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τον συγχρονισμό των χρονομέτρων των δεκτών).
- Υπολογισμός των διορθώσεων της τροπόσφαιρας χρησιμοποιώντας το μοντέλο Niell. Η συνιστώσα ξηρότητας υπολογίστηκε, ενώ η συνιστώσα υγρασίας εκτιμή-

θηκε. Επίσης οι παράμετροι οριζόντιας κλίσης (tropospheric gradients) υπολογίσθηκαν κατά Βορρά - Νότο και Ανατολή - Δύση (μια για κάθε σταθμό και μέρα) (Niell 1996).

- Η επίλυση των ασαφειών φάσης (baseline mode) έγινε με τα παρακάτω κριτήρια όπως αυτά προτείνονται στο *Dach et al. (2007)*:
 - Η μέθοδος QIF χρησιμοποιήθηκε για βάσεις μεγαλύτερες των 200 km.
 - Η μέθοδος phase-based widelane/narrowlane χρησιμοποιήθηκε για βάσεις από 10 έως και 200 km.
 - Η μέθοδος άμεσης επίλυσης στην L1/L2 χρησιμοποιήθηκε για βάσεις μικρότερες των 10 km.
- Δημιουργία αρχείου ημερήσιων κανονικών εξισώσεων επιβάλλοντας “χαλαρές” (loose) δεσμεύσεις στους σταθμούς αναφοράς.
- Συνδυασμός ημερησίων λύσεων για την εκτίμηση συντεταγμένων καθώς και της καθυστέρησης λόγω τροπόσφαιρας (Zenith Path Delay). Το πλαίσιο αναφοράς υλοποιήθηκε με τριπαραμετρικό μετασχηματισμό (three no net translation conditions) που επιβλήθηκε μόνο σε όσους από τους IGS σταθμούς είχαν θεωρηθεί ως “βασικοί” (fiducial) κατά την συνόρθωση του συστήματος αναφοράς IGS05. Υπολογίστηκαν τα υπόλοιπα για κάθε σταθμό IGS και στην περίπτωση που κάποια από αυτά ήταν μεγάλα, ο μετασχηματισμός επαναλήφθηκε αποκλείοντας τους αντίστοιχους σταθμούς αναφοράς.

5.3 Επίλυση του Δικτύου της Εύβοιας

Το Γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας έχει μετρηθεί δύο φορές, τις εποχές 1997.76 και 2005.76. Ο αριθμός των σημείων που μετρήθηκαν την πρώτη περίοδο είναι 150, ενώ την δεύτερη περίοδο το δίκτυο περιλαμβάνει 71 σημεία. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα στοιχεία και για τις 2 εποχές μετρήσεων.

Τα κοινά σημεία που μετρήθηκαν και στις δύο εποχές είναι 48. Οι μετρήσεις έγιναν από τα Εργαστήρια Ανώτερης Γεωδαισίας και Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου σε συνεργασία με τον Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP). Η επίλυση του δικτύου και στις δύο εποχές έγινε με το Bernese V4.2 ακολουθώντας τις προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Εποχή	Σημεία	Σταθμοί IGS	Σύστημα Αναφοράς
1997.76	150	7	ITRF2000
2005.76	71	7	ITRF2000

Πίνακας 5.2: Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας.

Table 5.2: Brief description of Evia geodetic network.

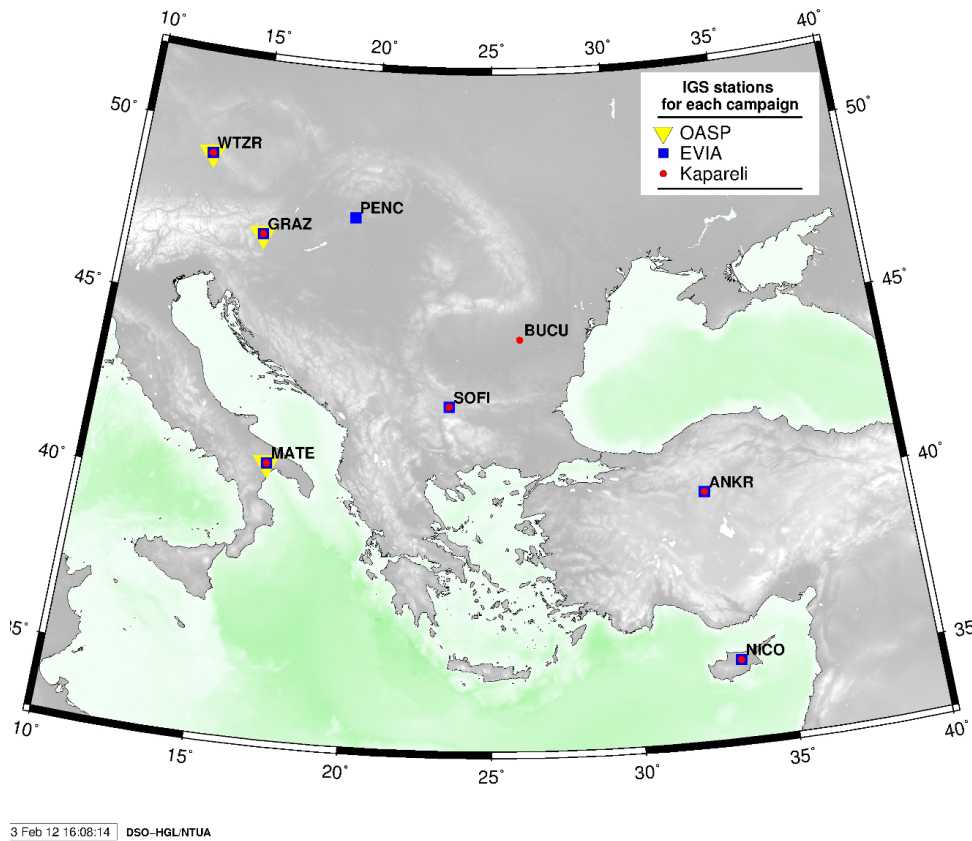
Και για τις δύο εποχές χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι (7) σταθμοί IGS (Σχήμα 5.7) με κύρια κριτήρια επιλογής την καλύτερη δυνατή γεωμετρία, όσον αφορά την κατανομή τους στον χώρο, καθώς και την διαθεσιμότητα των δεδομένων τους και στις δύο χρονικές περιόδους. Ας σημειωθεί πως νοτιότερα της Ελλάδας ο αριθμός των σταθμών IGS είναι περιορισμένος.

Για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς έγινε αναγωγή των συντεταγμένων τους, όπως αυτές δίνονται στην επίσημη λίστα του IGS (International GNSS Service) στην αντίστοιχη εποχή των δυο περιόδων μετρήσεων. (http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2000/results/ITRF2000_GPS.SSC.txt)

Όλοι οι παραπάνω σταθμοί συνδέθηκαν για το σύνολο ημερών μέτρησης με τον μόνιμο σταθμό GPS DION, που βρίσκεται στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, καθώς και με τον σταθμό ARKI, που μετρούσε καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων και εγκαταστάθηκε ειδικά γι' αυτόν το σκοπό.

Την εποχή 1997.76 οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα 11 ημερών, από τις 30/09 έως τις 10/10 του 1997 (Σχήμα 5.8). Επειδή όλα τα σημεία δεν είχαν τον ίδιο χρόνο παρατηρήσεων κρίθηκε σκόπιμο να χωριστούν σε επιμέρους δίκτυα. Έτσι, το δίκτυο Α τάξης, περιλαμβάνει όλα τα σημεία που είχαν μετρήσεις για παραπάνω από μία μέρες, ενώ το δίκτυο Β τάξης περιλαμβάνει σημεία με μετρήσεις από κάποιες ώρες έως δύο 24ωρα. Τέλος το δίκτυο Γ τάξης περιλαμβάνει σημεία που δεν ήταν δυνατή η επίλυσή τους με την μέθοδο QIF και ο χρόνος μέτρησης τους ήταν επαρκής για να επιλυθούν από τον κοντινότερο σταθμό με κοινές μετρήσεις με την μέθοδο επίλυσης ασαφειών SIGMA. Ο χαρακτηρισμός δεν έχει σχέση με την Α τάξη των επίγειων δικτύων της ΓΥΣ (Παπανικολάου 2009).

Μεγάλο μέρος από το δίκτυο της εποχής 1997.76 περιλαμβάνει σημεία που ανήκουν στο Εθνικό τριγωνομετρικό δίκτυο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ). Τα υπόλοιπα σημεία υλοποιήθηκαν ή ήταν υλοποιημένα για τις ανάγκες κυρίως του δικτύου Central Greece με μεταλλικές σημάνσεις στο έδαφος.

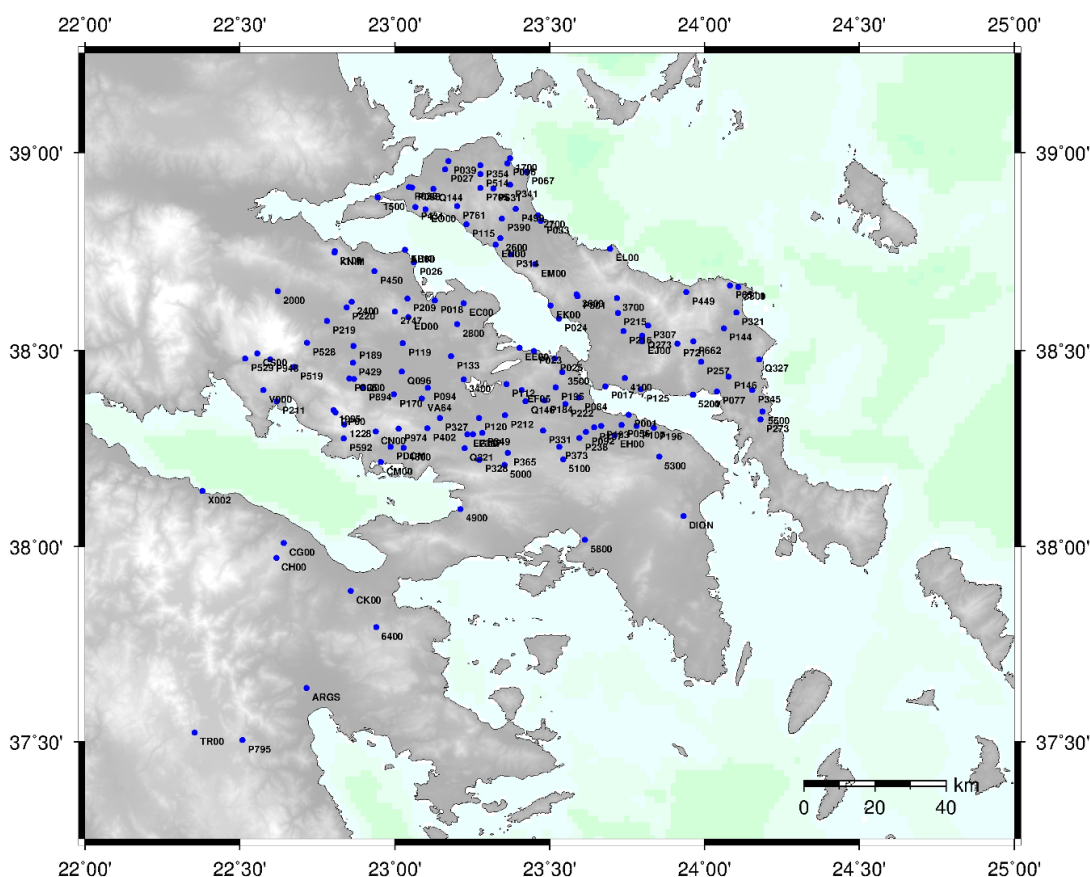


Σχήμα 5.7: Σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των Γήινων Πλαισίων Αναφοράς ITRF1996, ITRF2000.

Figure 5.7: Stations used for the realisation of International Reference Frames ITRF1996, ITRF2000.

Το δίκτυο Α τάξης περιλαμβάνει 35 σημεία τα δεδομένα των οποίων όλα υπολογίστηκαν με χρήση του αλγόριθμου QIF και τέθηκε ελάχιστο όριο για τον αποδεκτό αριθμό επιλυμένων ασαφειών το 65% (Παπανικολάου 2009). Η πορεία της επεξεργασίας, μέχρι και το σχηματισμό των ανά ημέρα κανονικών εξισώσεων, ήταν η ίδια για όλες τις βάσεις, σύμφωνα με όσα προτείνονται από τη συντακτική ομάδα του λογισμικού BERNESE v4.2 (Hugentobler et al. 2001). Όλα τα σημεία συνδέθηκαν απ' ευθείας με τους σταθμούς DION ή ARKI με κύριο κριτήριο το ελάχιστο της απόστασης. Τα περισσότερα από τα σημεία του δικτύου Α τάξης μετρήθηκαν και την εποχή 2005.76. Η ακρίβεια στα τελικά αποτελέσματα του δικτύου αυτού είναι καλύτερη, λόγω κυρίως του όγκου των διαθέσιμων δεδομένων από τα δίκτυα Β και Γ τάξης αλλά και των τεχνικών που ακολουθήθηκαν στα άλλα δίκτυα.

Το δίκτυο Β τάξης με 84 σημεία, τα περισσότερα από τα οποία είναι μετρημένα 2 ώρες, επιλύθηκε με την μέθοδο QIF και ο αποδεκτός αριθμός επιλυμένων ασαφειών ήταν



Σχήμα 5.8: Το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας την εποχή 1997.76.

Figure 5.8: The Geodetic Network of Evia at epoch 1997.76.

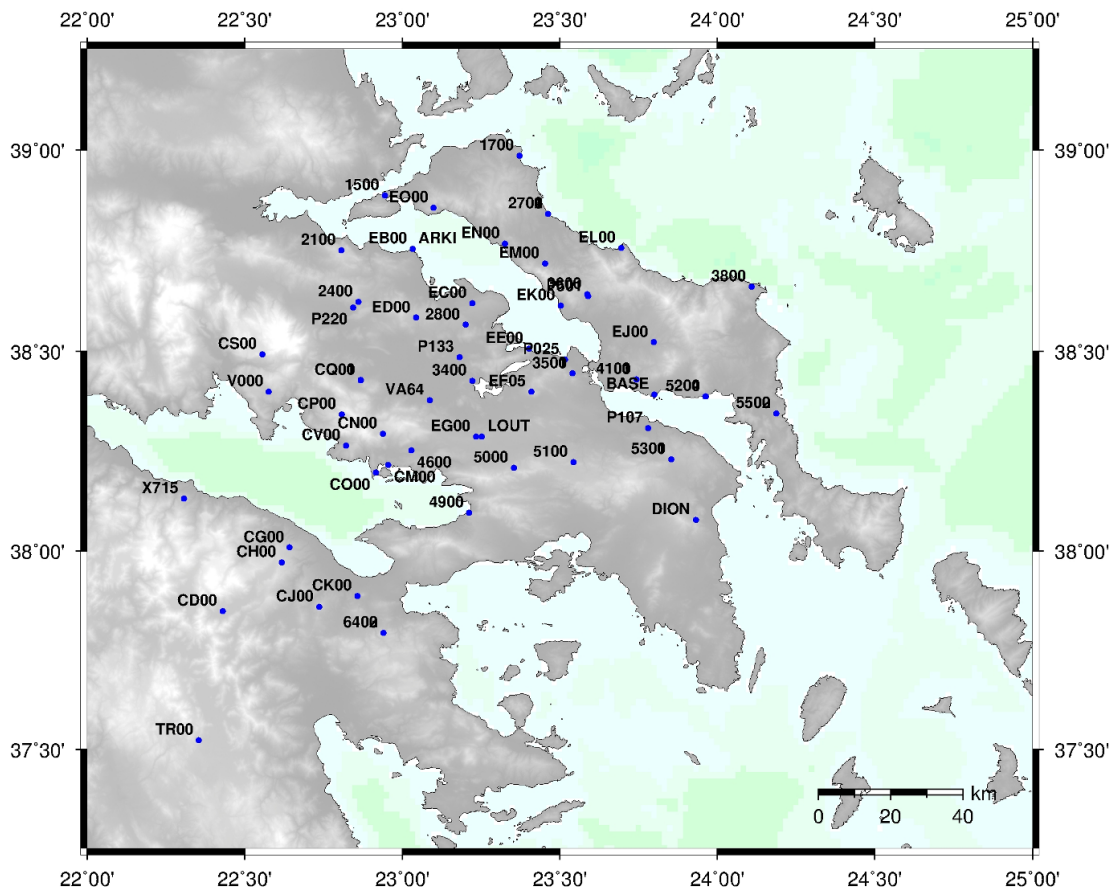
60% κατ' ελάχιστον. Η σύνδεση των σημείων έγινε με κριτήριο την ελάχιστη απόσταση, είτε απευθείας από τους μόνιμους σταθμούς DION και ARKI, είτε από κάποιο κοντινό σημείο του δικτύου Α τάξης.

Τέλος, το δίκτυο Γ τάξης με 29 σημεία επιλύθηκε με την μέθοδο SIGMA στην L1 συχνότητα, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω. Η σύνδεση των σημείων έγινε με κριτήριο η απόσταση από σημεία του υποδικτύου Α τάξης να μην υπερβαίνει τα 10 Km. Προφανώς η ακρίβεια αυτού του δικτύου είναι χαμηλότερης τάξης από τα άλλα δύο.

Στο Παράρτημα Α', στους Πίνακες Α'.1, Α'.2, Α'.3 και Α'.4 παρουσιάζονται οι τελικές τρισδιάστατες συντεταγμένες των σημείων καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματά τους στο σύστημα αναφοράς ITRF2000.

Την εποχή 2005.76 μετρήθηκαν 71, σημεία τα οποία χωρίστηκαν σε δίκτυο Α και Β τάξης (Σχήμα 5.9) για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν.

Στο δίκτυο Α τάξης περιλαμβάνονται 54 σταθμοί οι οποίοι μετρήθηκαν παραπάνω από



Σχήμα 5.9: Το γεωδαιτικό δίκτυο της Εύβοιας την εποχή 2005.76.

Figure 5.9: The Geodetic Network of Evia at epoch 2005.76.

μα ημέρα. Η σύνδεση τους έγινε απευθείας με τους μόνιμους σταθμούς ARKI και στο DION.

Στο δίκτυο Β τάξης περιλαμβάνονται 17 σημεία με λίγες ώρες παρατηρήσεων, πολλές φορές και κάτω από δύο. Τα σημεία συνδέθηκαν με σημεία του δικτύου Α τάξης που βρίσκονται σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 10 Km.

Η επίλυση των ασαφειών φάσης και των δύο δικτύων έγινε με χρήση του αλγόριθμου QIF και ο ελάχιστος αποδεκτός αριθμός επιλυμένων ασαφειών ήταν το 65% . Στο Παράρτημα Α' στους Πίνακες Α'.5 και Α'.6 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες και τα σφάλματα και των δυο αυτών δικτύων.

Δίκτυο Εποχής 1997.76					
Χρόνος μέτρησης	Τάξη Δικτύου	Αριθμός σημείων	Αλγόριθμος επίλυσης ασαφειών	Ποσοστό επίλυσης ασαφειών	Σύνδεση
24h >	A	35	QIF	65%	ARKI-DION
2h-48h	B	84	QIF	60%	ARKI-DION-Δίκτυο A
> 2h	Γ	29	SIGMA	60%	Δίκτυο A
Δίκτυο Εποχής 2005.76					
3h >	A	54	QIF	65%	ARKI-DION
> 3h	B	17	QIF	65%	Δίκτυο A

Πίνακας 5.3: Συνοπτικά στοιχεία για τα γεωδαιτικά δίκτυα της Εύβοιας

Table 5.3: Brief description about Evia Networks

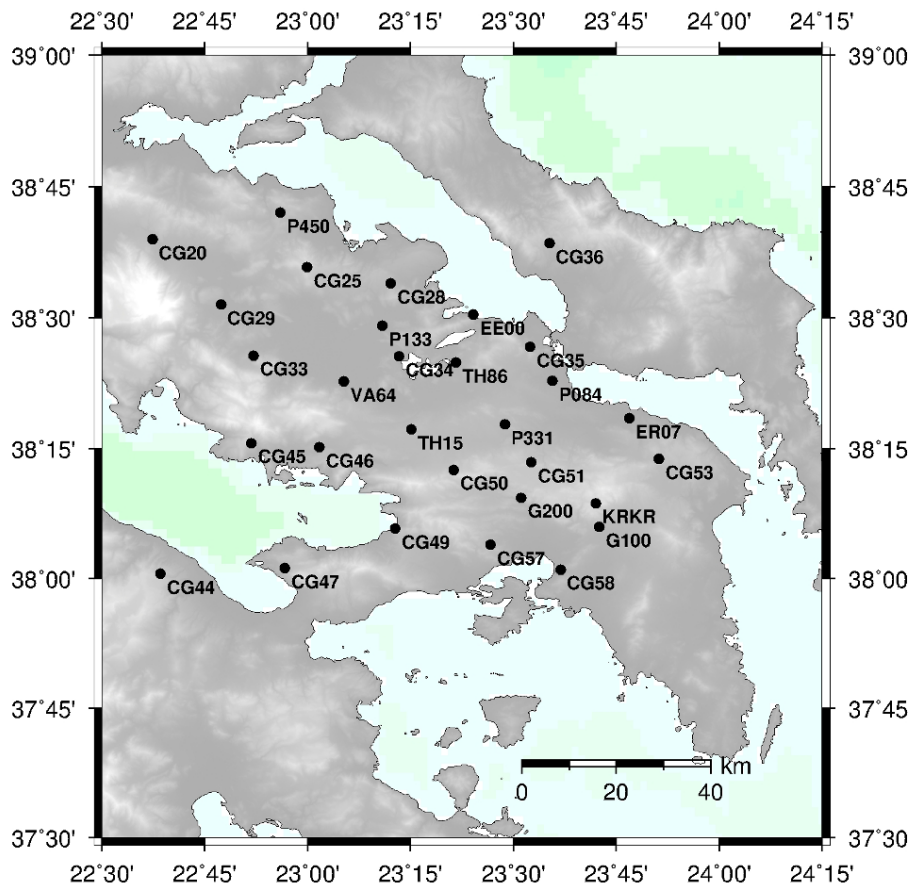
5.4 Επίλυση του Δικτύου Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας

Το γεωδαιτικό δίκτυο στο τρίγωνο που περικλείεται από τα ρήγματα των Αλκυονίδων νήσων, της Αταλάντης και της Πάρνηθας (Σχήμα 5.10) περιλαμβάνει συνολικά 30 σημεία και έχει μετρηθεί από τα Εργαστήρια Ανώτερης Γεωδαισίας και Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου τρεις φορές. Στο πλαίσιο Ερευνητικού Προγράμματος με τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού & Προστασίας (ΟΑΣΠ) μετρήθηκε δύο φορές, τις εποχές 2001.50 και 2002.84 και μία φορά αργότερα. Η τελευταία αυτή σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος Μεγάλες Ασκήσεις Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας την εποχή 2008.82.

Όλα τα σημεία του δικτύου, αρκετά από τα οποία ανήκουν στο Εθνικό τριγωνομετρικό δίκτυο, εκτός από δύο, είχαν ξαναμετρηθεί σε προηγούμενες ερευνητικές δραστηριότητες των εργαστηρίων και ανήκουν, είτε στο δίκτυο Central Greece, είτε στο δίκτυο της Εύβοιας. Τα σημεία του δικτύου επιλέχθηκαν έτσι, ώστε να είναι κατά το δυνατόν βέλτιστη η γεωγραφική κατανομή τους, αλλά ταυτόχρονα να είναι ξαναμετρημένα στο παρελθόν, σε όσο το δυνατόν περισσότερες εποχές. Τα κριτήρια αυτά βελτιώνουν την δυνατότητα για μια αξιόπιστη εκτίμηση της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής.

Η επίλυση του δικτύου για τις εποχές 2001.50 και 2002.84 έγινε με το Bernese V4.2, ενώ για την εποχή 2008.82 έγινε με το Bernese V5. Συνοπτικά στοιχεία για το δίκτυο της περιοχής Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Η επίλυση των ασαφειών φάσης και των δύο πρώτων εποχών έγινε με χρήση του αλ-



Σχήμα 5.10: Το Γεωδαιτικό δίκτυο στο τρίγωνο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα για τις εποχές 2001.5 και 2002.5

Figure 5.10: The Geodetic Network of Atalanti - Alkyonides - Parnitha at epochs 2001.5 and 2002.84

γόριθμου QIF και ο ελάχιστος αποδεκτός αριθμός επιλυμένων ασαφειών ήταν το 65%.

Για τις εποχές 2001.50 και 2002.84 επιλέχθηκε ως σύστημα αναφοράς το ITRF96 και για την υλοποίηση του χρησιμοποιήθηκαν 3 σταθμοί IGS που συνδέθηκαν με τον μόνιμο σταθμό του Διονύσου (DION) (Σχήμα 5.7) και είναι οι: Ankara (ANKR), Graz (GRAZ) και Matera (MATE) (Σχήμα 5.7). Η τελική λύση για τον Διόνυσο είναι ο μέσος όρος των ημερησίων λύσεων των βάσεων από τους τρεις σταθμούς IGS για όσες μέρες διήρκεσαν οι παρατηρήσεις της κάθε εποχής (Marinou et al. 2006, Βέης et al. 2007).

Την εποχή που έγινε η επίλυση του δικτύου δεν ήταν δυνατή η χρήση περισσότερων σταθμών IGS, γιατί δεν υπήρχαν πολλοί σταθμοί εγκατεστημένοι στον ευρύτερο χώρο των Βαλκανίων και γιατί οι διαθέσιμοι υπολογιστές δεν παρείχαν μεγάλη δυνατότητα στην διαχείριση δεδομένων τέτοιου όγκου. Οι τρεις αυτοί σταθμοί επιλέχθηκαν με κριτήριο την αξιοπιστία των δεδομένων τους, αφού είναι από τους πρώτους που ιδρύθη-

Εποχή	Σημεία	Σταθμοί IGS	Σύστημα Αναφοράς
2001.50	30	3	ITRF1996
2002.84	30	3	ITRF1996
2008.82	25	7	ITRF2000

Πίνακας 5.4: Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα.

Table 5.4: Brief description for the Atalanti - Alkyonides - Parnitha network.

καν στο πλαίσιο της IGS.

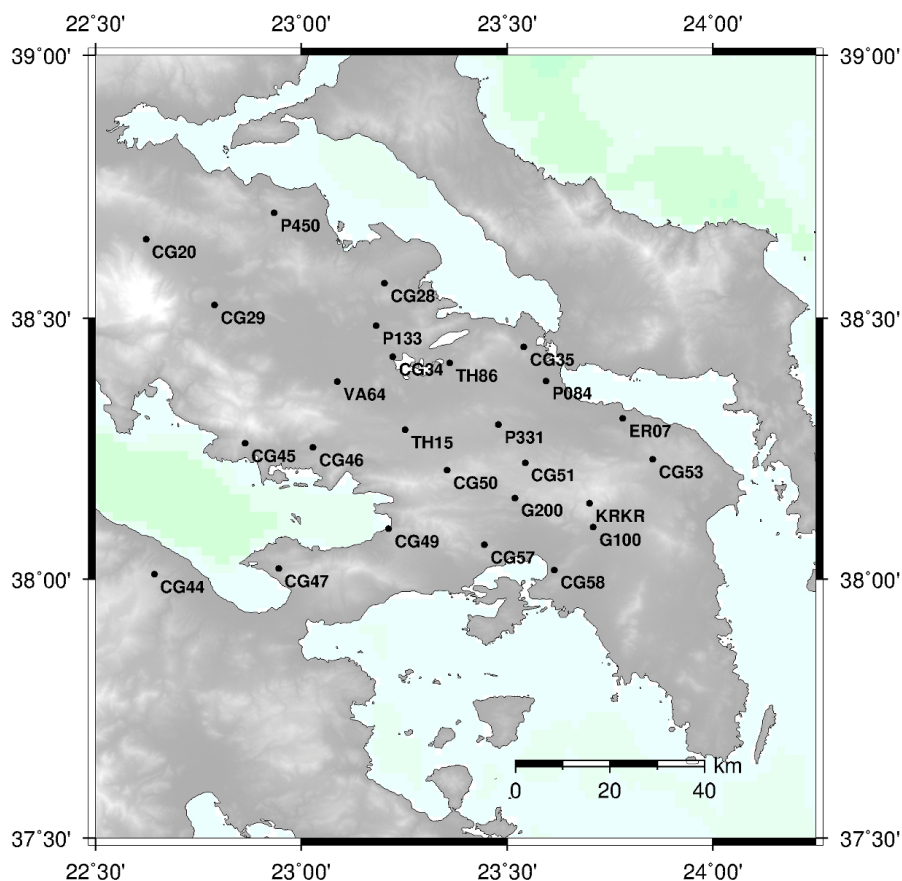
Το γεωδαιτικό δίκτυο της εποχής 2001.50 μετρήθηκε σε 4 μέρες από τις 2/7/2001 έως τις 5/7/2001, ενώ το δίκτυο της εποχής 2002.84 από 3 - 7/11/2002. Οι ώρες μετρήσεων και για τις δύο εποχές κυμαίνονται από 4 έως 8. Τα σημεία με 8 ώρες παρατηρήσεων χαρακτηρίζονται ως πρωτεύοντα, ενώ όσα διαθέτουν μόνο 4 ώρες ως δευτερεύοντα. Τα σημεία του δικτύου που προσδιορίστηκαν συνδέθηκαν με το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς ITRF 96 μέσω του σταθμού του Διονύσου, θεωρώντας τον ως σταθερό. Στη συνέχεια δόθηκαν συντεταγμένες στον σταθμό της Αρκίτσας από τον Διόνυσο. Η επίλυση των πρωτευόντων και δευτερευόντων σημείων του δικτύου πραγματοποιήθηκε κατά περίπτωση, με κύριο κριτήριο την ελάχιστη απόσταση από τους δύο σταθμούς αναφοράς (Διόνυσο, Αρκίτσα). Όπου κρίθηκε αναγκαίο χρησιμοποιήθηκαν ενδιάμεσα πρωτεύοντα σημεία για την επίλυση των δευτερευόντων. Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων για την εποχή 2001.50 παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α', Πίνακας Α'.7.

Στην εποχή 2002.84 λόγω διακοπής της λειτουργίας του σταθμού της Αρκίτσας για τεχνικούς λόγους, δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός σημείων από τον σταθμό. Στο Παράρτημα Α' Πίνακας Α'.8 παρουσιάζονται οι τελικές συντεταγμένες των σημείων την εποχή 2002.84.

Για την υλοποίηση του Συστήματος Αναφοράς την εποχή 2008.82 χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι σταθμοί IGS με το δίκτυο της Εύβοιας, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι στο ίδιο ακριβώς σύστημα αναφοράς ITRF2000, οπότε δεν είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός για τον υπολογισμό των τελικών τεκτονικών ταχυτήτων των σημείων (Σχήμα 5.7).

Το γεωδαιτικό δίκτυο της εποχής 2008.82 (Σχήμα 5.11) μετρήθηκε σε δύο διήμερα, στις 18 και 19 Οκτωβρίου καθώς και στις 1 και 2 Νοεμβρίου. Ως εποχή αναφοράς αναφέρεται ο μέσος χρόνος μεταξύ αυτών των διημέρων. Από το σύνολο των 30 σημείων μετρήθηκαν τα 26 για λόγους οικονομικούς κυρίως. Οι ώρες μετρήσεων κυμαίνονται

από 4 έως 7.



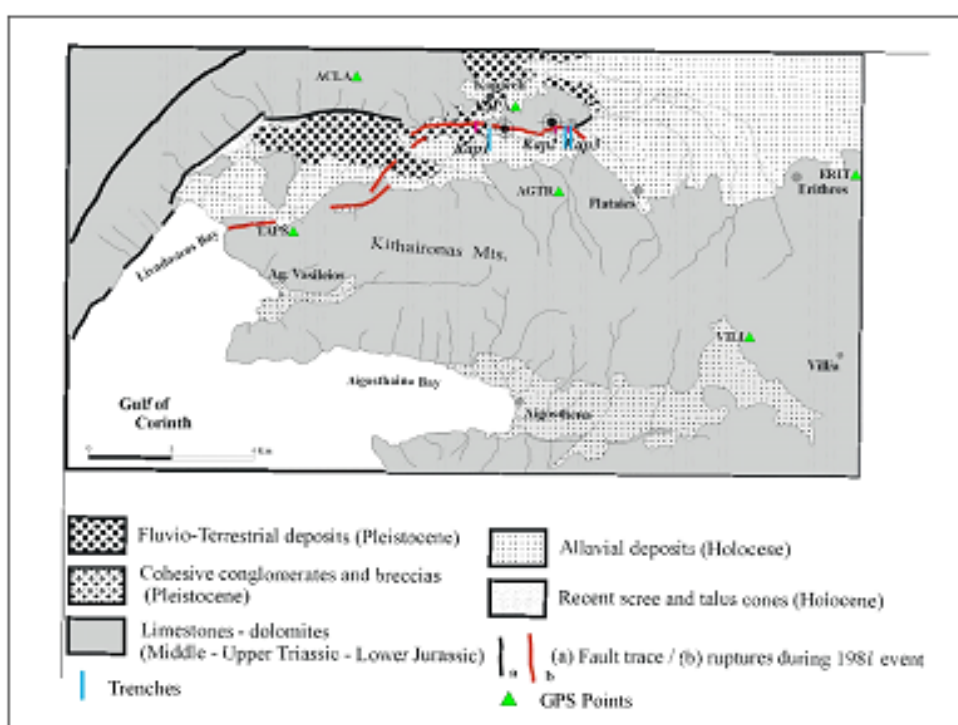
Σχήμα 5.11: Το Γεωδαιτικό δίκτυο στο τρίγωνο Αταλάντη - Αλκυονίδες - Πάρνηθα της εποχής 2008.82

Figure 5.11: The Geodetic Network of Atalanti-Alkyonides-Parnitha at epoch 2008.82

Η σύνδεση έγινε χρησιμοποιώντας τους μόνιμους σταθμούς της Αρκίτσας (ARKI) και του Διονύσου (DION). Οι σταθμοί IGS που χρησιμοποιήθηκαν είναι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στο δίκτυο της Εύβοιας (Σχήμα 5.7). Η συνόρθωση έγινε ενιαία και για το τοπικό δίκτυο και για τους ευρωπαϊκούς σταθμούς ανά διήμερο. Στον Πίνακα Α'.9 παρουσιάζονται οι τελικές συνταγμένες για την εποχή 2008.82.

5.5 Επίλυση του Δικτύου του Καπαρελλίου

Το γεωδαιτικό δίκτυο στην περιοχή του Καπαρελλίου περιλαμβάνει έντεκα σημεία, τα οποία ιδρύθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών σε συνεργασία με το Institute of Geodesy and Geoinformatics, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences της Τσεχίας, με σκοπό την παρακολούθηση του ρήγματος και τη συσχέτιση της κινηματικής του με το γειτονικό ρήγμα των Ερυθρών. Η επιλογή των θέσεων για τη ίδρυση των σημείων έγινε με αυστηρά γεωλογικά κριτήρια, έτσι ώστε να βρίσκονται σε σταθερό ασβεστολιθικό έδαφος (Σχήμα 5.12). Οι κόκκινες γραμμές περιγράφουν τις διαρρήξεις του 1981 (Ganas et al. 2007).



Σχήμα 5.12: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Καπαρελλίου.

Figure 5.12: Geological map of the Kaparelli area.

Η σήμανση των σημείων του δικτύου είναι μόνιμη (εξαναγκασμένη κέντρωση), ώστε να εξαλείφονται τα σφάλματα κέντρωσης. Ο στυλεός των κεραιών τοποθετείται στις ειδικές αυτές σημάσεις κατά την μέτρηση του δικτύου (Σχήμα 5.13).

Το δίκτυο έχει μετρηθεί τέσσερις φορές το 2004, το 2005, το 2006 και τελευταία φορά το 2008. Το δίκτυο αρχικά αποτελείτο από 6 σημεία κατανεμημένα αυστηρά γύρω από



Σχήμα 5.13: Μετρήσεις πεδίου την εποχή 2006.33.

Figure 5.13: Field work at epoch 2006.33.

την περιοχή του ρήγματος του Καπαρελλίου τα οποία μετρήθηκαν το 2004. Στη συνέχεια προστέθηκαν 5 επιπλέον σημεία κυρίως προς τα ανατολικά, έτσι ώστε να καλυφθεί και η περιοχή του ρήγματος των Ερυθρών, ενώ ένα από αυτά (ΑΛΥΚ) βρίσκεται δυτικά, προς την περιοχή που είναι το ρήγμα της Κορύνης. Το σύνολο το σημείων καθώς και οι εποχές μετρήσεων τους παρουσιάζονται στο *Σχήμα 5.14* και στον *Πίνακα 5.5*.

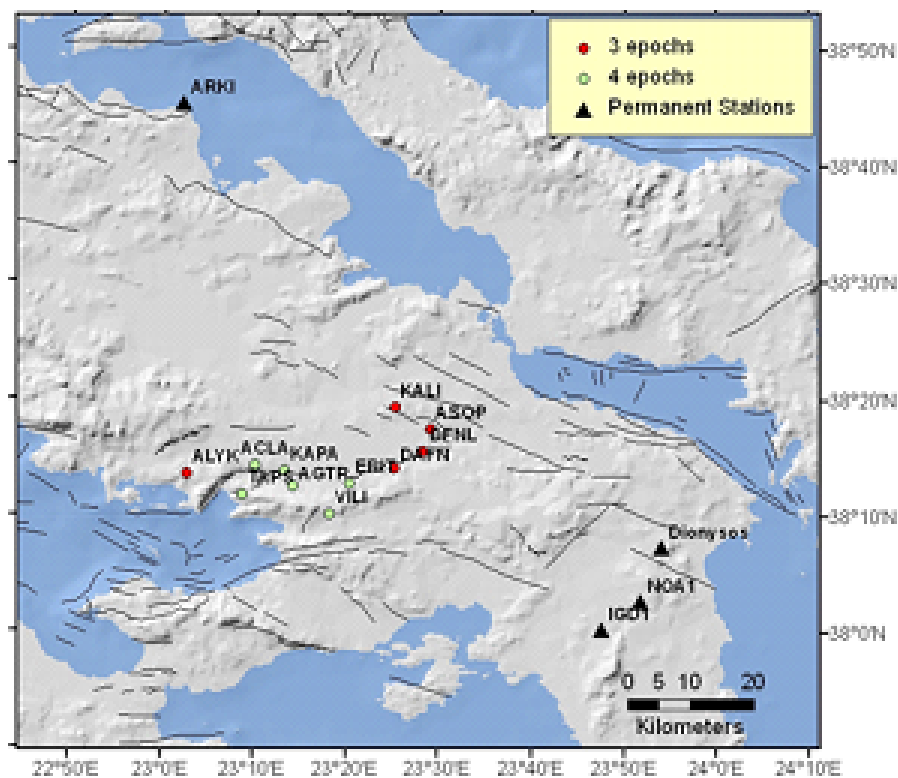
Εποχή	Σημεία	Σταθμοί IGS	Σύστημα Αναφοράς
2004.40	6	9	ITRF2005
2005.36	11	9	ITRF2005
2006.33	11	9	ITRF2005
2008.76	11	9	ITRF2005

Πίνακας 5.5: Συνοπτικά στοιχεία για το γεωδαιτικό δίκτυο του Καπαρελλίου.

Table 5.5: Brief description of the Kaparelli network.

Για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν 9 σταθμοί IGS (*Σχήμα 5.7*) με κριτήριο επιλογής την καλύτερη γεωμετρία του δικτύου και την αξιοπιστία των δεδομένων τους.

Τα σημεία ARKI, NOA1, IGD1, DION είναι μόνιμοι γεωδαιτικοί σταθμοί που βρίσκονται



Σχήμα 5.14: Το γεωδαιτικό δίκτυο της περιοχής του Καπαρελλίου.

Figure 5.14: The Geodetic Network of Kararelli.

κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και συμμετείχαν για την υλοποίηση του συστήματος αναφοράς (Σχήμα 5.14).

Η επίλυση του δικτύου σε όλες τις εποχές έγινε με το Bernese V.5. Οι ασάφειες φάσης επιλύθηκαν με χρήση του αλγόριθμου QIF και ο ελάχιστος αποδεκτός αριθμός επιλυμένων ασαφειών ήταν το 70%.

Για κάθε εποχή η επίλυση του τοπικού δικτύου έγινε με δυο μόνιμους σταθμούς: για το 2004 χρησιμοποιήθηκαν οι DION και ARKI, για το 2005 ο IGD1 και ARKI, για το 2006 ο NOA1 και ARKI και τέλος για το 2008 DION και NOA1 (Σχήμα 5.14, Πίνακας 5.6) (Marinou et al. 2008, 2010).

Η επιλογή των ίδιων μόνιμων σταθμών ήταν αδύνατη λόγω των τεχνικών προβλημάτων που παρουσίασαν μερικοί από αυτούς (εκτός λειτουργίας) κατά τις χρονικές περιόδους που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του δικτύου.

Το δίκτυο της εποχής 2004.40 μετρήθηκε σε δύο ημέρες στις 27 και 28 Μαΐου. Η διάρκεια των μετρήσεων των έξι σημείων κυμαίνεται περίπου από περίπου 7 έως 12 ώρες. Τα τελικά αποτελέσματα είναι η συνδυασμένη λύση και των δύο ημερών.

Εποχή	Μόνιμοι Σταθμοί			
	DION	ARKI	IGD1	NOA1
2004.40	*	*		
2005.36		*	*	
2006.33		*		*
2008.79	*			*

Πίνακας 5.6: Μόνιμοι σταθμοί στον Ελλαδικό Χώρο για το δίκτυο του Καπαρελλίου.

Table 5.6: Hellenic permanent stations used for the Kaparelli network.

Στις 10 και 11 Μαΐου του 2005 μετρήθηκαν τα έξι αρχικά σημεία του δικτύου και τα πέντε επιπλέον που ιδρύθηκαν τότε. Οι μετρήσεις διήρκεσαν περίπου δέκα ώρες για κάθε σημείο. Τα τελικά αποτελέσματα είναι η συνδυασμένη λύση και των δύο ημερών.

Στις 2 και 3 Μαΐου του 2006 μετρήθηκε το σύνολο των έντεκα σημείων του δικτύου. Οι μετρήσεις διήρκεσαν περίπου 10 ώρες. Τα τελικά αποτελέσματα είναι η συνδυασμένη λύση και των δύο ημερών.

Τέλος στις 14 και 15 Οκτωβρίου του 2008 μετρήθηκαν πάλι τα έντεκα (11) σημεία του δικτύου. Οι μετρήσεις κυμαίνονται γύρω στις δέκα ώρες. Τα τελικά αποτελέσματα είναι η συνδυασμένη λύση και των δύο ημερών.

Σε όλες τις εποχές τα τελικά αποτελέσματα προέκυψαν από την συνδυασμένη λύση (combined solution) των δύο ημερών. Οι τελικές συντεταγμένες και οι αβεβαιότητες τους για κάθε εποχή παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α' στους Πίνακες Α'.10, Α'.11, Α'.12, Α'.13.

5.6 Το Γεωδαιτικό Δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου

Όπως αναφέρθηκε ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μια από τις πιο τεκτονικά ενεργές περιοχές της Ευρώπης. Από το 1990 έως το 2001 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε έντεκα χρονικές περιόδους. Η επεξεργασία έγινε με το GAMIT V.11 ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για όλες τις εποχές. Για την υλοποίηση του συστήματος, που είναι το ITRF2000 χρησιμοποιήθηκαν 11 σταθμοί IGS καθώς και τροχιές ακριβείας. Ο μέσος όρος των ασφαιρών που επιλύθηκαν για τις βάσεις είναι περίπου 85%. Οι συντεταγμένες κάθε εποχής προέκυψαν από τον συνδυασμό των ημερήσιων επιλύσεων με χρήση του λογισμικού GLOBK/GLORG. Για να επιτευχθεί η διαδικασία αυτή επιβλήθηκε ένας μετασχηματισμός ομοιότητας (Helmert) 7 παραμέτρων στις ημερήσιες λύσεις. Οι συντεταγμένες

των σταθμών IGS χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθούν οι παράμετροι του μετασχηματισμού, δεδομένου ότι οι σταθμοί αυτοί είναι καλά ορισμένοι στο ITRF2000. Για δίκτυα αυτής της έκτασης, οι κύριες πηγές σφαλμάτων για τις οριζόντιες συνιστώσες προέρχονται από τις κεντρώσεις των κεραιών, ενώ για την κατακόρυφη συνιστώσα από την αβεβαιότητα στις μετρήσεις του ύψους των κεραιών καθώς και από τα σφάλματα στα μοντέλα τροπόσφαιρας (*Avallone et al. 2004*).

Στον Πίνακα Α'.14 (Παράρτημα Α') παρουσιάζονται οι ετήσιες ταχύτητες των σημείων με τις αβεβαιότητες τους. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δεν έγινε επανεπεξεργασία των δεδομένων, αλλά αξιοποιείται παρακάτω το πεδίο ταχυτήτων, όπως αυτό έχει δημοσιευτεί (*Avallone et al. 2004*).

6 Εφαρμογές Κινηματικών Μοντέλων της Περιοχής Μελέτης

6.1 Γενικά

Με δεδομένη την ευρύτητα και ποικιλία των ερευνητικών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων σχετικών με μικρομετακινήσεις που έχουν υλοποιηθεί την τελευταία 20ετία στον Ελλαδικό χώρο, η επιλογή των περιοχών που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία έγινε με βασικό κριτήριο την προσπάθεια συσχέτισης των δύο ενεργών τεκτονικά τάφρων, του Κορινθιακού και του Ευβοϊκού Κόλπου. Ωστόσο επειδή πολλά διαθέσιμα δεδομένα είχαν ετερόκλητη χωροχρονική κατανομή, ένα ακόμη κριτήριο ήταν το ενδιαφέρον της γεωτεκτονικής συμπεριφοράς συγκεκριμένων περιοχών (π.χ. Ζώνη ενεργού ρήγματος του Καπαρελλίου). Επίσης επιδιώχθηκε η αξιοποίηση δεδομένων από τους υπάρχοντες μόνιμους σταθμούς GPS της ευρύτερης περιοχής, που συμβάλλουν σημαντικά σε μελέτες αυτού του είδους.

Έτσι η ανάλυση που ακολουθεί περιλαμβάνει τόσο τις ταχύτητες και τους τανυστές για επί μέρους δίκτυα, όσο και για την ευρύτερη περιοχή. Επιπλέον για την διευρυμένη περιοχή μελέτης, μεταξύ των δύο τάφρων, επιχειρείται να εκτιμηθούν πόλοι Euler.

Για τον υπολογισμό ταχυτήτων των μόνιμων σταθμών έγινε υπολογισμός χρονοσειρών και η ταχύτητα υπολογίσθηκε μέσω γραμμικής παρεμβολής, χρησιμοποιώντας όλες τις αξιόπιστες ημερήσιες λύσεις τους. Ο υπολογισμός έγινε για κάθε συνιστώσα ξεχωριστά.

Για τον υπολογισμό ταχυτήτων που αφορούν τους μη μόνιμους σταθμούς έγινε κατ' αρχήν η συλλογή όλων των διαθέσιμων δεδομένων για τα σημεία που υπάρχουν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αρκετά από αυτά έχουν επιλυθεί στο παρελθόν στα πλαίσια άλλων δικτύων, όπως αναφέρθηκε, και συγκεκριμένα στο δίκτυο Central Greece και στο δίκτυο SING.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα δίκτυα που έχουν χρησιμοποιηθεί, το σύστημα

αναφοράς στο οποίο ήταν οι πρωτογενείς συντεταγμένες, καθώς και οι εποχές μέτρησης τους.

Δίκτυο	Εποχή	Σύστημα αναφοράς
CENTRAL GREECE	1989.44	ITRF 1992
	1991.78	
	1993.39	
SING	1998.52	ITRF 1996
	1999.76	
	2000.52	
EVIA	1997.76	ITRF 2000
	2005.76	
Αταλάντη-Πάρνηθα-Αλκυονίδες	2001.50	ITRF 1996
	2002.84	
	2008.82	
Καπαρέλλι	2004.40	ITRF 2008
	2005.36	
	2006.33	
	2008.79	

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικά στοιχεία δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Table 6.1: Brief description of the networks used in the present work.

6.2 Μετακινήσεις - Ταχύτητες

Χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες ή πενθήμερες λύσεις των μόνιμων σταθμών θεωρώντας ένα μοντέλο γραμμικής παρεμβολής για τον υπολογισμό της τεκτονικής τους ταχύτητας σε τρεις συνιστώσες. Η κάθε λύση εκφράζεται σε καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) οι οποίες αναφέρονται, είτε σε μια ημέρα (ημερήσιες λύσεις) ή σε μία μέση εποχή επίλυσης (πενθήμερες). Στην συνέχεια αυτές οι συντεταγμένες μετατρέπονται σε γεωδαιτικές συντεταγμένες (ϕ, λ, h) , οι οποίες χρησιμοποιούνται για την δημιουργία χρονοσειρών. Από αυτές υπολογίζεται η τεκτονική ταχύτητα για κάθε μόνιμο σταθμό εκφρασμένη σε μέτρα, άρα σε μήκη τόξου, κατά μεσημβρινό, παράλληλο και υψόμετρο σε τοποκεντρικό σύστημα (v_n, v_e, v_u) .

Στα Σχήματα 6.1, 6.2, 6.3 αντίστοιχα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετακινήσεων για τους σταθμούς ARKI, DION και NOA1 όπως αυτά προκύπτουν από την επίλυση με το Bernese V4.2.

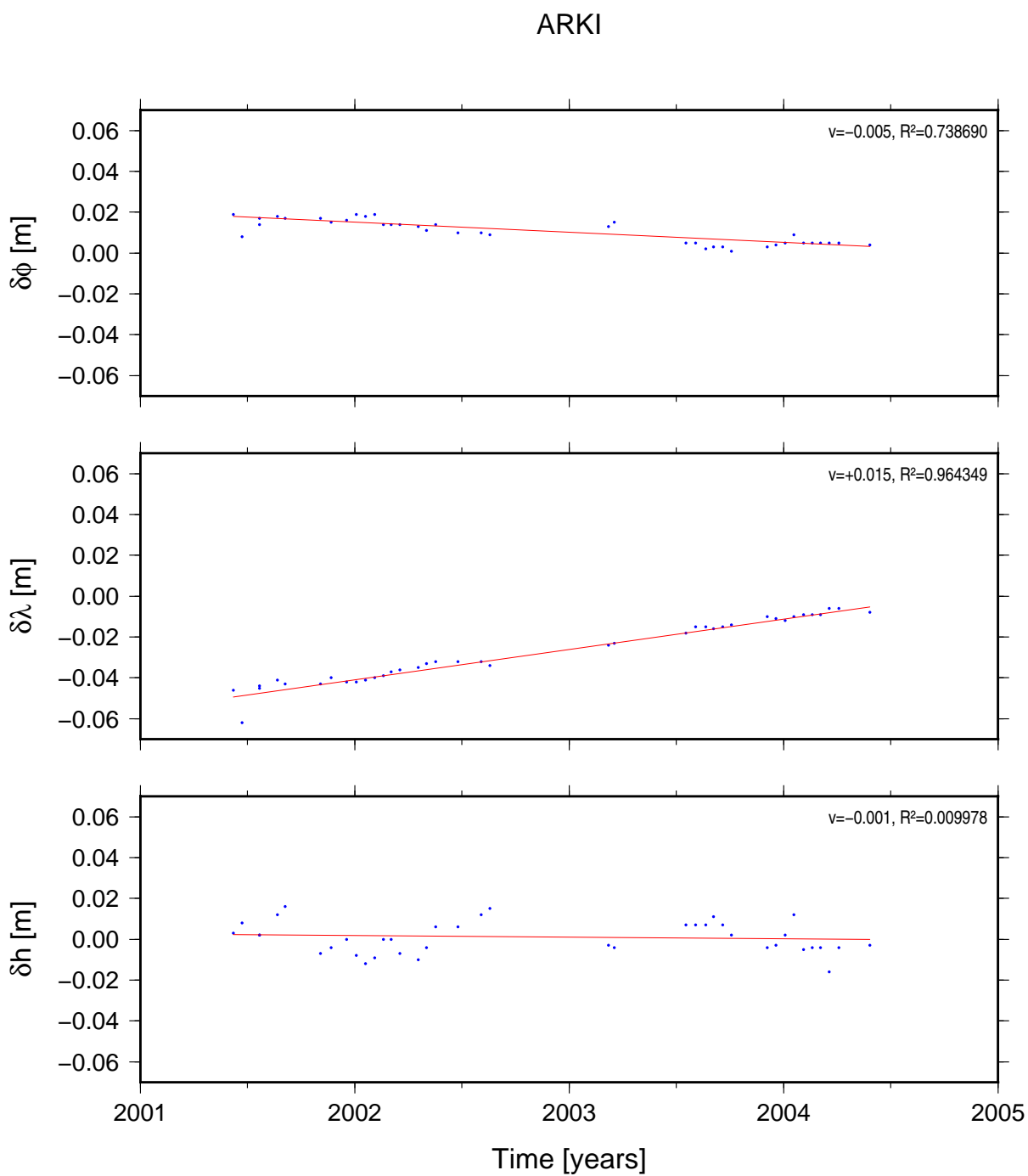
Για κάθε χρονοσειρά υπολογίζεται η εξίσωση της ευθείας ($y = ax + b$), όπως προκύπτει από την μέθοδο της απλής παλινδρόμησης (regression analysis). Ο συντελεστής a δίνει την ταχύτητα μετακίνησης και R^2 είναι ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination), ο οποίος είναι ένας δείκτης της ποιότητας της προσαρμογής των σημείων στην ευθεία. Όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή (fit) των σημείων και άρα πιο αντιπροσωπευτική η ταχύτητα τους.

Bernese V4.2									
Σταθμός	V_n	V_e	V_u	σ_{vn}	σ_{ve}	σ_{vu}	R^2_{vn}	R^2_{ve}	R^2_{vu}
	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)			
ARKI	-5.1	13.0	0.700	0.0004	0.0003	0.0013	0.8667	0.9812	0.0131
DION	-12.0	7.4	-2.100	0.0004	0.0003	0.0009	0.9562	0.9311	0.9311
NOA1	-14.1	9.1	2.800	0.0005	0.0006	0.0011	0.9115	0.6746	0.0529
Bernese V5.0									
ARKI	-5.3	13.8	0.580	0.0000	0.0000	0.0001	0.9375	0.9925	0.0155
DION	-11.3	7.7	0.692	0.0000	0.0000	0.0001	0.9922	0.9769	0.0482
NOA1	-11.8	7.0	0.772	0.0001	0.0000	0.0002	0.9558	0.9530	0.0124
KRYO	-13.2	6.8	-1.172	0.0000	0.0000	0.0001	0.9914	0.9544	0.0592

Πίνακας 6.2: Ετήσιες ταχύτητες των μόνιμων σταθμών στο ITRF96 (Bernese V4.2) και το IGS05 (Bernese V5.0)

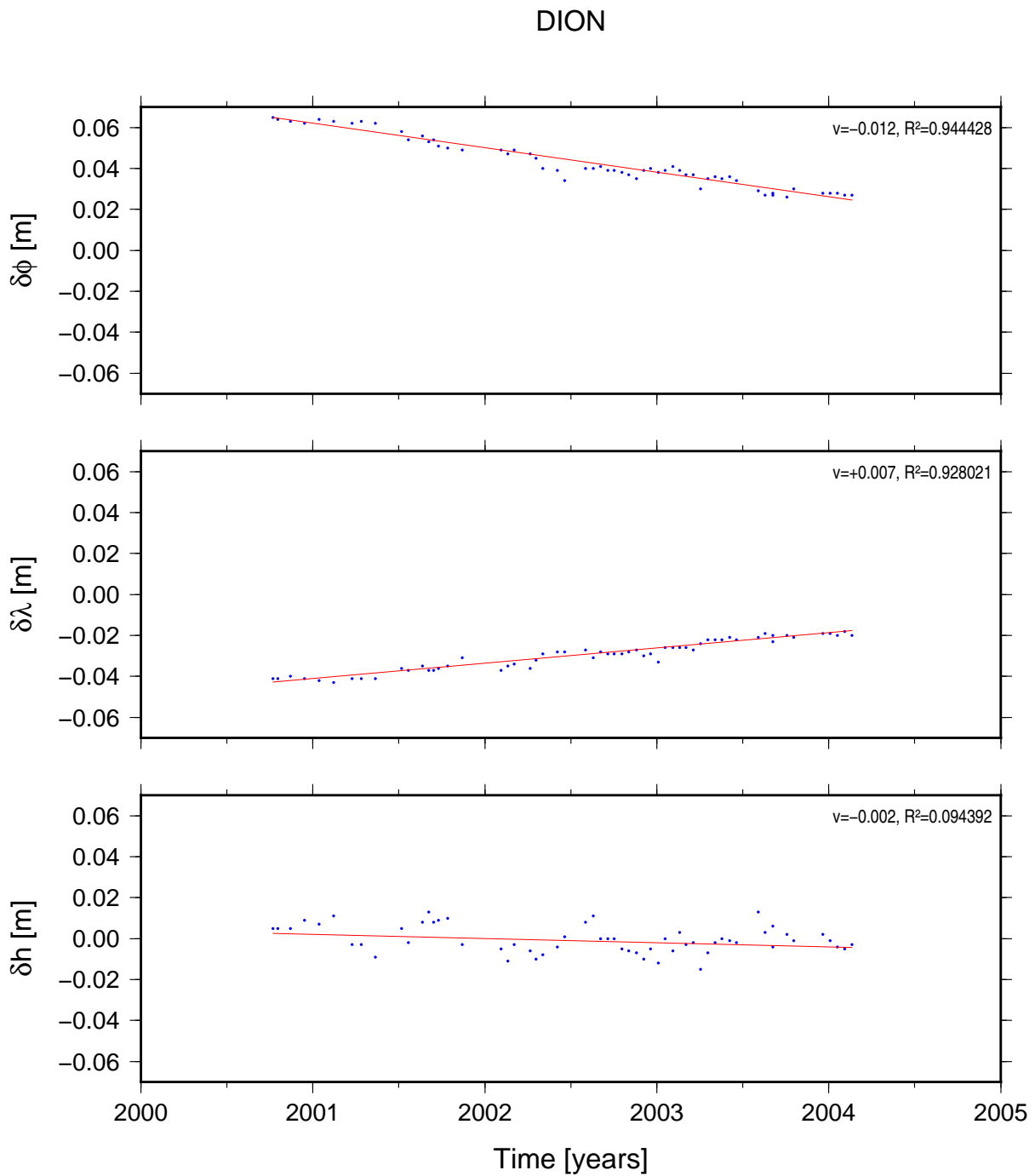
Table 6.2: Annual Velocities of permanent stations expressed in ITRF96 (Bernese V4.2) and in IGS05 (Bernese V5.0)

Όπως είναι αναμενόμενο το γραμμικό μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στην περίπτωση των οριζοντιογραφικών συνιστωσών (ϕ, λ) σε αντίθεση με την υψομετρική συνιστώσα, όπου η προσαρμογή υστερεί και εμφανίζονται σφάλματα μιας τάξης μεγέθους μεγαλύτερα από τα οριζοντιογραφικά. Παρ' όλα αυτά, επειδή η διάρκεια των δεδομένων είναι σημαντική, μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση και για την κατακόρυφη τεκτονική μετακίνηση των σταθμών.



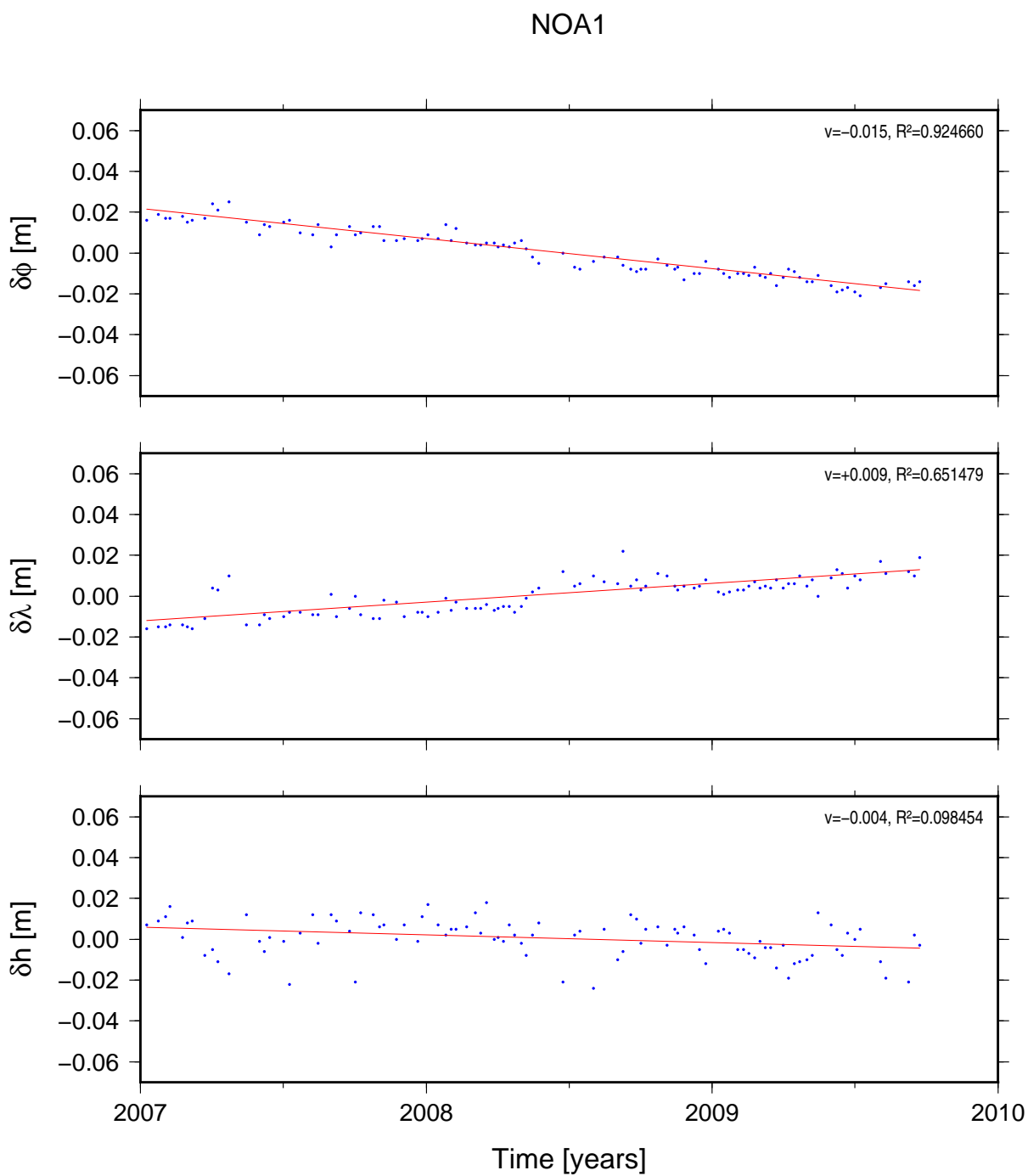
Σχήμα 6.1: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό ARKI με το Bernese V4.2

Figure 6.1: Tectonic motion at ARKI, processed with Bernese V4.2



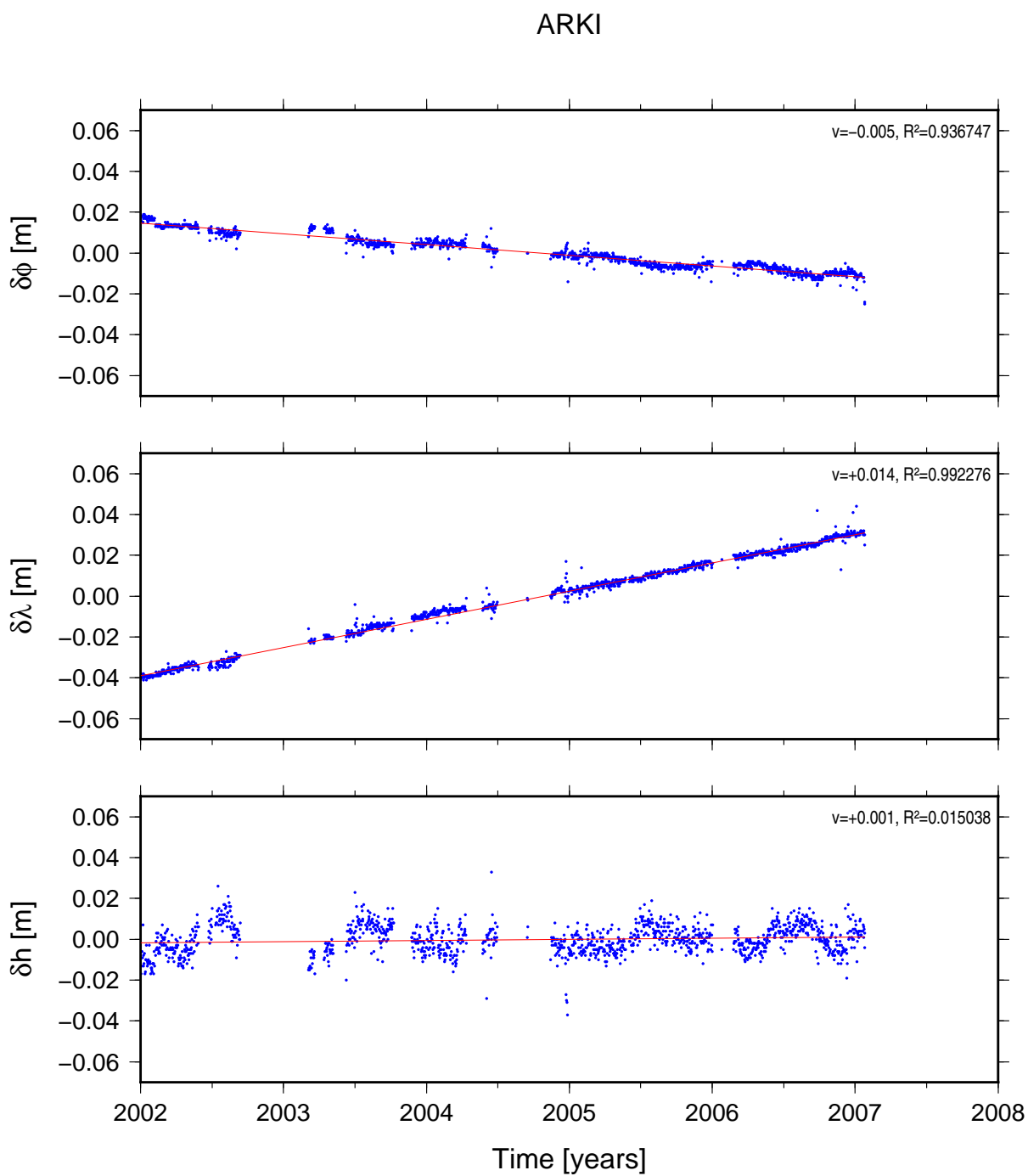
Σχήμα 6.2: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό DION με το Bernese V4.2

Figure 6.2: Tectonic motion at DION, processed with Bernese V4.2



Σχήμα 6.3: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σταθμό NOA1 με το Bernese V4.2

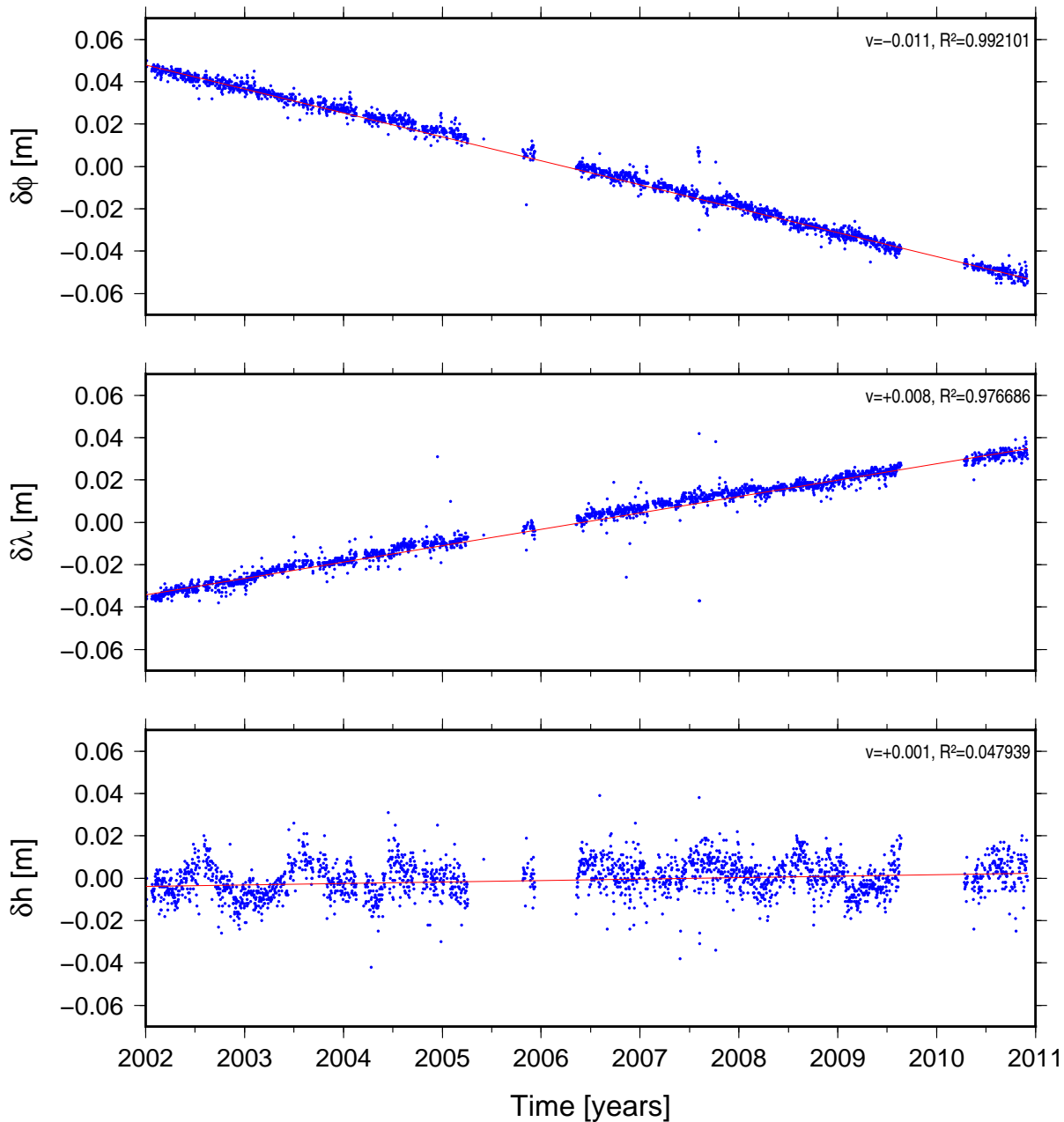
Figure 6.3: Tectonic motion at NOA1, processed with Bernese V4.2



Σχήμα 6.4: Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο ARKI με το Bernese V5.0

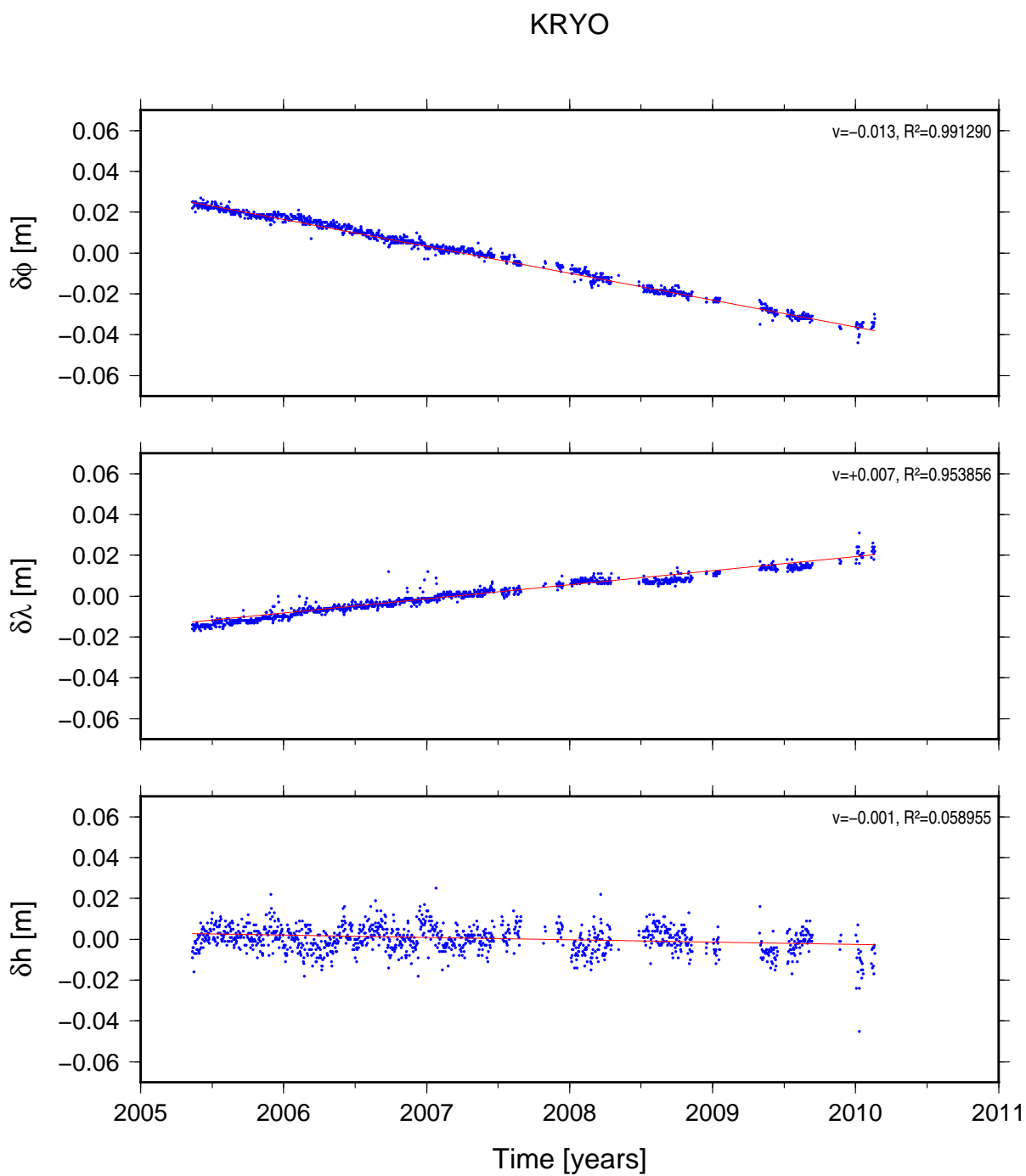
Figure 6.4: Tectonic motion at ARKI, processed with Bernese V5.0

DION



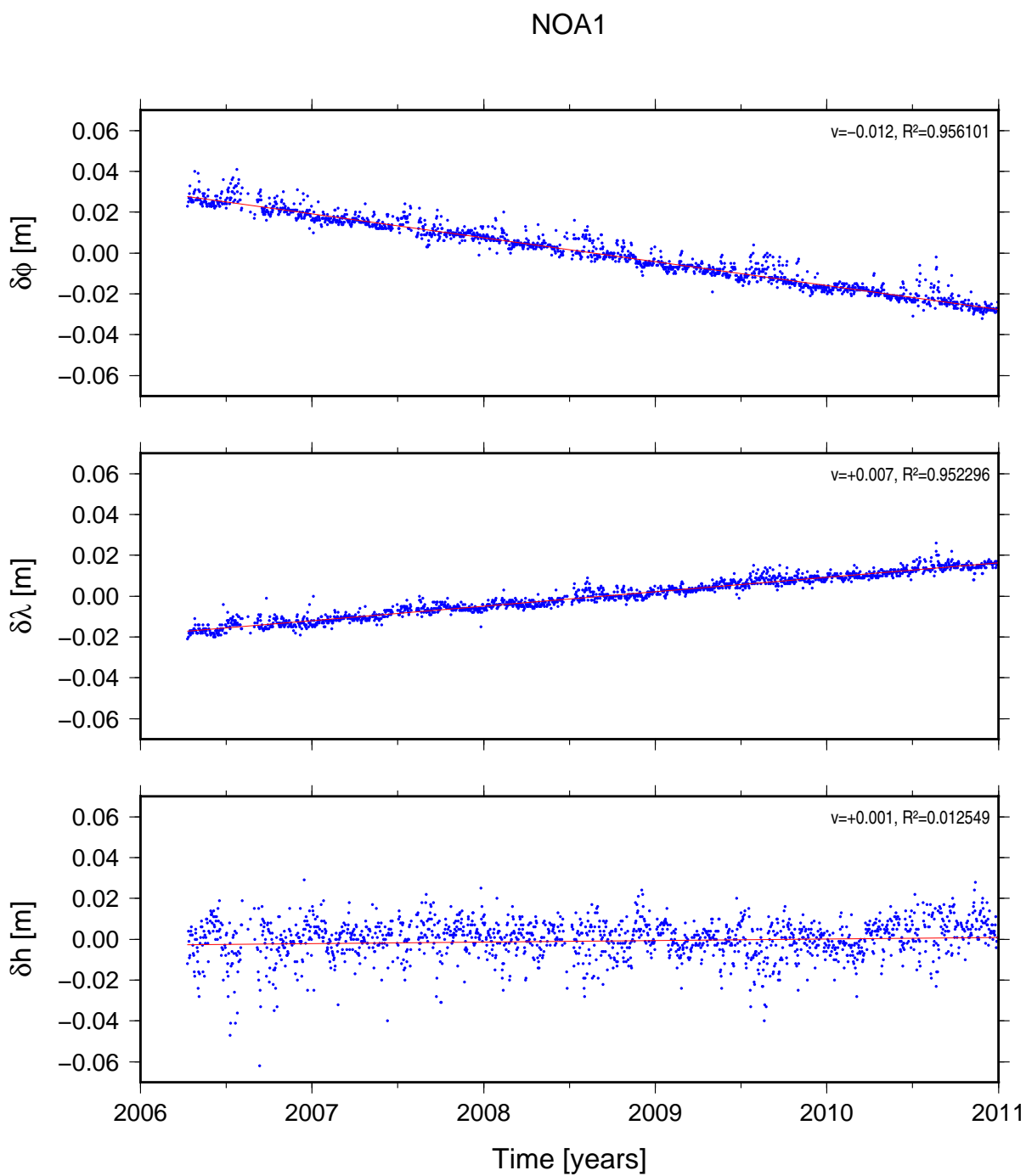
Σχήμα 6.5: Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο DION με το Bernese V5.0

Figure 6.5: Tectonic motion at DION, processed with Bernese V5.0



Σχήμα 6.6: Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο KRYO με το Bernese V5.0

Figure 6.6: Tectonic motion at KRYO, processed with Bernese V5.0



Σχήμα 6.7: Τεκτονική μετατόπιση στο σημείο NOA1 με το Bernese V5.0

Figure 6.7: Tectonic motion at NOA1, processed with Bernese V5.0

Στα Σχήματα 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, παρουσιάζονται αντίστοιχα οι χρονοσειρές των σημείων ARKI, DION, KRYO, NOA1, όπως αυτές προκύπτουν από την επίλυση με το Bernese V5.0.

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι τελικές ομαλοποιημένες ταχύτητες (v_n, v_e, v_u) καθώς και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες ($\sigma_{vn}, \sigma_{ve}, \sigma_{vu}$) και οι συντελεστές προσδιορισμού $R^2 (R_{vn}^2, R_{ve}^2, R_{vu}^2)$ των μόνιμων σταθμών, τόσο για τις λύσεις με το Bernese V4.2 όσο και γι' αυτές με το Bernese V5.0.

Σταθμός	$\Delta X(\text{mm/y})$	$\Delta Y(\text{mm/y})$	$\Delta Z(\text{mm/y})$
ARKI	0.2	-0.8	0.1
DION	-0.7	-0.3	-2.8
NOA1	-2.3	2.1	2.0

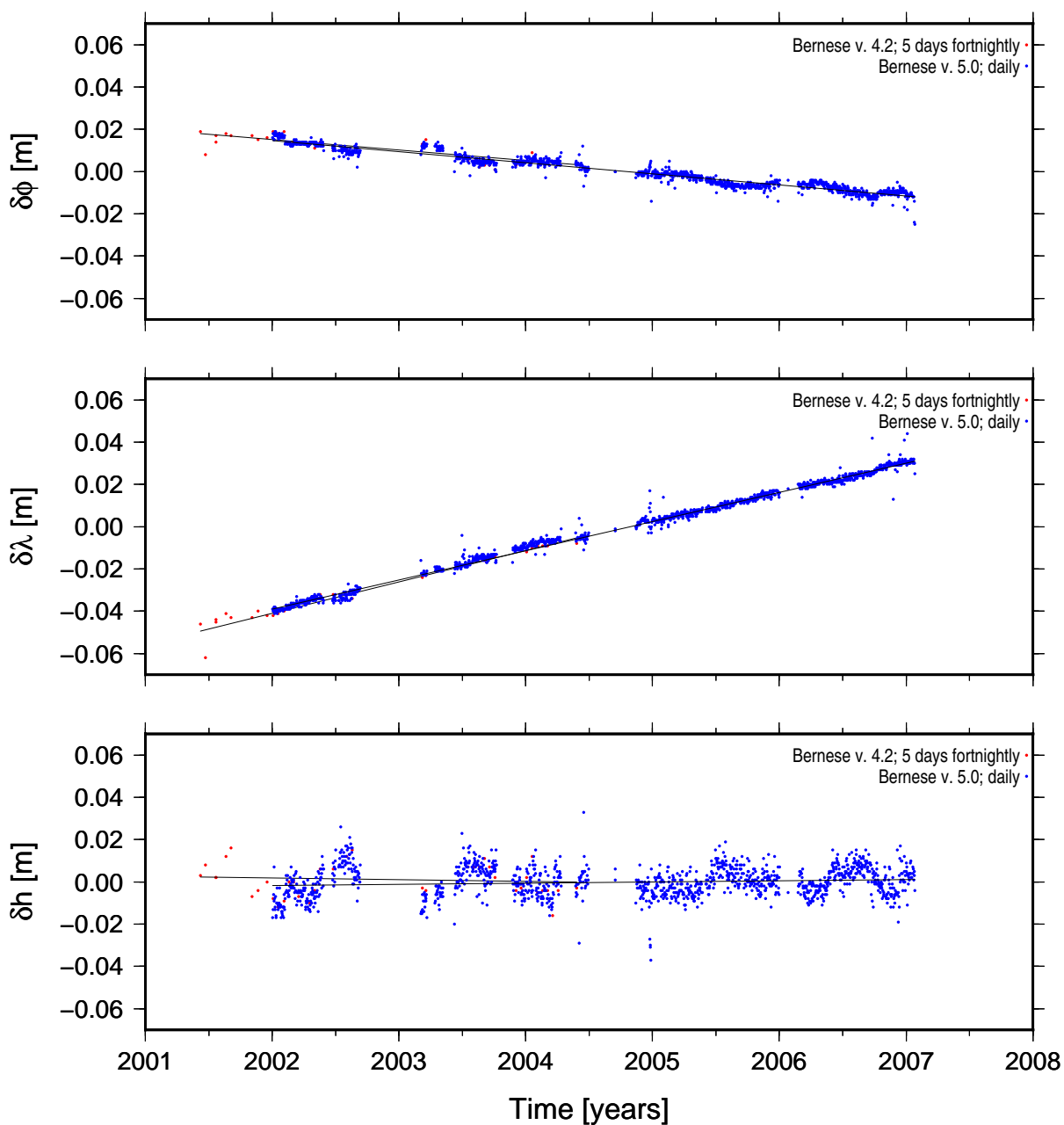
Πίνακας 6.3: Αποκλίσεις στις ετήσιες ταχύτητες των σταθμών από τις διαφορετικές επιλύσεις
Table 6.3: Discrepancies in velocities between different solutions

Στον Πίνακα 6.3 και στα Σχήματα 6.8, 6.9 και 6.10 παρουσιάζονται οι αποκλίσεις στις ετήσιες ταχύτητες των σταθμών από τις δύο διαφορετικές επιλύσεις που αναφέρθηκαν. Παρατηρείται ότι αυτές είναι μικρές της τάξης των χιλιοστών, παρ' όλο που οι υπολογισμοί έχουν γίνει σε άλλο σύστημα αναφοράς χρησιμοποιώντας διαφορετικούς σταθμούς IGS και άλλη έκδοση του ίδιου προγράμματος (*Marinou et al. 2011*).

Στον τελικό υπολογισμό του πεδίου ταχυτήτων καθώς και της παραμόρφωσης θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την επίλυση με το Bernese V5.0 λόγω της μεγάλης διάρκειας και πυκνότητας των δεδομένων.

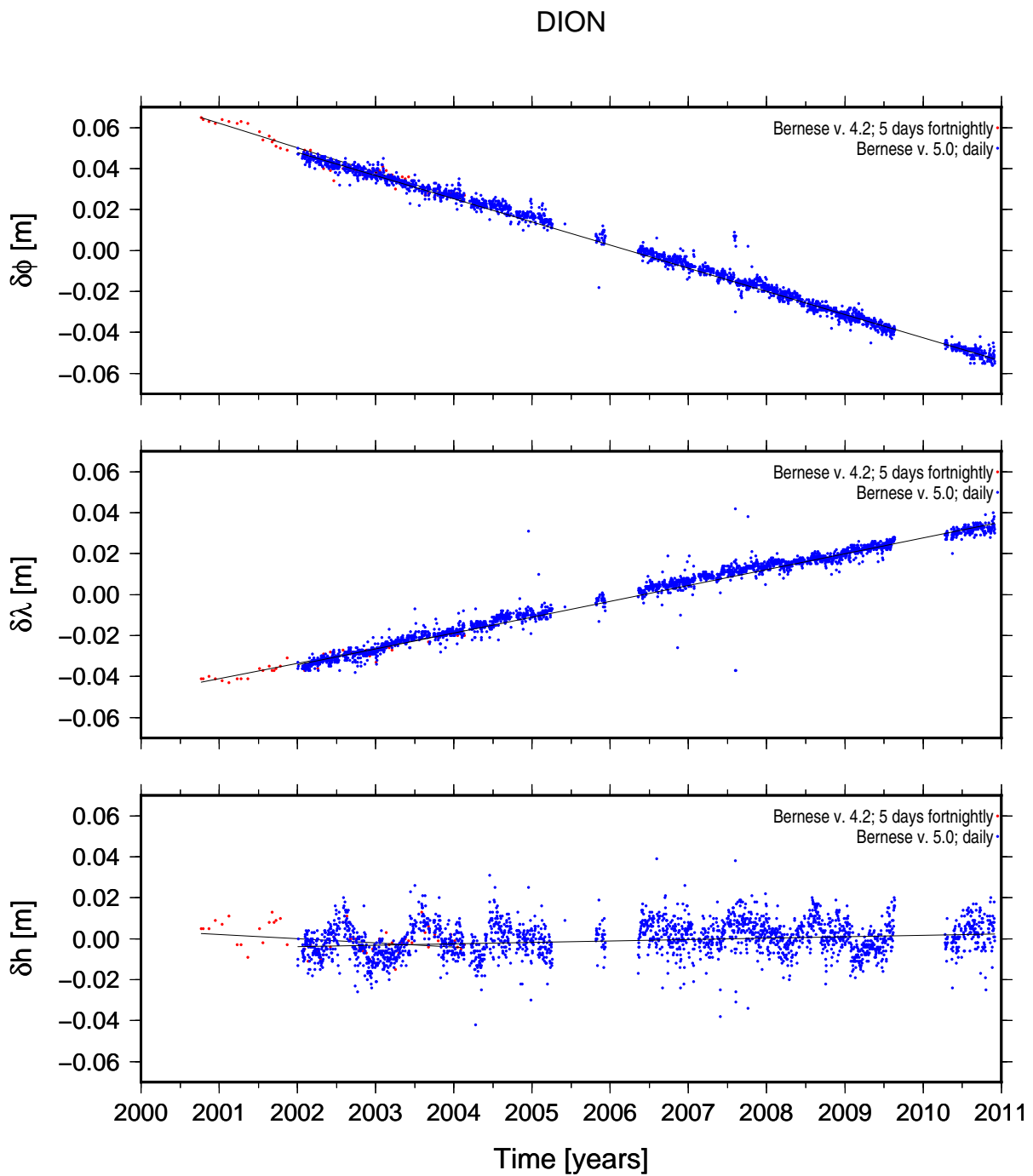
Η ίδια μεθοδολογία ακολουθείται και στην περίπτωση των μη μόνιμων σταθμών που έχουν μετρηθεί παραπάνω από 2 εποχές. Για τον υπολογισμό των ταχυτήτων είναι απαραίτητος ο μετασχηματισμός τους στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τις χρονοσειρές αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς ITRF 2000. Στο Παράρτημα Β' παρουσιάζονται όλες οι χρονοσειρές ανά σημείο. Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται όλες οι εποχές των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για κάθε σημείο. Σε κάποια σημεία δεν χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις στον υπολογισμό της ταχύτητας, γιατί η προσαρμογή τους στο γραμμικό μοντέλο δεν ήταν καλή.

ARKI



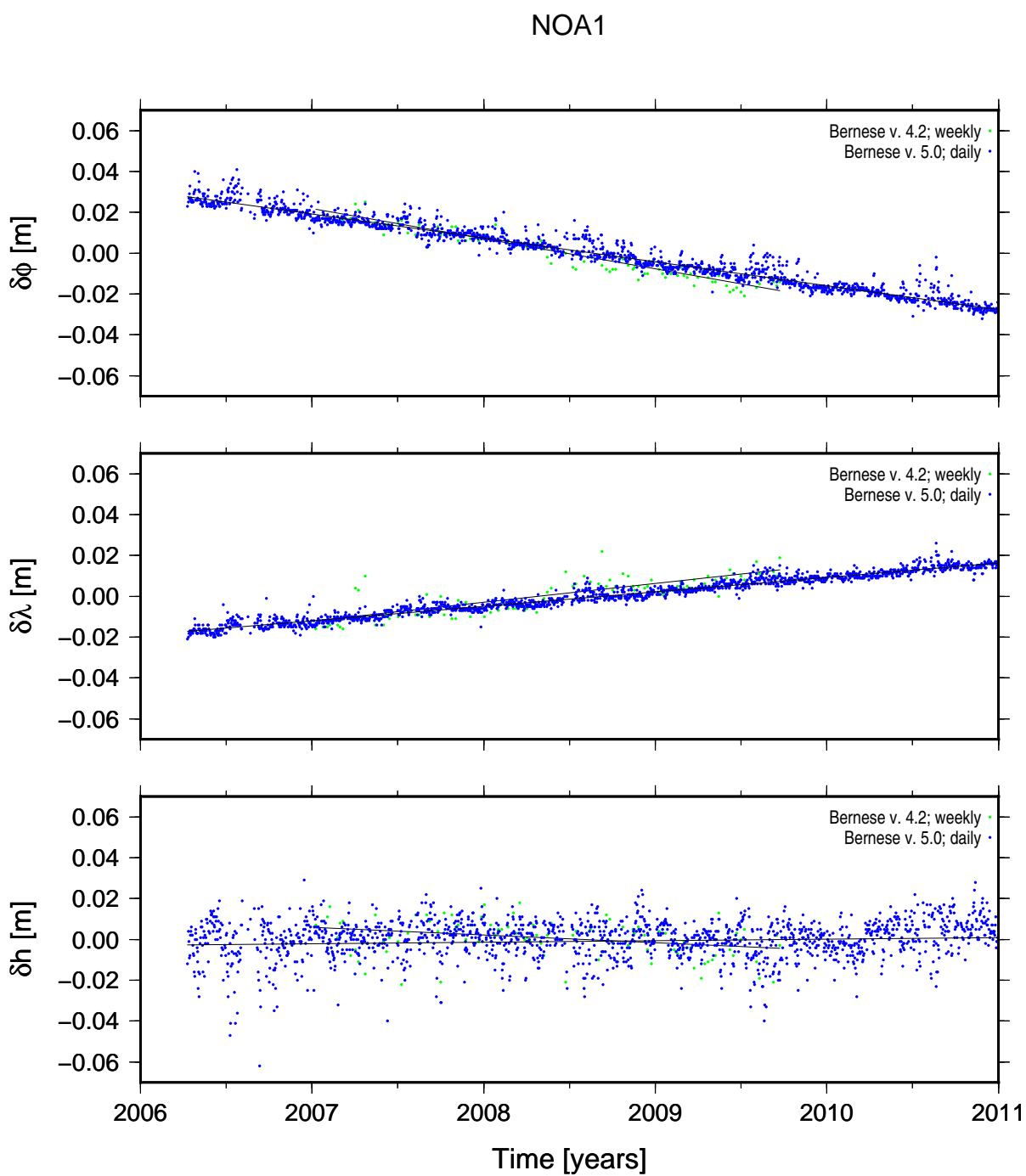
Σχήμα 6.8: Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο ARKI των επιλύσεων με Bernese V4.2 και Bernese V5.0

Figure 6.8: Comparison of tectonic motion for ARKI, processed with Bernese V4.2 and Bernese V5.0



Σχήμα 6.9: Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο DION των επιλύσεων με Bernese V4.2 και Bernese V5.0

Figure 6.9: Comparison of tectonic motion for DION, processed with Bernese V4.2 and Bernese V5.0



Σχήμα 6.10: Σύγκριση τεκτονικών μετατοπίσεων για το σημείο NOA1 των επιλύσεων με Bernese V4.2 και Bernese V5.0

Figure 6.10: Comparison of tectonic motion for NOA1, processed with Bernese V4.2 and Bernese V5.0

CODE	89.44	91.78	93.39	97.76	98.53	99.77	00.52	01.50	02.84	04.40	05.36	05.76	06.33	08.79	08.82
CG15		*	*	*								*			
CG17		*	*	*								*			
CG20		*	*	*				*	*			*			*
CG21	*	*	*	*								*			
CG24		*	*	*								*			
CG25		*	*	*				*	*						
CG26	*	*	*	*											
CG27		*	*	*								*			
CG28	*	*	*	*				*	*			*			*
CG29	*	*	*	*				*	*						*
CG33	*	*	*	*				*	*			*			
CG34	*	*	*	*				*	*			*			*
CG35		*	*	*				*	*			*			*
CG36		*	*	*				*	*			*			
CG37		*	*	*											
CG38	*	*	*	*								*			
CG41		*	*	*								*			
CG44	*	*	*	*			*		*			*			*
CG45	*	*	*	*				*	*						*
CG46		*	*	*				*	*			*			*
CG47		*	*	*	*		*	*	*			*			*
CG49		*	*	*	*			*	*			*			*
CG50		*	*	*	*			*	*			*			*
CG51	*	*	*	*				*	*			*			*
CG52		*	*	*								*			
CG53		*	*	*				*	*			*			*
CG55		*	*	*								*			
CG57	*	*	*	*	*	*		*	*			*			*
CG58	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*			*
CG64		*	*	*	*							*			
VA64				*				*	*			*			*
ER07				*				*	*			*			*
TH86				*				*	*						*
TH15				*				*	*						*
P450				*				*	*						*
P331				*				*	*						*
P133				*				*	*			*			*
P084				*				*	*						*
G010								*	*						*
G020								*	*						*
KRKR					*	*		*	*						*
ACLA										*	*		*	*	
AGTR										*	*		*	*	
ALYK										*	*		*	*	
ERIT										*	*		*	*	
KAPA										*	*		*	*	
TAPS										*	*		*	*	
VILI										*	*		*	*	
ASOP											*		*	*	
DFNL											*		*	*	
KALI											*		*	*	
DAFN											*		*	*	
CH00				*								*			
CK00				*								*			
CM00				*								*			
CN00				*								*			
CP00				*								*			
CS00				*								*			
EB00				*								*			
EC00				*								*			
ED00				*								*			
EE00				*								*			
EF05				*								*			
EG00				*								*			
EJ00				*								*			
EK00				*								*			
EL00				*								*			
EK00				*								*			
EM00				*								*			
EN00				*								*			
EO00				*								*			
P025				*								*			
P220				*								*			
P501				*								*			
TR00				*								*			
VO00				*								*			

Πίνακας 6.4: Εποχές μετρήσεων για κάθε σημείο
Table 6.4: Epochs of measurements for each point

Στην περίπτωση που υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις μόνο σε δύο εποχές, πράγμα που συμβαίνει για σημεία Β τάξης στο δίκτυο της Εύβοιας, υπολογίστηκαν οι τρισδιάστατες μετατοπίσεις των σημείων στις δύο εποχές και στη συνέχεια μετασχηματίστηκαν σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς (N, E, U) (Σχέση 6.1). Τα κοινά σημεία για τις δύο περιόδους μετρήσεων είναι 24.

$$\begin{bmatrix} \Delta N \\ \Delta E \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

Μια εκτίμηση των ταχυτήτων για τα σημεία αυτά προκύπτει αν οι συνιστώσες του διανύσματος της μετατόπισης διαιρεθούν με το χρονικό διάστημα των δύο μετρήσεων τους. Οι ταχύτητες αυτές εμπλουτίζουν το πεδίο ταχυτήτων μιας περιοχής, εφόσον συμβαδίζουν σε μέγεθος και προσανατολισμό με τις ταχύτητες των σημείων που έχουν προκύψει από σημαντικό αριθμό περιόδων μετρήσεων.

Όπως αναφέρθηκε προτιμήθηκε το ITRF2000 (International Reference Frame 2000) ως το τελικό σύστημα αναφοράς για τον υπολογισμό του πεδίου ταχυτήτων, γιατί αναφέρεται στη μέση της χρονικής περιόδου που εξετάζεται ενώ μεγαλύτερο δίκτυο στην περιοχή ενδιαφέροντος (της Εύβοιας) έχει επιλυθεί σε αυτό. Επιπλέον είναι το σύστημα αναφοράς των διαθέσιμων ταχυτήτων για τον Κορινθιακό Κόλπο.

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται οι τελικές ταχύτητες όλων των σημείων στο ITRF2000 ενώ στον Πίνακα 6.6 και το Σχήμα 6.15 οι ομαλοποιημένες ταχύτητες, όπως αυτές προκύπτουν ως προς την Ευρώπη, καθώς και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες και οι συντελεστές προσδιορισμού τους (Peter 2000).

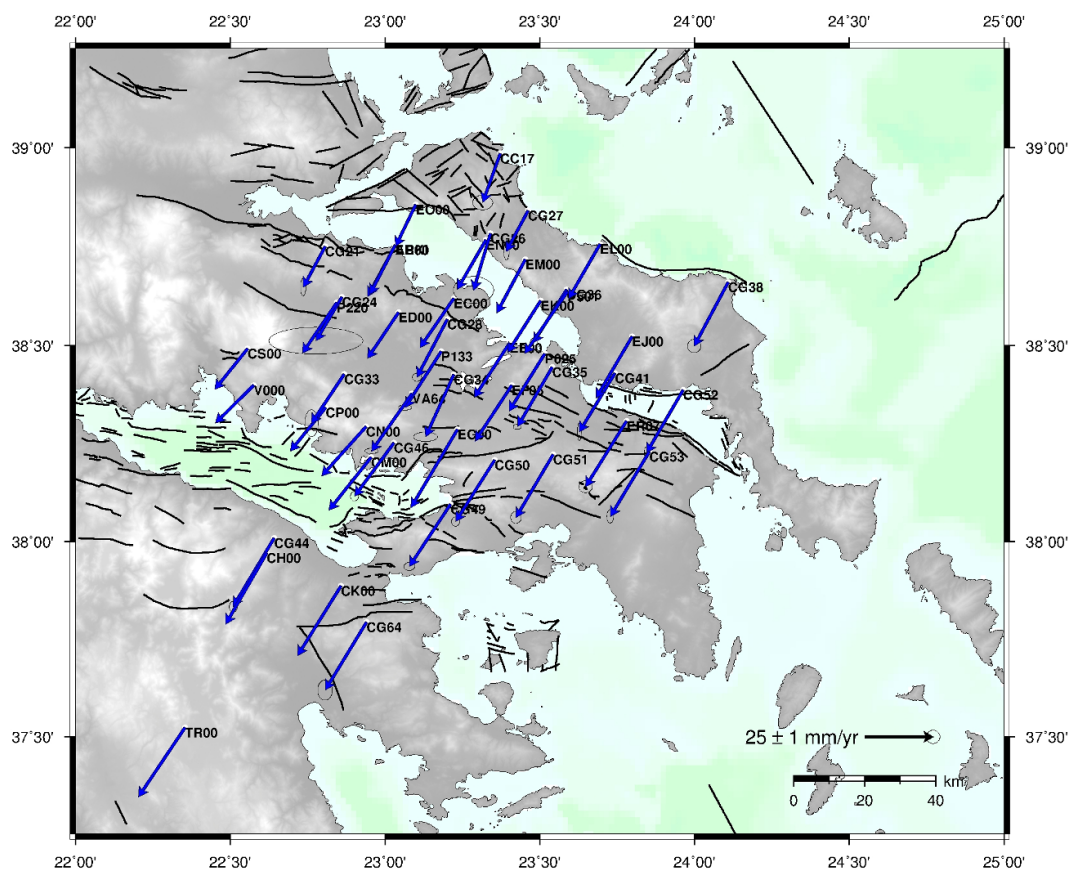
Στα Σχήματα 6.11, 6.12, 6.13 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο της Εύβοιας, το δίκτυο Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας και το για το δίκτυο του Καπαρελλίου. Στο Σχήμα 6.14 παρουσιάζεται το πεδίο ταχυτήτων στον Κορινθιακό Κόλπο (Avallone et al. 2004) και τέλος στο Σχήμα 6.15 παρουσιάζονται οι ταχύτητες συνολικά και για τα 4 δίκτυα που αναφέρονται παραπάνω. Επισημαίνεται ότι στους προηγούμενους χάρτες, αλλά και σε όλους τους επόμενους, οι θέσεις των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής που αποτυπώνονται με συνεχείς μαύρες γραμμές προέρχονται από αδημοσίευτα δεδομένα του Δ/ντή Ερευνών του ΕΑΑ Δρ. Α. Γκανά.

Σε όλους τους παραπάνω χάρτες φαίνεται η αναμενόμενη νοτιοδυτική κίνηση της περιοχής σε σχέση με την Ευρώπη και μια σχετική αύξηση ταχυτήτων από Βορρά προς

CODE	Εποχές μετρήσεων	Χρονικό διάστημα	V _n (m)	V _e (m)	V _u (m)	σ _{vn}	σ _{ve}	σ _{vu}	R ²	R ²	R ²
ACLA	4	2004-2008	-8.6	9.6	-14.1	1.1	1.4	1.9	0.969	0.962	0.964
AGTR	4	2004-2008	-10.6	8.9	-8.8	1.1	1.1	3.6	0.981	0.969	0.754
ALYK	4	2004-2008	-6.4	8.8	-14.4	0.7	0.2	9.7	0.988	1.000	0.919
ASOP	3	2005-2008	-9.2	8.2	-1.6	0.1	0.4	5.1	1.000	0.997	0.094
CG15	4	1991-2005	-1.9	1.7	4.7	0.8	0.1	3.1	0.643	0.994	0.538
CG17	4	1991-2005	-6.5	17.2	6.9	1.5	1.1	4.0	0.898	0.992	0.600
CG20	7	1991-2008	-2.7	13.5	3.3	0.6	0.8	5.7	0.859	0.986	0.077
CG21	5	1989-2005	-3.5	15.6	1.7	0.4	1.3	5.7	0.966	0.980	0.031
CG24	4	1991-2005	-4.6	14.1	9.6	1.5	6.8	10.3	0.898	0.812	0.465
CG25	4	1991-2002	-7.2	16.8	2.0	0.9	2.7	2.4	0.972	0.950	0.256
CG26	4	1989-1997	-9.3	17.4	-2.9	1.8	2.8	5.3	0.928	0.951	0.130
CG27	4	1991-2005	-8.1	14.8	12.8	0.5	1.9	5.8	0.993	0.968	0.711
CG28	7	1989-2008	-9.2	12.4	1.4	0.7	0.5	2.3	0.967	0.990	0.057
CG29	6	1989-2005	-4.6	13.5	1.0	0.6	0.7	5.2	0.934	0.991	0.010
CG33	7	1989-2005	-6.6	11.5	4.1	0.7	0.9	5.7	0.956	0.976	0.111
CG34	7	1989-2008	-10.9	12.8	0.3	1.5	0.8	5.0	0.895	0.978	0.000
CG35	7	1991-2005	-10.3	10.9	-0.2	0.6	0.4	2.6	0.981	0.994	0.001
CG36	6	1991-2005	-7.9	11.5	-0.1	0.5	0.6	3.0	0.983	0.988	0.008
CG37	3	1991-1997	-10.4	10.9	24.6	1.6	4.5	9.0	0.977	0.856	0.883
CG38	5	1989-2005	-11.9	11.2	10.2	1.3	1.3	4.3	0.978	0.973	0.738
CG41	4	1991-2005	-10.0	10.6	3.9	0.3	1.3	4.3	0.998	0.992	0.308
CG44	8	1989-2008	-13.2	8.4	2.3	0.6	0.7	3.6	0.986	0.954	0.056
CG45	6	1989-2008	-6.3	9.4	1.1	0.4	0.8	0.9	0.961	0.975	0.038
CG46	7	1991-2008	-8.1	9.2	-1.4	0.6	0.7	5.2	0.986	0.972	0.013
CG47	8	1991-2008	-11.5	9.4	2.2	0.7	1.0	4.3	0.980	0.944	0.052
CG49	8	1991-2008	-11.4	8.5	3.5	0.8	0.6	4.0	0.974	0.974	0.112
CG50	8	1991-2008	-11.1	9.3	9.8	0.6	0.7	9.2	0.983	0.963	0.159
CG51	8	1989-2008	-11.6	10.0	-0.1	0.8	0.9	2.6	0.983	0.972	0.000
CG52	4	1991-2005	-11.6	10.2	3.8	0.3	0.9	2.6	0.998	0.981	0.411
CG53	7	1991-2008	-12.0	9.2	3.8	0.6	0.8	2.0	0.987	0.963	0.415
CG55	4	1991-2005	-12.8	-10.0	4.9	0.1	0.1	4.6	1.000	1.000	0.357
CG57	9	1989-2008	-11.9	10.1	4.7	0.7	0.8	5.4	0.975	0.962	0.107
CG58	9	1989-2008	-10.4	4.5	-0.5	1.9	1.1	4.0	0.786	0.687	0.002
CG64	5	1991-2005	-13.4	8.5	7.9	1.1	1.5	9.7	0.982	0.918	0.182
CH00	2	1997-2005	-14.6	8.6	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
CK00	2	1997-2005	-14.1	7.8	-15.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
CM00	2	1997-2005	-7.9	8.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
CN00	2	1997-2005	-6.6	7.4	-2.6	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
CP00	2	1997-2005	-4.5	10.8	6.1	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
CS00	2	1997-2005	-3.5	11.6	-2.9	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
DAFN	3	2005-2008	-13.0	9.3	-10.0	1.2	0.1	5.3	0.991	1.000	0.779
DFNL	3	2005-2008	-10.9	7.7	-2.1	0.1	2.1	0.9	1.000	0.932	0.858
E000	2	1997-2005	-8.3	10.7	-4.0	1.2	0.6	3.0	0.958	0.994	0.478
EB00	2	1997-2005	-6.5	14.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EC00	2	1997-2005	-6.6	11.3	-4.9	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
ED00	2	1997-2005	-5.5	12.3	-3.8	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EE00	2	1997-2005	-8.5	10.8	-3.3	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EF05	2	1997-2005	-8.9	10.3	-5.4	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EG00	2	1997-2005	-17.1	6.6	-14.3	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EJ00	2	1997-2005	-11.1	10.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EK00	2	1997-2005	-7.4	11.6	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EL00	2	1997-2005	-8.5	12.1	-9.5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EM00	2	1997-2005	-8.1	13.3	-9.9	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EN00	2	1997-2005	-6.6	13.3	-3.5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
EO00	2	1997-2005	-3.9	16.3	4.4	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
ER07	5	1997-2005	-12.3	8.9	-7.6	1.1	0.3	3.7	0.975	0.997	0.581
ERIT	3	2005-2008	-11.0	9.2	-7.0	0.2	0.8	1.3	0.999	0.986	0.938
G100	3	2001-2008	-15.3	8.1	-2.1	0.4	0.2	7.1	0.999	0.999	0.078
G200	3	2001-2008	-14.9	9.5	-9.9	0.3	0.8	6.5	1.000	0.993	0.702
KALI	3	2005-2008	-11.6	8.7	-6.7	3.1	0.9	1.0	0.934	0.989	0.976
KAPA	4	2004-2008	-9.5	8.7	-8.7	1.1	1.6	1.2	0.976	0.939	0.963
KRKR	5	1998-2008	-13.1	11.0	-5.6	2.7	11.1	11.8	0.857	0.199	0.053
P025	2	1997-2005	-9.6	10.5	-2.5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
P084	4	2001-2008	-11.4	11.3	-4.3	2.6	0.5	2.3	0.904	0.996	0.642
P133	4	1997-2008	-9.1	10.4	-3.2	1.0	0.4	4.9	0.962	0.996	0.125
P220	2	1997-2005	-7.1	11.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
P331	4	1997-2008	-11.4	8.9	-4.1	1.3	0.5	4.4	0.973	0.994	0.303
P450	4	1997-2008	-7.1	13.4	-3.2	0.5	0.6	4.4	0.992	0.995	0.215
P501	2	1997-2005	-11.3	7.9	2.6	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
TAPS	4	2004-2008	-9.6	9.3	-3.8	0.8	1.3	0.7	0.985	0.965	0.941
th15	4	1997-2008	-12.0	3.5	5.6	2.1	1.1	3.2	0.971	0.916	0.749
TH86	4	1997-2008	-14.4	2.2	0.3	2.4	2.7	1.1	0.948	0.247	0.045
TR00	2	1997-2005	-13.9	6.6	-14.4	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
V000	2	1997-2005	-2.4	9.6	-2.6	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
VA64	5	1997-2008	-9.6	8.8	-8.0	1.0	0.4	4.1	0.968	0.993	0.555
VILI	4	2004-2008	-11.0	10.3	-11.5	0.9	1.0	3.1	0.986	0.983	0.874

Πίνακας 6.5: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες στο γήινο πλαίσιο ITRF2000

Table 6.5: Normalized annual velocities expressed in ITRF2000



2013 Apr 11 16:21:36 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.11: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο της Εύβοιας.

Figure 6.11: Normalized annual velocities for the Evia network with respect to a fixed Europe.

CODE	V_n (m)	V_e (m)	V_u (m)	σ_{vn}	σ_{ve}	σ_{vu}
ACLA	-20.0	-14.0	-14.1	1.082	1.353	1.9
AGTR	-22.0	-14.7	-8.8	1.051	1.128	3.6
ALYK	-17.8	-14.8	-14.4	0.699	0.187	9.7
ASOP	-20.6	-15.4	-1.6	0.056	0.429	5.1
CG15	-13.3	-21.9	4.7	0.769	0.098	3.1
CG17	-17.9	-6.4	6.9	1.543	1.123	4.0
CG20	-14.1	-10.1	3.3	0.553	0.809	5.7
CG21	-14.9	-8.0	1.7	0.379	1.289	5.7
CG24	-16.0	-9.5	9.6	1.546	6.783	10.3
CG25	-18.6	-6.8	2.0	0.861	2.734	2.4
CG26	-20.7	-6.2	-2.9	1.831	2.790	5.3
CG27	-19.5	-8.8	12.8	0.495	1.890	5.8
CG28	-20.6	-11.2	1.4	0.689	0.513	2.3

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

CODE	V_n (m)	V_e (m)	V_u (m)	σ_{vn}	σ_{ve}	σ_{vu}
<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>						
CG29	-16.0	-10.1	1.0	0.617	0.653	5.2
CG33	-18.0	-12.1	4.1	0.706	0.901	5.7
CG34	-22.3	-10.8	0.3	1.525	0.781	5.0
CG35	-21.7	-12.7	-0.2	0.634	0.390	2.6
CG36	-19.3	-12.1	-0.1	0.516	0.647	3.0
CG37	-21.8	-12.7	24.6	1.610	4.466	9.0
CG38	-23.3	-12.4	10.2	1.256	1.316	4.3
CG41	-21.4	-13.0	3.9	0.347	1.316	4.3
CG44	-24.6	-15.2	2.3	0.603	0.693	3.6
CG45	-17.7	-14.2	1.1	0.432	0.801	0.9
CG46	-19.5	-14.4	-1.4	0.637	0.691	5.2
CG47	-22.9	-14.2	2.2	0.730	1.026	4.3
CG49	-22.8	-15.1	3.5	0.763	0.563	4.0
CG50	-22.5	-14.3	9.8	0.595	0.740	9.2
CG51	-23.0	-13.6	-0.1	0.769	0.857	2.6
CG52	-23.0	-13.4	3.8	0.323	0.857	2.6
CG53	-23.4	-14.4	3.8	0.614	0.807	2.0
CG55	-24.2	-33.6	4.9	0.079	0.062	4.6
CG57	-23.3	-13.5	4.7	0.723	0.788	5.4
CG58	-21.8	-19.1	-0.5	1.915	1.082	4.0
CG64	-24.8	-15.1	7.9	1.059	1.475	9.7
CH00	-26.0	-15.0	-0.6	0.000	0.000	0.0
CK00	-25.5	-15.9	-15.0	0.000	0.000	0.0
CM00	-19.3	-15.4	-0.3	0.000	0.000	0.0
CN00	-18.0	-16.2	-2.6	0.000	0.000	0.0
CP00	-15.9	-12.9	6.1	0.000	0.000	0.0
CS00	-14.9	-12.0	-2.9	0.000	0.000	0.0
DAFN	-24.4	-14.3	-10.0	1.202	0.099	5.3
DFNL	-22.3	-15.9	-2.1	0.056	2.072	0.9
E000	-19.7	-12.9	-4.0	1.227	0.577	3.0
EB00	-17.9	-9.2	0.5	0.000	0.000	0.0
EC00	-18.0	-12.4	-4.9	0.000	0.000	0.0
ED00	-16.9	-11.4	-3.8	0.000	0.000	0.0
EE00	-19.9	-12.9	-3.3	0.000	0.000	0.0
EF05	-20.3	-13.4	-5.4	0.000	0.000	0.0
EG00	-28.5	-17.0	-14.3	0.000	0.000	0.0
EJ00	-22.5	-13.2	1.0	0.000	0.000	0.0
EK00	-18.8	-12.0	-4.0	0.000	0.000	0.0
EL00	-19.9	-11.5	-9.5	0.000	0.000	0.0
EM00	-19.5	-10.4	-9.9	0.000	0.000	0.0
EN00	-18.0	-10.4	-3.5	0.000	0.000	0.0
EO00	-15.3	-7.4	4.4	0.000	0.000	0.0
ER07	-23.7	-14.7	-7.6	1.127	0.283	3.7
ERIT	-22.4	-14.4	-7.0	0.190	0.783	1.3
G100	-26.7	-15.5	-2.1	0.374	0.228	7.1
G200	-26.3	-14.1	-9.9	0.268	0.781	6.5
KALI	-23.0	-14.9	-6.7	3.088	0.925	1.0
KAPA	-20.9	-14.9	-8.7	1.057	1.562	1.2

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

CODE	V_n (m)	V_e (m)	V_u (m)	σ_{vn}	σ_{ve}	σ_{vu}
<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>						
KRKR	-24.5	-12.6	-5.6	2.676	11.054	11.8
P025	-21.0	-13.1	-2.5	0.000	0.000	0.0
P084	-22.8	-12.3	-4.3	2.621	0.529	2.3
P133	-20.5	-13.2	-3.2	1.037	0.358	4.9
P220	-18.5	-12.6	1.5	0.000	0.000	0.0
P331	-22.8	-14.7	-4.1	1.348	0.490	4.4
P450	-18.5	-10.2	-3.2	0.453	0.640	4.4
P501	-22.7	-15.7	2.6	0.000	0.000	0.0
TAPS	-21.0	-14.3	-3.8	0.844	1.257	0.7
TH15	-23.4	-20.1	5.6	2.078	1.069	3.2
TH86	-25.8	-21.4	0.3	2.373	2.679	1.1
TR00	-25.3	-17.0	-14.4	0.000	0.000	0.0
V000	-13.8	-14.0	-2.6	0.000	0.000	0.0
VA64	-21.0	-14.8	-8.0	1.018	0.423	4.1
VILI	-22.4	-13.3	-11.5	0.917	0.968	3.1

Πίνακας 6.6: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη (*Peter 2000*)

Table 6.6: Normalized annual velocities with respect to a fixed Europe (*Peter 2000*)

Νότο. Στην συνέχεια γίνεται διερεύνηση της κινηματικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής κάνοντας την παραδοχή πως κάποια από τα σημεία των δικτύων παραμένουν σταθερά.

Στο *Σχήμα 6.16* παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση των ταχυτήτων από τον Νότο προς τον Βορρά και μια δεξιόστροφη κίνηση της Στερεάς Ελλάδας και της Βόρειας Εύβοιας σε σχέση με την Αττική στην οποία βρίσκεται ο Διόνυσος ο οποίος θεωρείται σταθερός. Ο ρυθμός μεταβολής του μεγέθους της ταχύτητας αυξάνει σημαντικά σε κάποιο τμήμα της Βοιωτίας.

Στο *Σχήμα 6.17* παρουσιάζονται οι ταχύτητες των σημείων θεωρώντας σταθερό τον μόνιμο σταθμό της Αρκίτσας, ο οποίος βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της υπό μελέτη περιοχής. Με βάση τα προηγούμενα είναι αναμενόμενη η αύξηση ταχυτήτων από Βορρά προς Νότο και προσδιορίζεται μια περιοχή με ομοιογενείς ταχύτητες (ως προς μέτρο και διεύθυνση η οποία εμφανίζεται στο *Σχήμα 6.17* με μια κόκκινη γραμμή), όπου εντοπίζεται η ζώνη κινηματικής αλλαγής η οποία έχει ήδη αναφερθεί. Το σημείο TH86 φαίνεται να έχει ανομοιογενή κινηματική συμπεριφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα (*Σχήμα 6.16, 6.17*), έχει μετρηθεί 4 φορές και η προσαρμογή του γραμμικού μοντέλου στην συνιστώσα προς ανατολάς δεν είναι πολύ καλή. Το σημείο TH15 παρουσιάζει επίσης ανομοιογενή συμπεριφορά, και έχει επίσης μετρηθεί σε 4 χρονικές περιόδους, ενώ η προσαρμογή του γραμμικού μοντέλου είναι πολύ καλή και στις δυο οριζοντιογραφικές συνιστώσες, ώστε να θεωρείται αξιόπιστη την τελική του ταχύτητα. Ταυτόχρονα το

EG00 που βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση με το TH15 ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά, ανακόλουθη με την γύρω περιοχή. Οι περίοδοι μέτρησής του είναι δύο, οπότε δεν θεωρείται εξίσου αξιόπιστο με το TH15. Η συγκεκριμένη περιοχή ίσως να παρουσιάζει κάποια τεκτονική - γεωλογική ιδιαιτερότητα το οποίο θα είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί με περαιτέρω μετρήσεις και επιτόπια έρευνα από επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων. Τα τρία αυτά σημεία για τους λόγους που αναφέρθηκαν θα εξαιρεθούν από τον υπολογισμό της συνολικής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή. Ταυτόχρονα μπορεί να παρατηρηθεί πως οι ταχύτητες από Βοιωτία προς το δυτικό τμήμα του Βόρειου Κορινθιακού Κόλπου παρουσιάζουν σταδιακή αύξηση στο μέτρο τους και κινούνται δεξιόστροφα ως προς την ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται ο σταθμός ARKI.

Στο Σχήμα 6.18 παρουσιάζεται η κινηματική της περιοχής θεωρώντας τον μόνιμο σταθμό KRYO στην Πελοπόννησο σταθερό. Παρατηρείται μια διαφοροποίηση των ταχυτήτων νότια από το ρήγμα του Καπαρελλίου, όπως εμφανίζεται και στο σχήμα, η οποία έχει ενδιαφέρον να διερευνηθεί στη συνέχεια, αν τυχόν αποτελεί μια ένδειξη αλλαγής της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής.

Όπως αναφέρθηκε (Σχήμα 6.16, Σχήμα 6.17) παρατηρείται μια αύξηση ταχυτήτων από βορρά προς νότο υποδηλώνοντας ότι στην περιοχή υπάρχει μια ασυνέχεια που την χωρίζει σε δύο τμήματα (Marinou et al. 2006, Βέης et al. 2007). Η ασυνέχεια αυτή σε μικρότερη κλίμακα έχει εντοπιστεί και από τους McClusky et al. (2000), Reilinger et al. (2006), Nyst and Thatcher (2004), Reilinger et al. (2006), Marinou et al. (2006), Βέης et al. (2007), Reilinger et al. (2010), Floyd et al. (2010) (Σχήμα 2.4, 2.5). Σε αυτές τις εργασίες η θέση της παρουσιάζεται βορειότερα ή νοτιότερα από ότι στον παραπάνω χάρτη, κάτι που μπορεί να οφείλεται, στο ότι η περιοχή μελέτης των εργασιών αυτών αφορά πολύ μεγαλύτερη έκταση από ότι η παρούσα εργασία (Ευρύτερος Ελλαδικός Χώρος, Τουρκία, κλπ) και είναι αποτέλεσμα εφαρμογής μαθηματικών κινηματικών μοντέλων παρεμβολής που υπολογίζουν τις κινηματικές ασυνέχειες στο φλοιό.

Στα επόμενα σχήματα θα επιχειρηθεί να προσδιοριστεί γεωγραφικά καλύτερα η ασυνέχεια αυτή και για τον σκοπό αυτό θα μελετηθεί η κινηματική συμπεριφορά της περιοχής κρατώντας διαδοχικά σταθερά σημεία κατά μήκος του εκτιμώμενου ορίου αλλαγής της κίνησης. Έτσι κρατώντας σαν σταθερούς τους σταθμούς από δυσμάς προς ανατολάς κατά μήκος της νοητής γραμμής που ορίζουν αυτοί (CM00, VA64, P133, EE00, CG46) παρατηρείται (Σχήματα 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23) μια διαδοχικά σχεδόν ίδια κινηματική συμπεριφορά. Οι ταχύτητες των σημείων μιας στενής ζώνης (Σχήμα 6.23) γύρω από το πιθανό όριο της ασυνέχειας σχεδόν μηδενίζονται ή είναι στα όρια του σφάλματος, ενώ τα σημεία που βρίσκονται αντίστοιχα βόρεια και νότια φαίνονται να κινούνται

αντίθετα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα διερευνηθεί αν η περιοχή παραμορφώνεται διαφορετικά υπολογίζοντας τανυστές βόρεια και νότια κατά μήκος της ζώνης αυτής (Σχήμα 6.23). Από όλα τα σχήματα, τα οποία δείχνουν την ίδια εικόνα για την αλλαγή της παραμόρφωσης, επιλέχθηκε εκείνο όπου θεωρείται το CG46 σταθερό, επειδή εκεί φαίνεται καλύτερα η αλλαγή της κινηματικής.

Εξ' άλλου, νοτιότερα διερευνάται η κινηματική (Σχήματα 6.24, 6.25) γύρω από το πιθανό όριο αλλαγής της παραμόρφωσης (κόκκινη γραμμή), όπως αυτό εντοπίζεται στο Σχήμα 6.18.

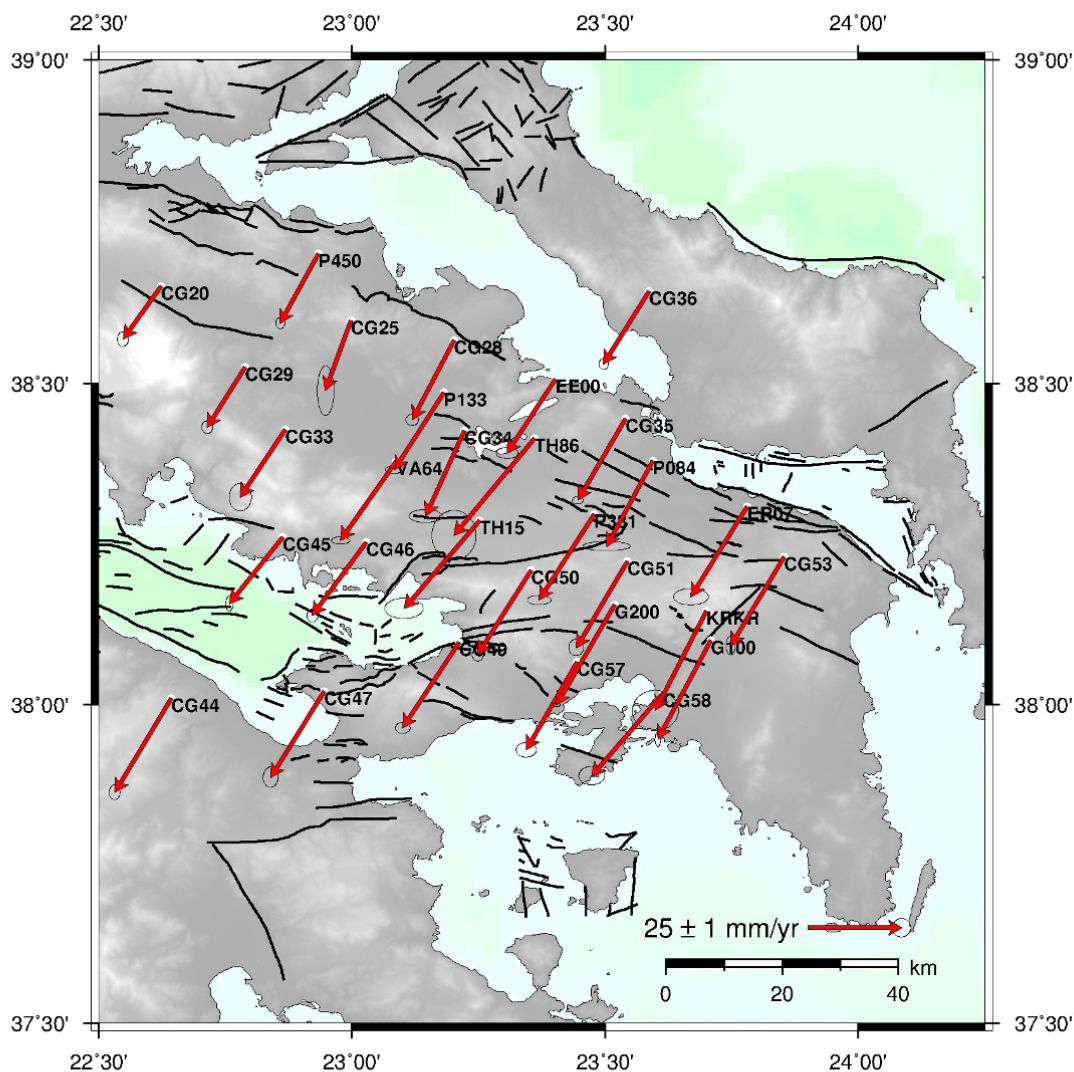
Παρατηρείται ότι οι σταθμοί NOA1, DION και CG58 έχουν την ίδια κινηματική συμπεριφορά ως προς την διεύθυνση της ταχύτητας τους και διαφοροποιούνται από τους σταθμούς που είναι πιο βόρεια. Η ίδια παρατήρηση μπορεί να γίνει σε όλους τους προηγούμενους χάρτες. Επειδή είναι μόνο τρεις οι σταθμοί και πάνω σχεδόν σε μια ευθεία δεν είναι δυνατόν να οριστεί η αλλαγή της παραμόρφωσης νότια αυτού του διαφαινόμενου ορίου. Για τον υπολογισμό αυτόν είναι απαραίτητα επιπλέον σημεία. Ωστόσο είναι γνωστό πως η ταχύτητα του DION είναι ίδια με αυτή της Κρήτης και ανήκει στην μικροπλάκα του Αιγαίου (Nyst and Thatcher 2004, Marinou et al. 2006, Reilinger et al. 2006, Βέης et al. 2007, Reilinger et al. 2010, Floyd et al. 2010).

Μπορεί να παρατηρηθεί επίσης άλλη μια ζώνη πιθανής αλλαγής της κινηματικής συμπεριφοράς της Εύβοιας με σημαντική αύξηση ταχυτήτων στο βόρειο τμήμα της, σε αντίθεση με το κεντρικό, όπου σχεδόν μηδενίζονται. Αυτό είναι ένδειξη ότι η κεντρική Εύβοια ακολουθεί την κινηματική της περιοχής της Αττικής (Σχήμα 6.24).

Στο Σχήμα 6.25 εστιάζοντας στην ευρύτερη περιοχή της Πάρνηθας, μπορεί να παρατηρηθεί, θεωρώντας το CG52 στην Νότια Εύβοια σταθερό, η κοινή κινηματική συμπεριφορά των σημείων KRKR και G100, που παρουσιάζουν ίδιες περίπου ταχύτητες. Το G200 που βρίσκεται και αυτό στην ίδια περιοχή, έχει ίδια ταχύτητα ως προς την τάξη μεγέθους αλλά διαφορετική διεύθυνση. Το G100 και το G200 είναι μετρημένα μόνο σε τρεις χρονικές περιόδους σε διάστημα 7 χρόνων, αλλά οι μετρήσεις τους στην οριζοντιογραφία έχουν πολύ καλή προσαρμογή στο γραμμικό μοντέλο που υπολογίζει την ταχύτητα. Για το KRKR είναι διαθέσιμες 6 εποχές μετρήσεων, αλλά η προσαρμογή του ειδικά στην συνιστώσα κατά μήκος του παραλλήλου δεν είναι αρκετά καλή. Ο αριθμός των σταθμών δεν επαρκεί για να εξαχθούν συγκεκριμένες διαπιστώσεις για την περιοχή. Πύκνωση των σταθμών και επανάληψη μετρήσεων μπορεί να διαπιστώσει αν στην περιοχή της Πάρνηθας παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφοροποίηση στην κινηματική, σε σχέση με την υπόλοιπη Αττική.

Στο Σχήμα 6.26 παρουσιάζεται το πεδίο ταχυτήτων όλης της περιοχής ως προς το Κ.Β. του σημειοσυνόλου. Οι περισσότερες από τις προηγούμενες παρατηρήσεις επιβεβαιώνονται και σε αυτό το σχήμα.

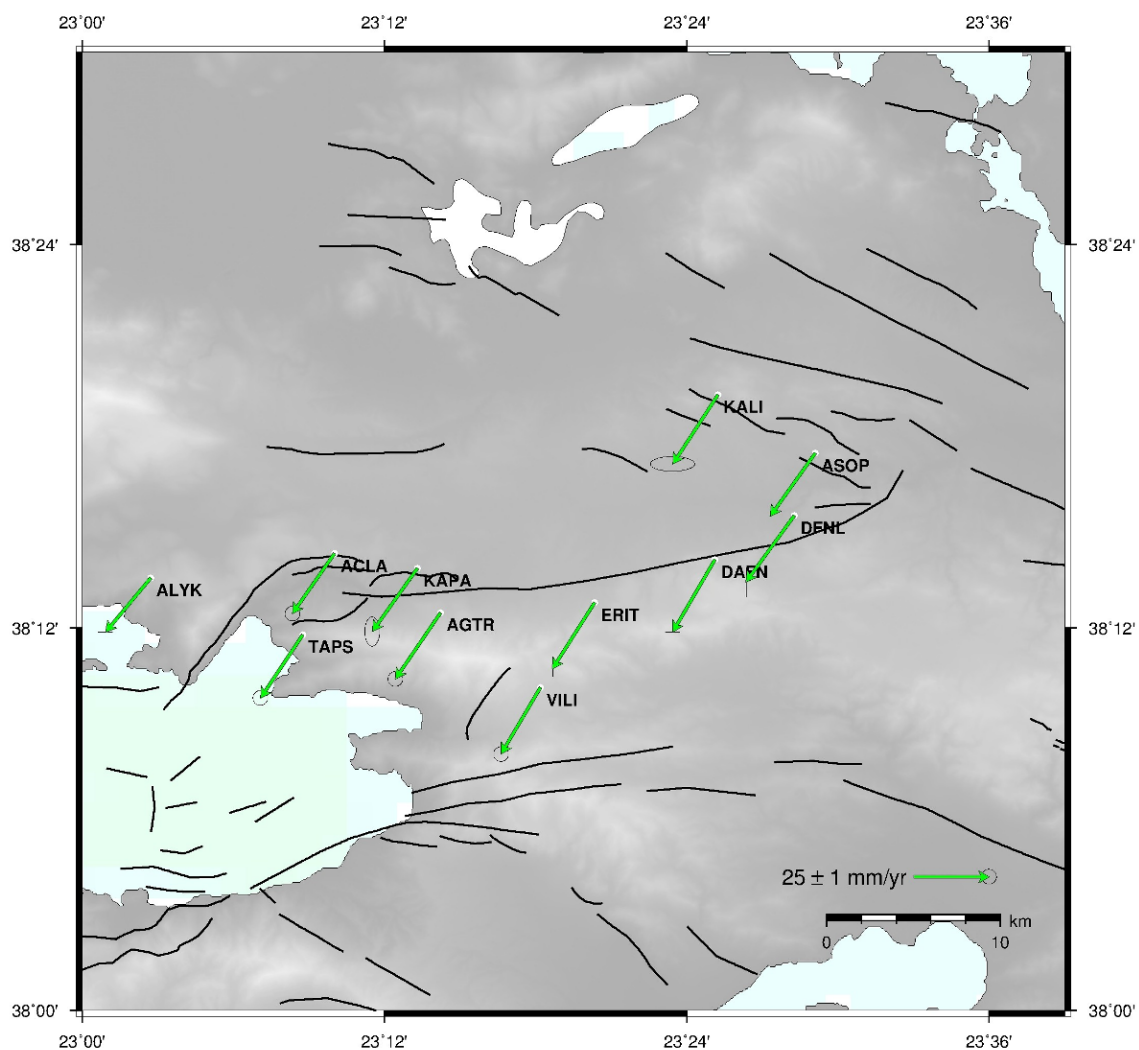
Στη συνέχεια θα εξεταστεί η κινηματική συμπεριφορά των σημείων που ανήκουν στο δίκτυο του Καπαρελλίου. Στο Σχήμα 6.27 παρουσιάζονται οι ταχύτητες όπως αυτές προκύπτουν θεωρώντας πως το σημείο ACLA, που βρίσκεται βόρεια από το ίχνος του ρήγματος, παραμένει σταθερό. Με εξαίρεση το σημείο ALYK που φαίνεται να διαφοροποιείται κινηματικά, όλα τα υπόλοιπα σημεία κινούνται σε παρόμοια διεύθυνση υποδηλώνοντας σχεδόν πανομοιότυπη κινηματική συμπεριφορά από το δυτικό μέρος του ρήγματος προς το ανατολικό. Παρ' όλα αυτά (Σχήμα 6.28) το πεδίο ταχυτήτων παρουσιάζει, όταν θεωρηθεί σταθερό το σημείο ASOP, μια διαφορετική κινηματική εικόνα. Το δίκτυο αυτό έχει μετρηθεί σε διάστημα 4 χρόνων ενώ κάποια από τα σημεία του μόνο 3 φορές. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητη η επαναμέτρηση του για να διερευνηθεί περαιτέρω το πεδίο ταχυτήτων (Marinou et al. 2013).



GMD 2013 Mar 19 17:29:07 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.12: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο Αταλάντης - Πάρνηθας - Αλκυονίδων.

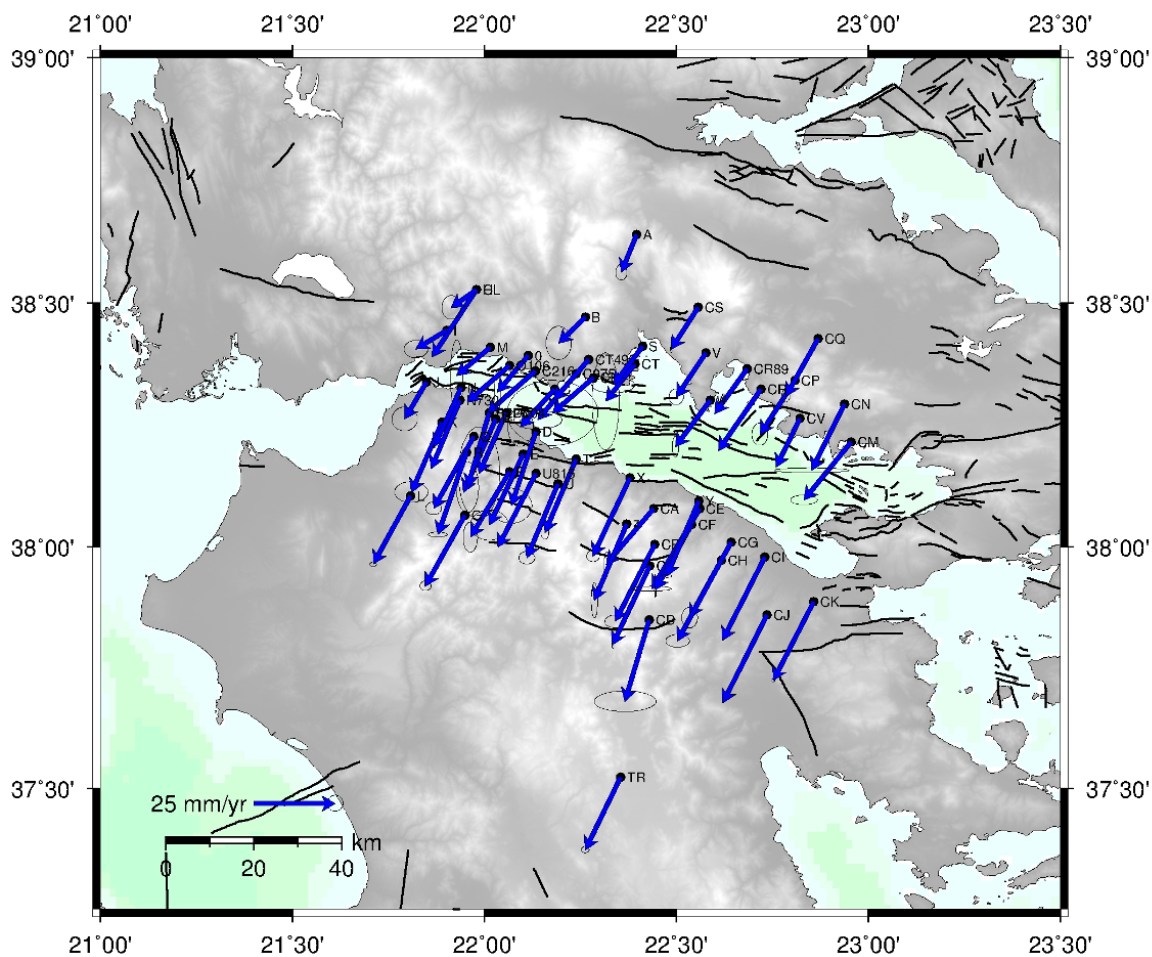
Figure 6.12: Normalized annual velocities for the Atalanti - Parnitha - Alkyonides network with respect to a fixed Europe.



GM 2013 Mar 19 17:37:35 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.13: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για το δίκτυο του Καπαρελλίου.

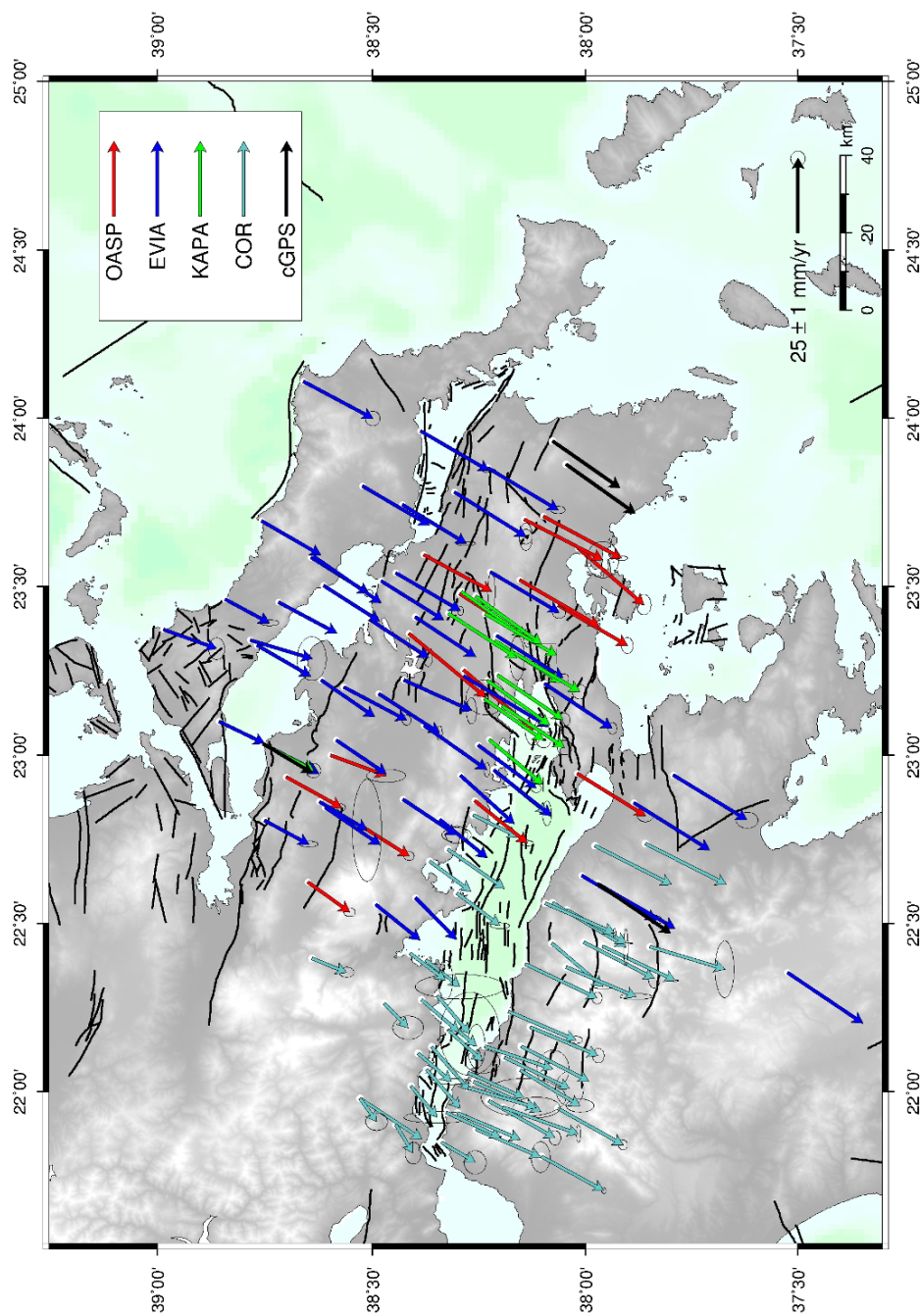
Figure 6.13: Normalized annual velocities for the Kaparelli network with respect to a fixed Europe.



2012 Sep 14 14:50:41 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.14: Ομαλοποιημένες ετήσιες ταχύτητες ως προς την Ευρώπη για τον Κορινθιακό Κόλπο (Avallone et al. 2004).

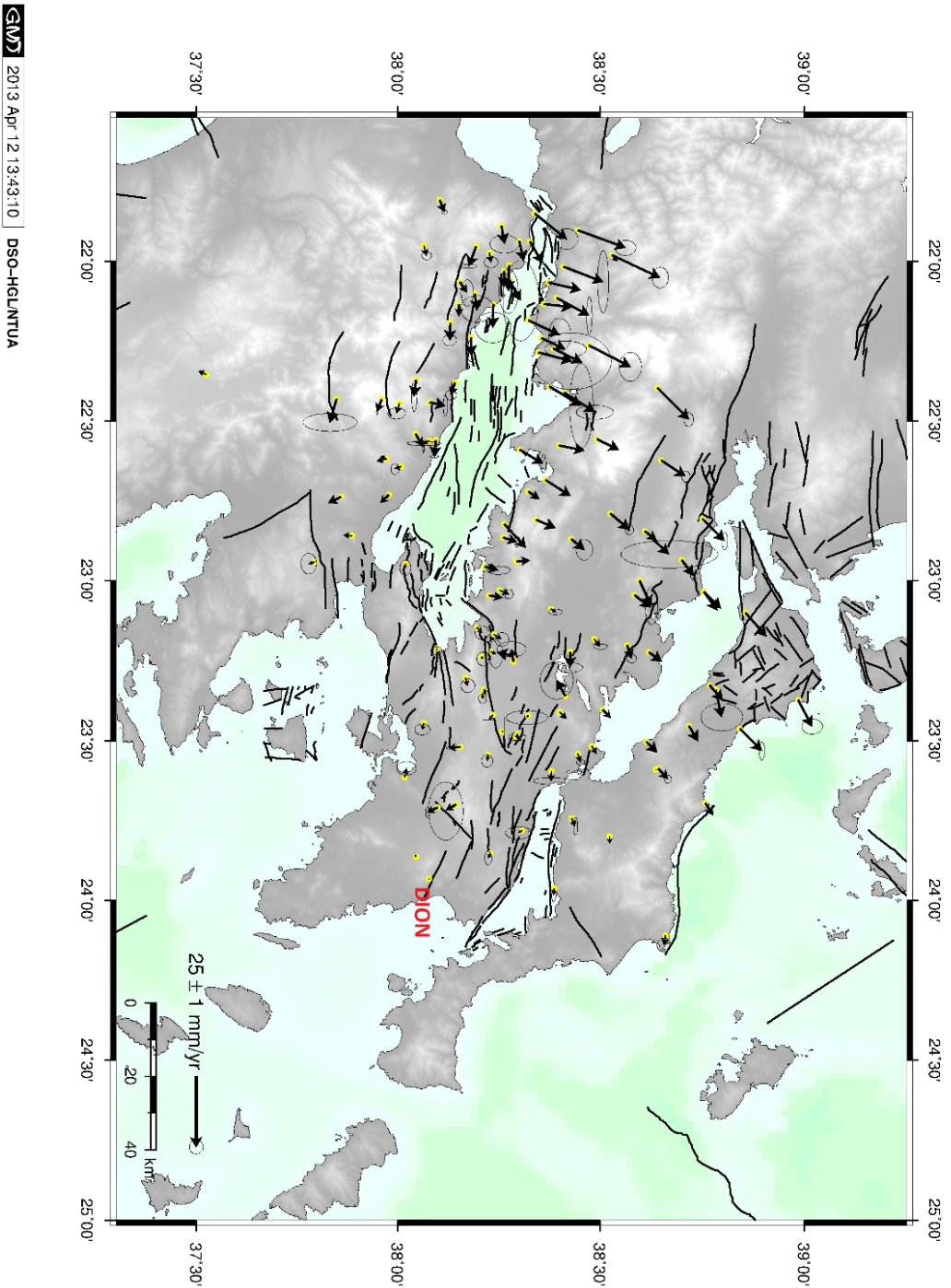
Figure 6.14: Normalized annual velocities with respect to a fixed Europe in the Corinthian Gulf (Avallone et al. 2004).



GM 2013 Apr 11 16:27:53 DSO-HELANTUA

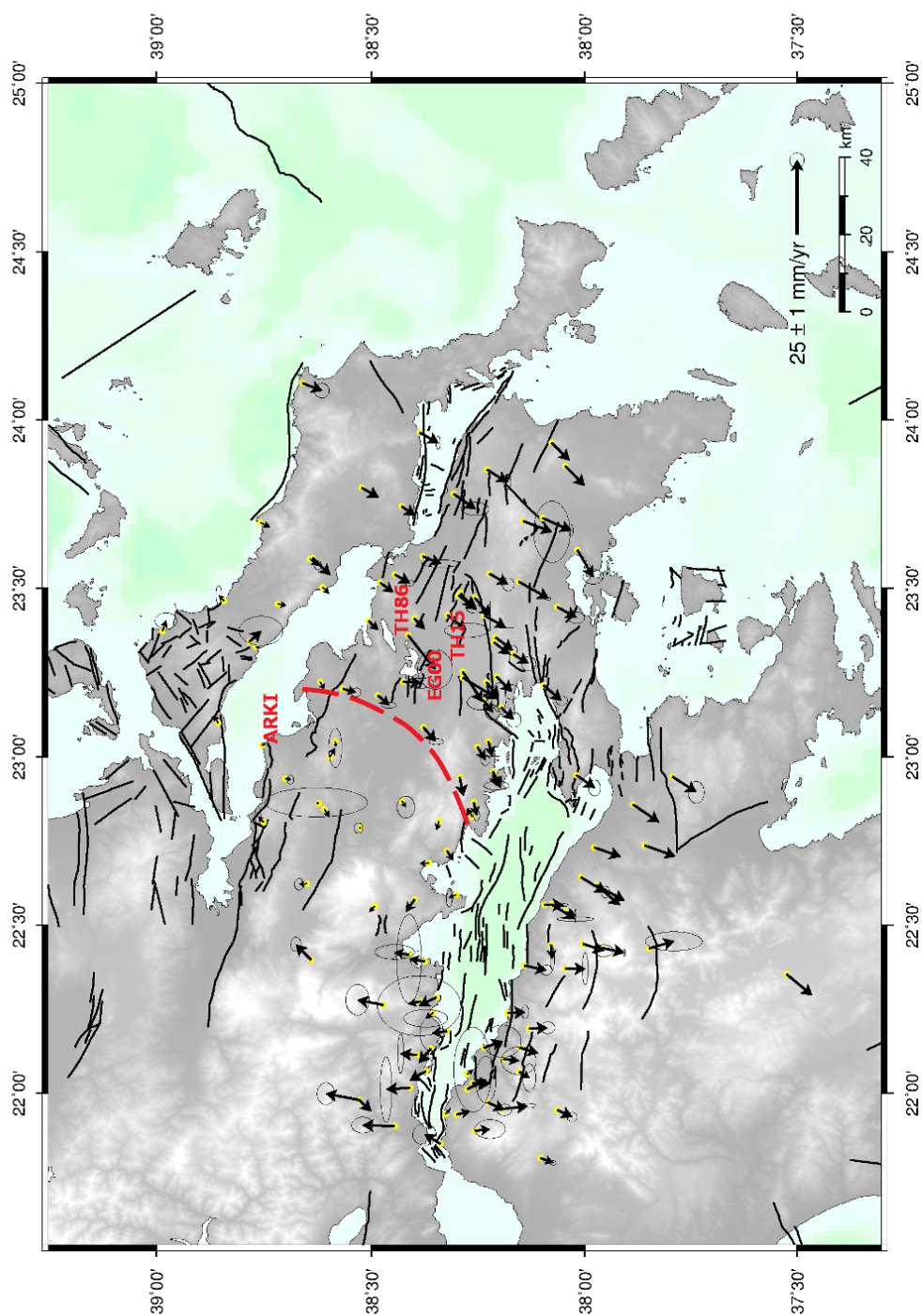
Σχήμα 6.15: Πεδίο ομαλοποιημένων ετήσιων ταχυτήτων (για όλα τα δίκτυα) ως προς σταθερή Ευρώπη.

Figure 6.15: Normalized annual velocity field (from all networks) with respect to a fixed Europe.



Σχήμα 6.16: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων (4 δίκτυα) ως προς DION.

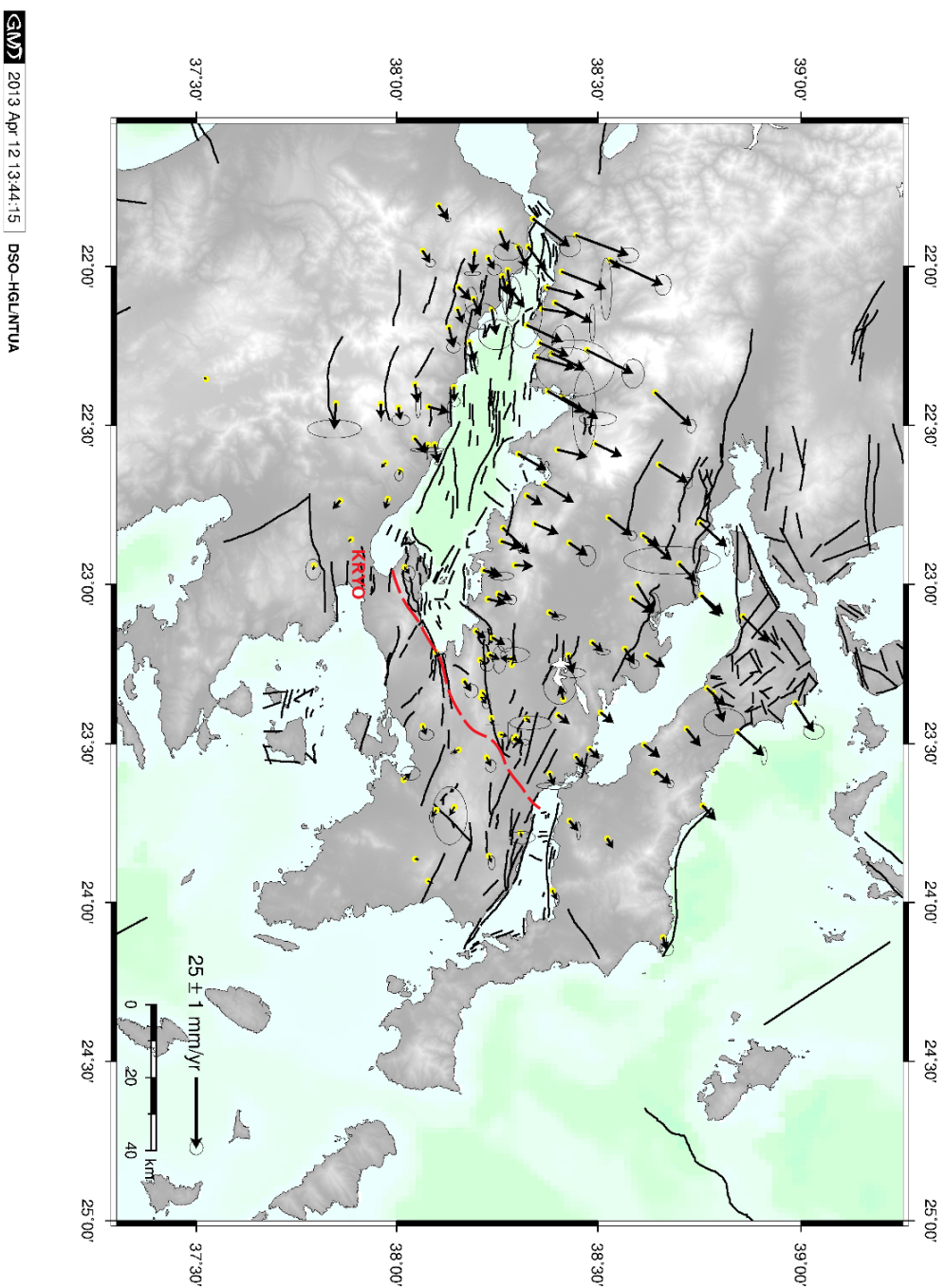
Figure 6.16: Annual velocity field (4 networks) with respect to the fixed DION.



GMD 2013 Apr 12 13:40:37 DSO-HGL/NTUA

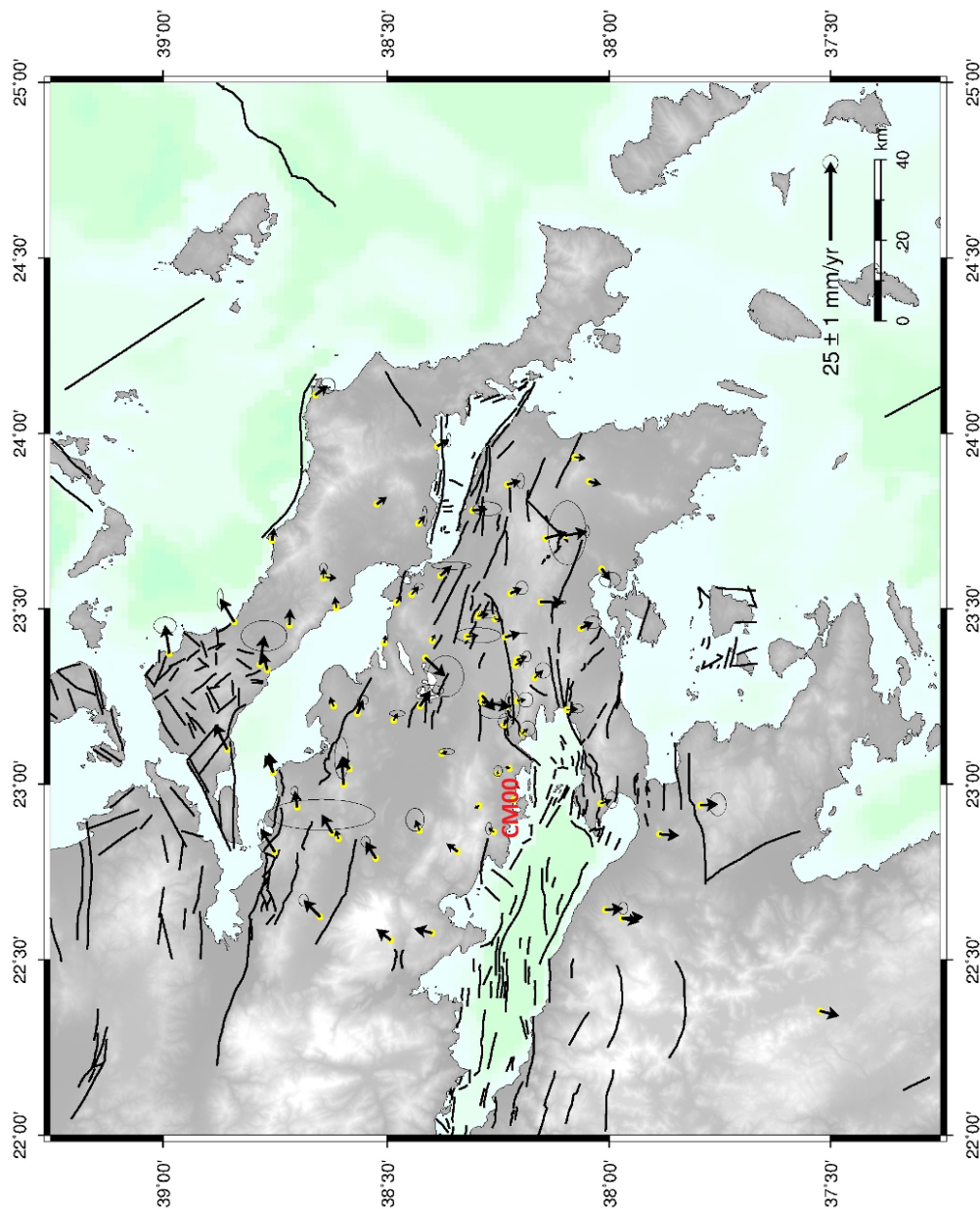
Σχήμα 6.17: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς τον ARKI.

Figure 6.17: Annual velocity field with respect to the fixed ARKI.



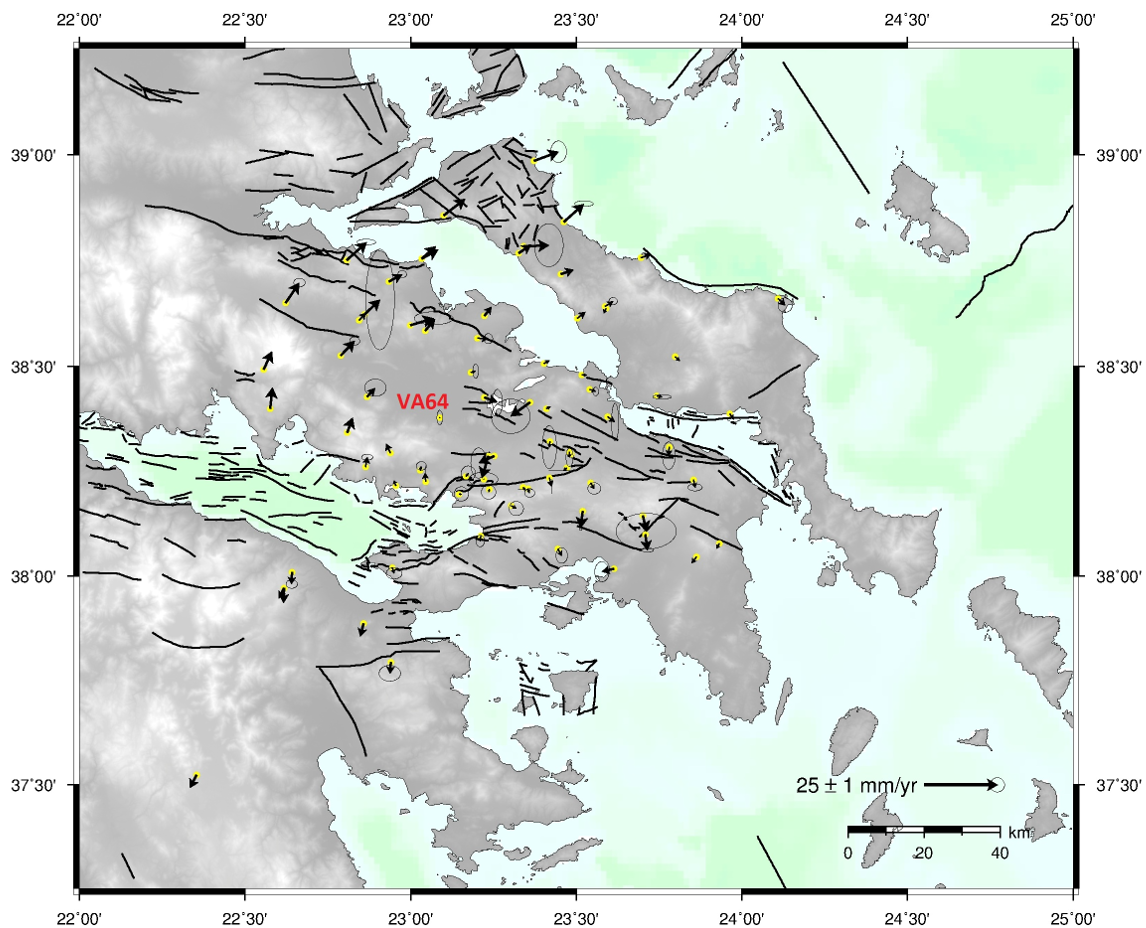
Σχήμα 6.18: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό σταθμό ΚΡΥΟ. Η κόκκινη γραμμή υποδηλώνει την πιθανή αλλαγή της κινηματικής συμπεριφοράς. Οι γκρι γραμμές είναι ενεργά ρήγματα (Γκανάς, αδημοσίευτα δεδομένα).

Figure 6.18: Annual velocity field with respect to the fixed ΚΡΥΟ. Red line indicates the possible change in tectonic motion behaviour. Grey lines are active faults (Ganas, unpublished data).



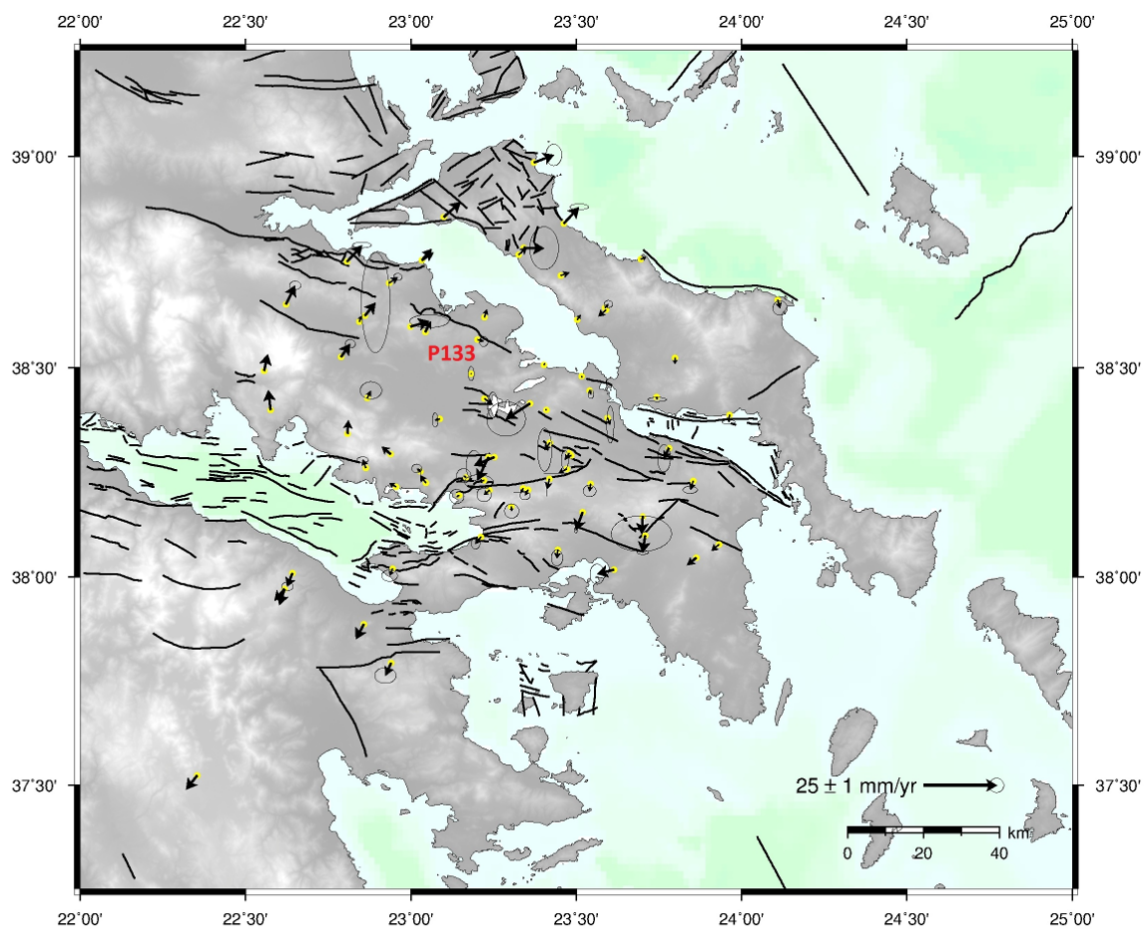
GIM 2013 Apr 12 13:59:33 DSO-HGLINTUA

Σχήμα 6.19: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CM00.
Figure 6.19: Annual velocity field with respect to the fixed CM00.



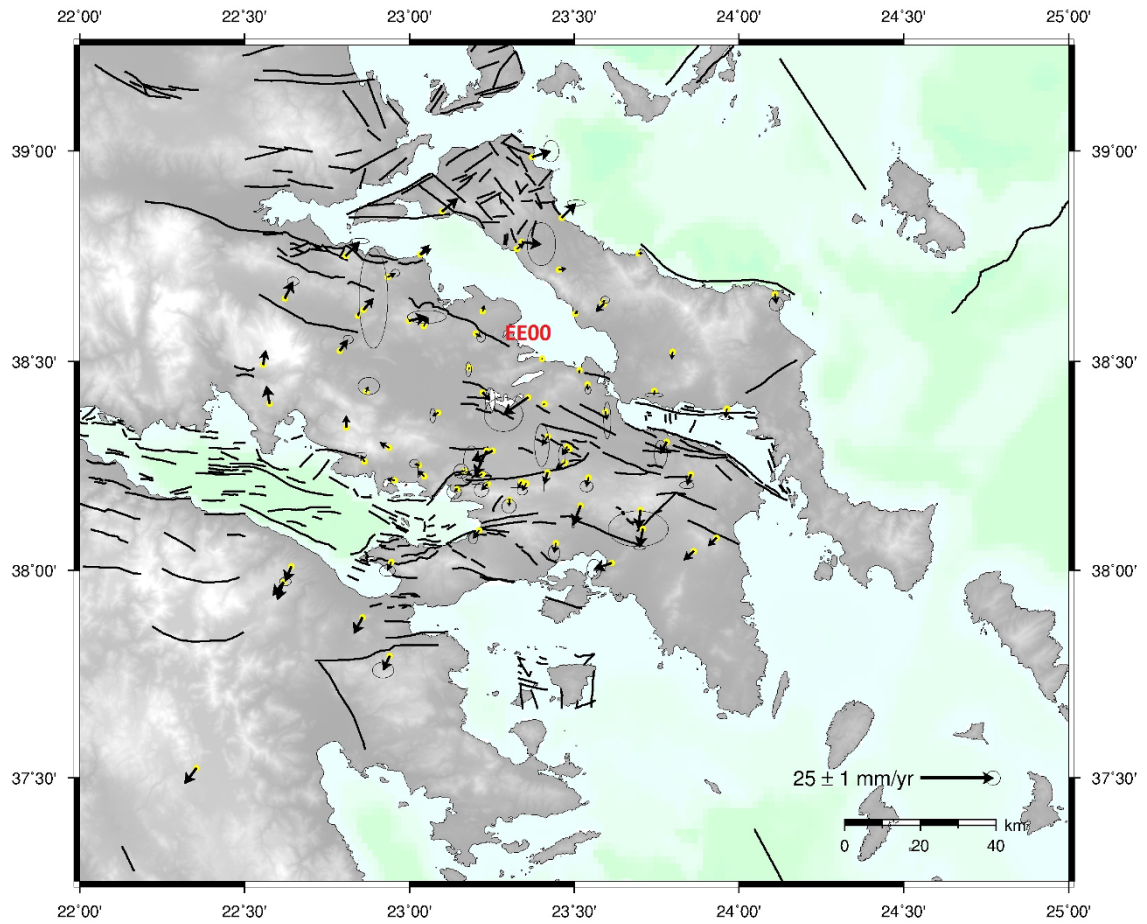
GM 2013 Apr 12 14:03:06 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.20: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό VA64.
Figure 6.20: Annual velocity field with respect to the fixed VA64.



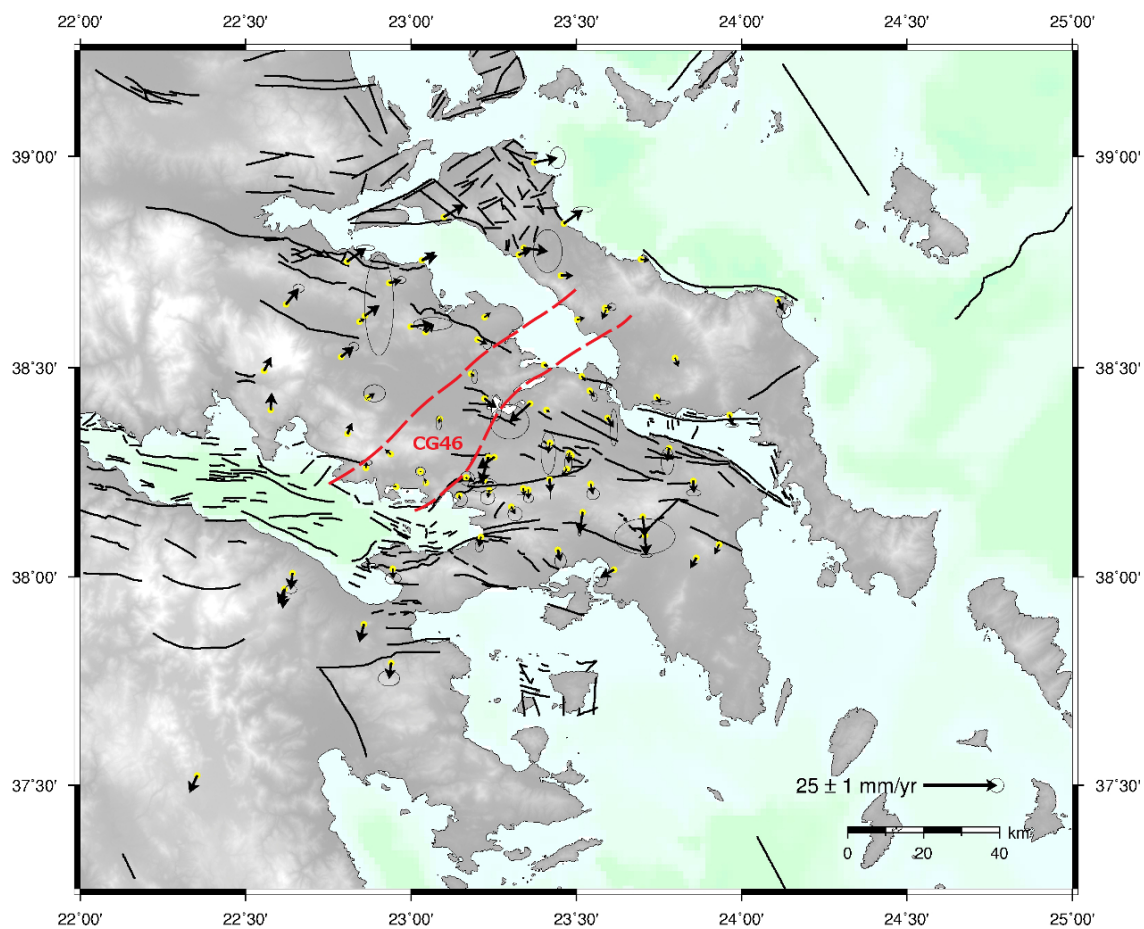
GM 2013 Apr 15 16:49:18 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.21: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό P133.
Figure 6.21: Annual velocity field with respect to the fixed P133.



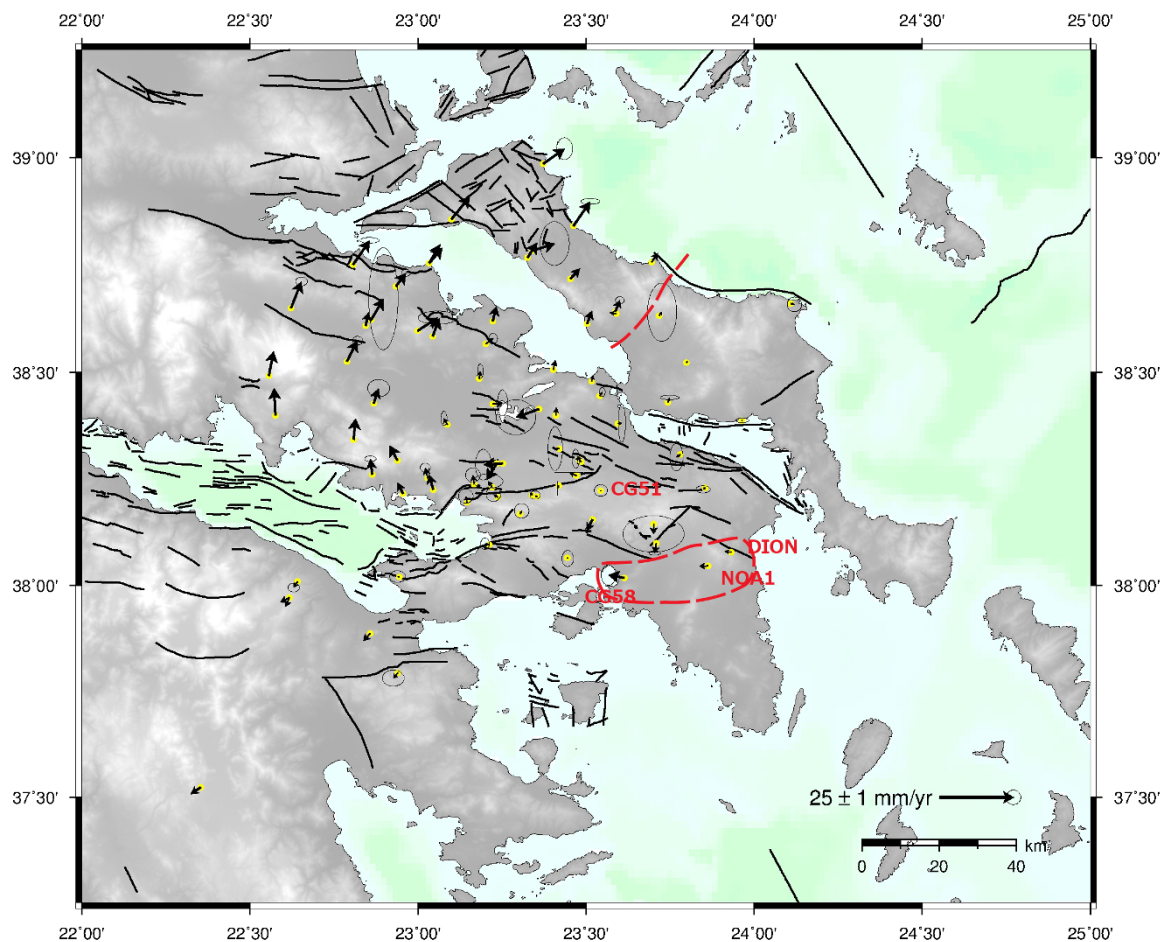
GMD 2013 Apr 12 14:00:22 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.22: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό EE00.
Figure 6.22: Annual velocity field with respect to the fixed EE00.



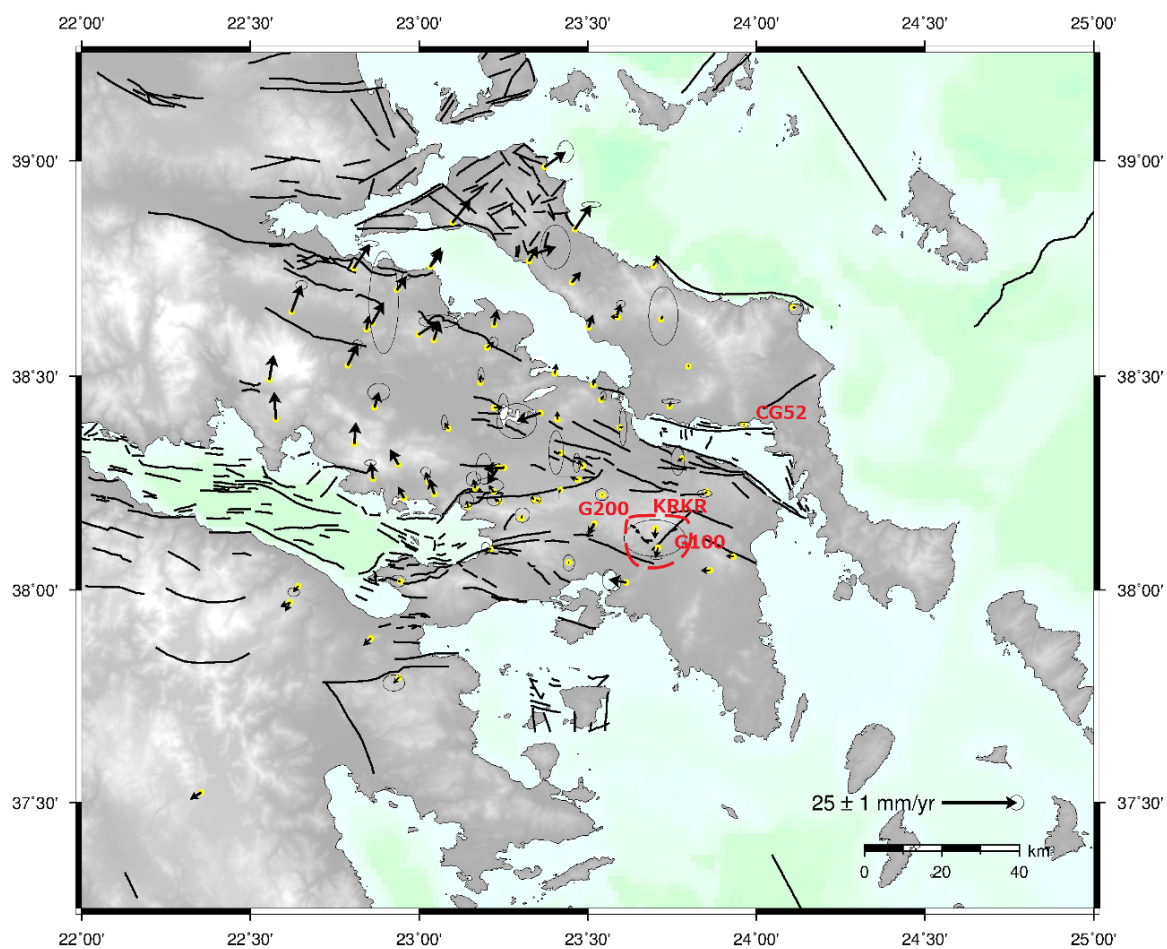
GM 2013 Apr 12 13:59:09 | DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.23: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG46.
Figure 6.23: Annual velocity field with respect to the fixed CG46.



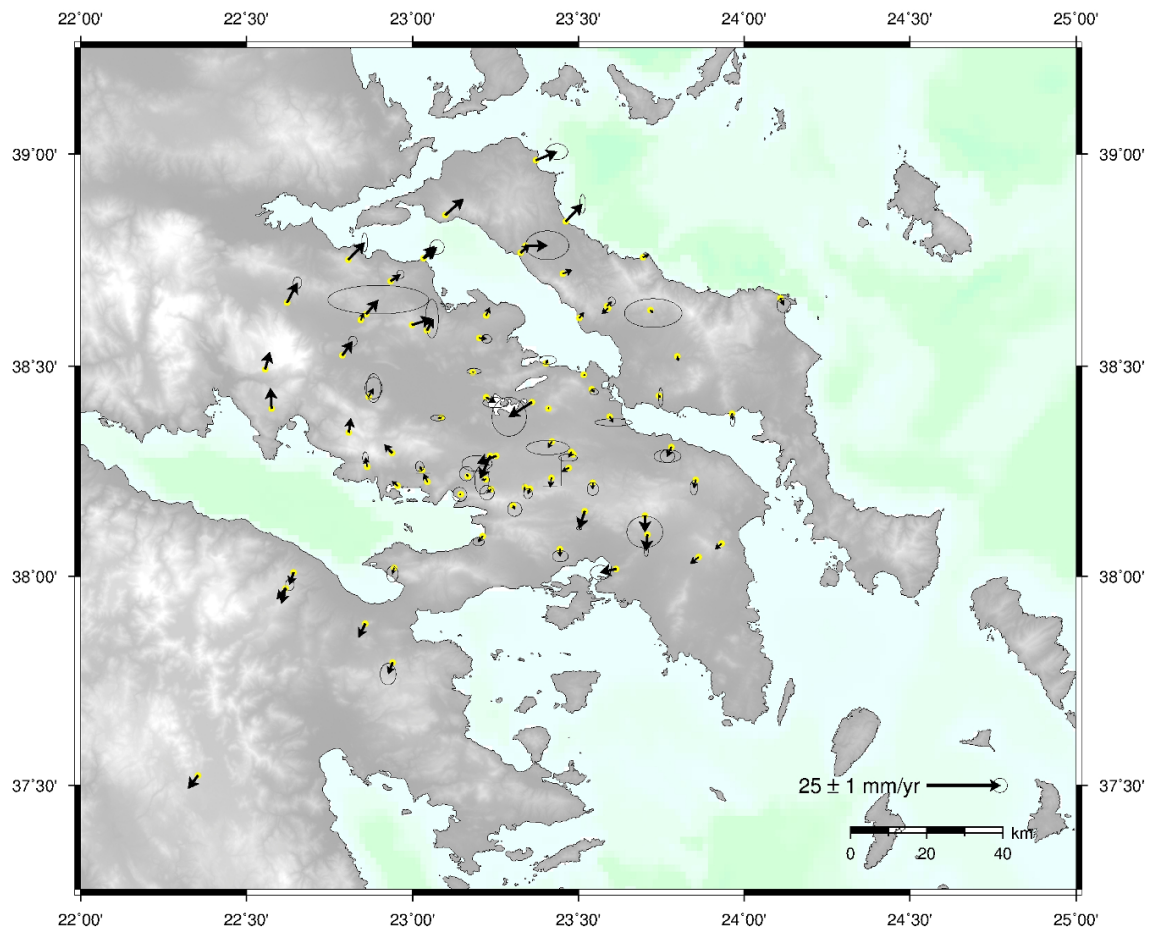
GM 2013 Apr 16 13:25:11 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.24: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG51.
Figure 6.24: Annual velocity field with respect to the fixed CG51.



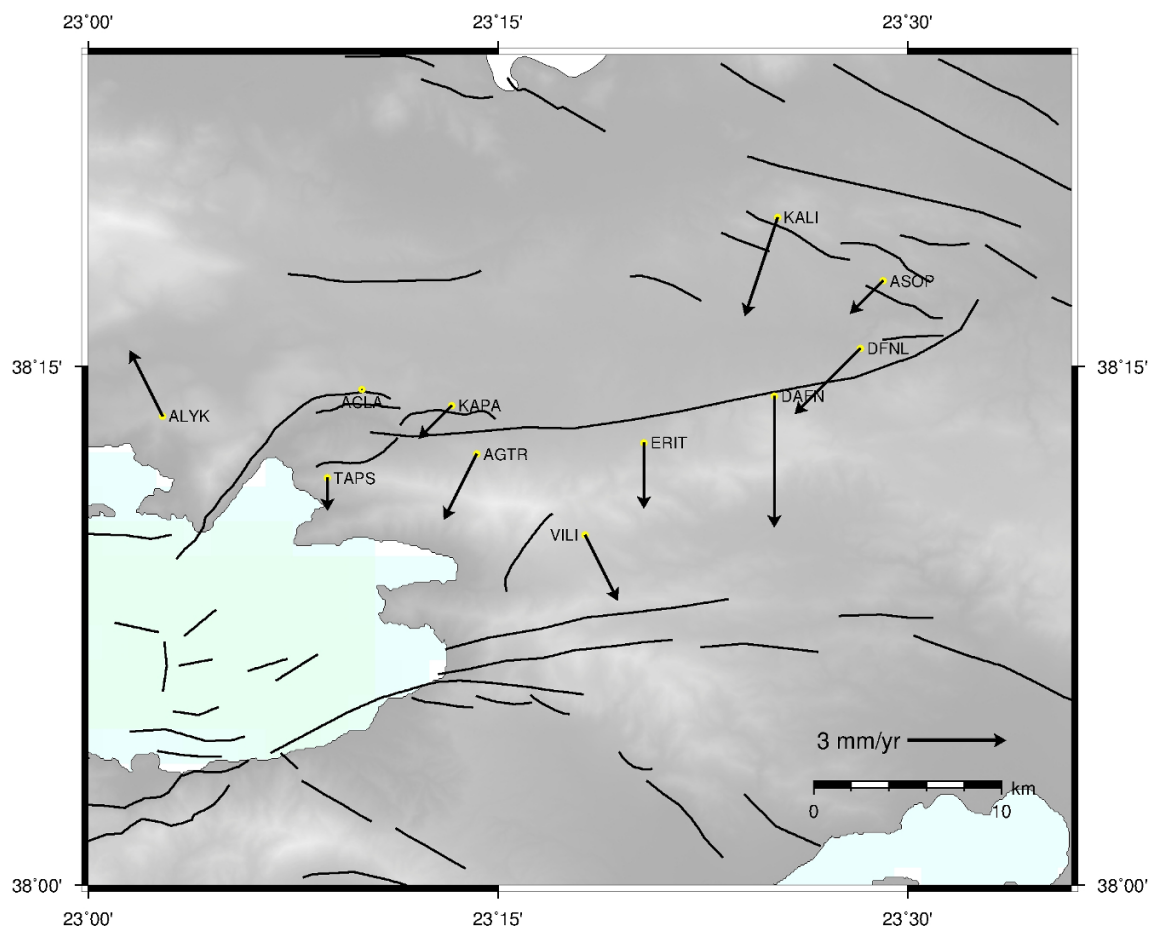
GM 2013 Apr 16 13:25:38 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.25: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς σταθερό CG52.
Figure 6.25: Annual velocity field with respect to the fixed CG52.



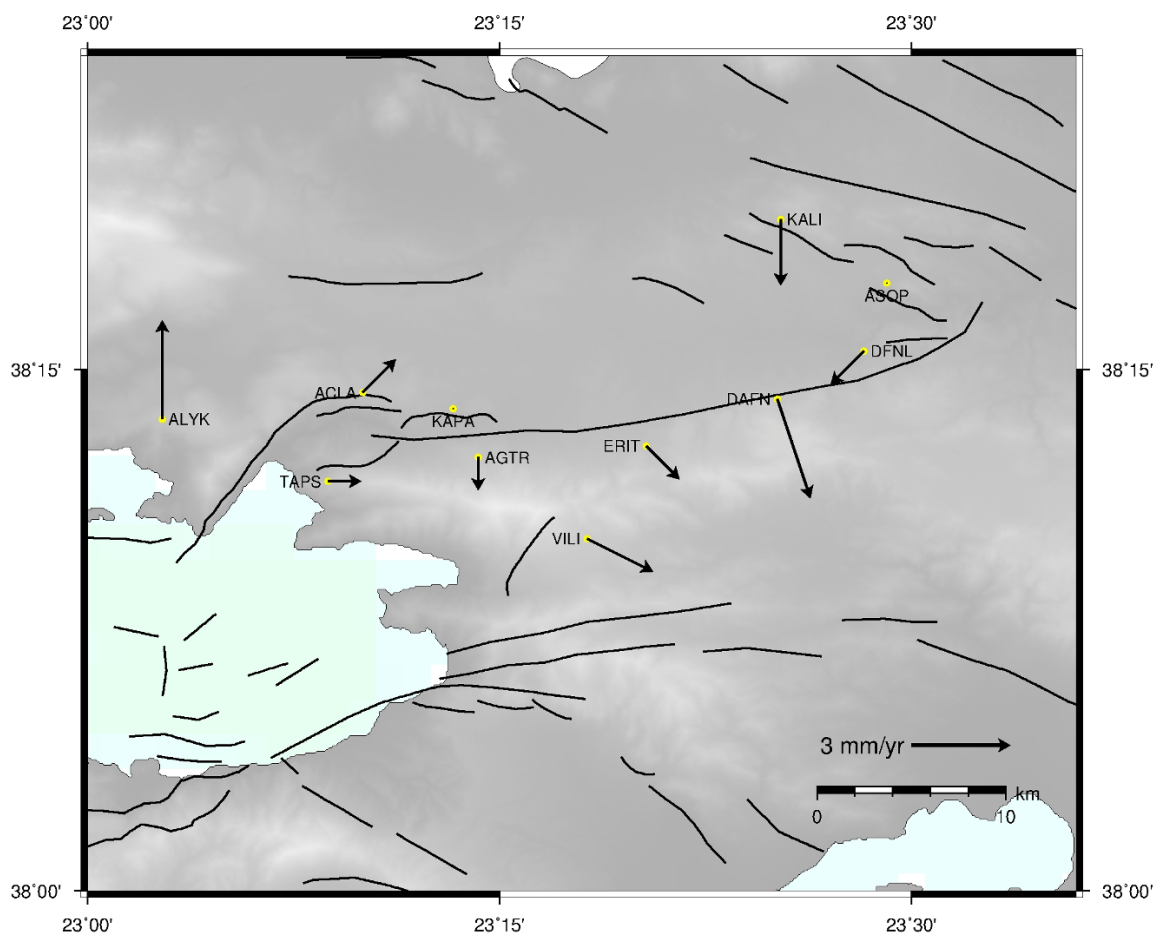
GM 2013 Jun 19 14:14:59 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.26: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων ως προς το Κ.Β. του σημειοσυνόλου για όλη την περιοχή.
Figure 6.26: Annual velocity field with respect to the barycenter of the network of the whole area.



GM 2013 Sep 02 13:28:25 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.27: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων για το δίκτυο του Καπαρελλίου ως προς σταθερό ACLA.
Figure 6.27: Annual velocity field for Kaparelli network with respect to the fixed ACLA.



GM 2013 Sep 02 13:28:19 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 6.28: Πεδίο ετήσιων ταχυτήτων για το δίκτυο του Καπαρελλίου ως προς σταθερό ASOP.
Figure 6.28: Annual velocity field for Kaparelli network with respect to the fixed ASOP.

7 Υπολογισμός Τανυστών Παραμόρφωσης στην Ευρύτερη Περιοχή Μελέτης

7.1 Γενικά

Σε αυτή την ενότητα θα απεικονισθεί με τανυστές η παραμόρφωση που εκδηλώνεται στην περιοχή μελέτης αξιοποιώντας όλες τις διαπιστώσεις για την κινηματική συμπεριφορά της που διατυπώθηκαν προηγουμένως.

Ο υπολογισμός των τανυστών παραμόρφωσης θα γίνει, θεωρώντας ότι, ο φλοιός είναι ένα σφαιρικό κέλυφος πάνω σε μια σφαιρική γη και ότι οι χαρτογραφικές παραμορφώσεις για μια περιοχή ακτίνας μικρότερης των 5° είναι αμελητέες, εκτός από αυτές που αναφέρονται στον προσανατολισμό. Παρ' ότι οι παραμορφώσεις του στερεού φλοιού της γης έχουν ασυνέχειες στην εξέλιξη τους στον χώρο (ρήγματα) και στον χρόνο (σεισμοί) συνηθίζεται να μελετούνται ως συνεχές φαινόμενο και οι ασυνέχειες τους να εξετάζονται ξεχωριστά (*Veis et al. 1992*).

Αρχικά υπολογίζονται οι τανυστές παραμόρφωσης (*Σχήματα 7.1, 7.2, 7.3, 7.4*) που αναφέρονται στα δίκτυα μετακίνησης του προηγούμενου κεφαλαίου. Έτσι, στο *Σχήμα 7.1* διερευνάται η παραμόρφωση της περιοχής χωρίζοντας την σε τρεις ζώνες (μπλοκ, με βάση τα δίκτυα Κορινθιακός - Κ. Ελλάδα - Εύβοια, *Σχήμα 6.15*). Έτσι υπολογίσθηκαν οι αντίστοιχοι τανυστές για τις τρεις αυτές ζώνες. Στην Νότια Εύβοια δεν υπάρχουν στοιχεία για να γίνει υπολογισμός. Από το *Σχήμα 7.1* παρατηρείται επιμήκυνση στον Κορινθιακό και στην Βοιωτία - Αττική σε διεύθυνση BBA - NND και συμπίεση με προσανατολισμό A - Δ. Η συμπίεση που παρατηρείται είναι αισθητά μικρότερη από την επιμήκυνση. Η επιμήκυνση στο Κεντρικό τμήμα είναι πολύ μικρότερη από του Κορινθιακού. Οι *Avallone et al. (2004)* χρησιμοποιώντας μόνο στοιχεία από το δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου καταλήγουν, όπως είναι φυσικό, σε διαφορετικά αποτελέσματα. Ο τανυστής παραμόρφωσης όπως αυτός προκύπτει για όλα τα διαθέσιμα σημεία στην Εύβοια δείχνει επιμήκυνση με διεύθυνση BBA - NND και συμπίεση με προσανατολισμό ΔΒΔ - ΑΝΑ. Η τάξη μεγέθους της παραμόρφωσης που παρατηρείται συνολικά στην

Εύβοια είναι μικρή. Οι *Veis et al. (1992)* υπολογίζουν άλλο προσανατολισμό και τάξη μεγέθους για την παραμόρφωση στην αντίστοιχη περιοχή συμπεριλαμβάνοντας στους υπολογισμούς στοιχεία και για την Ν. Εύβοια που δεν είναι διαθέσιμα στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιώντας όμως επίγεια δεδομένα και εξετάζοντας πολύ μεγαλύτερη περιοχή.

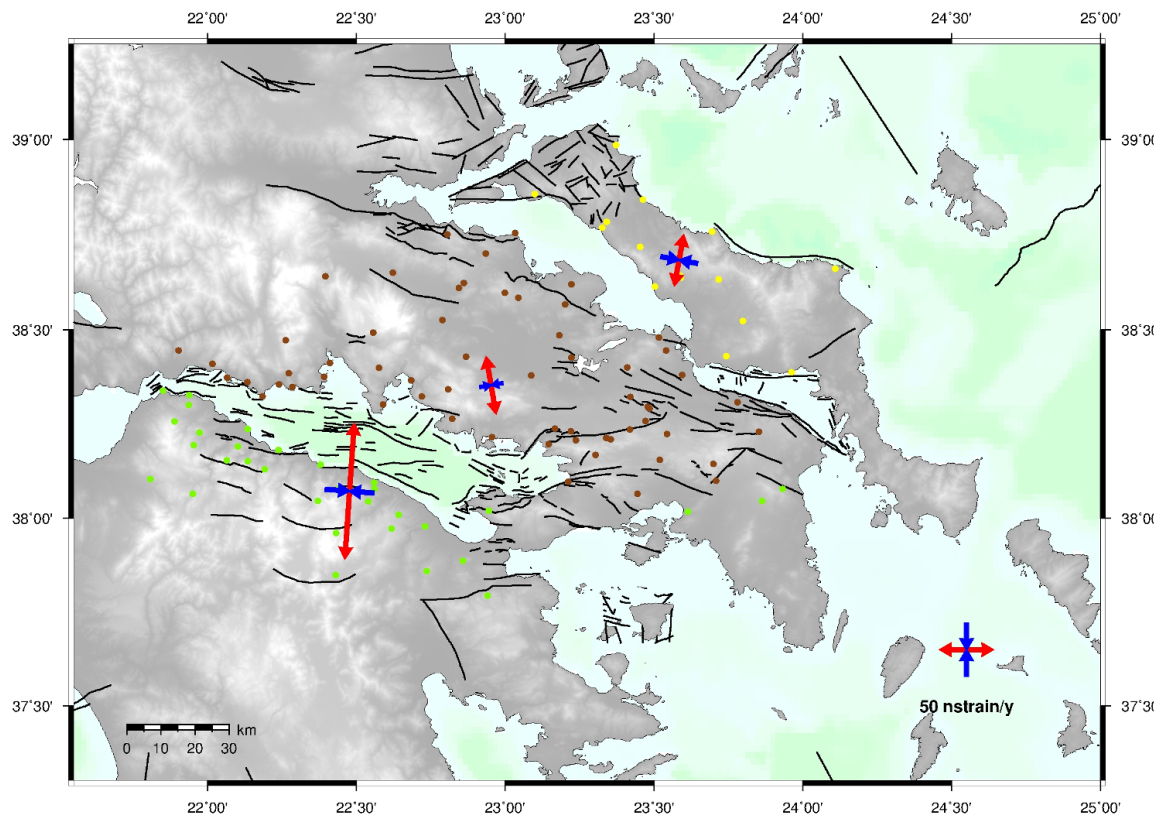
Στα Σχήματα 7.2, 7.3, 7.4 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι τανυστές για τα επιμέρους δίκτυα (Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας, Σχήμα 6.12, όλης της Εύβοιας, Σχήμα 6.11) και τέλος ο τανυστής όλης της περιοχής μελέτης (συμπεριλαμβανομένου και του δικτύου του Καπαρελλίου). Αντίστοιχα στους Πίνακες 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 παρουσιάζονται οι παράμετροι για τον κάθε τανυστή.

Μπορεί να παρατηρηθεί πως και στα τρία προηγούμενα σχήματα η παραμόρφωση είναι περίπου η ίδια, δεδομένου ότι το δίκτυο της Εύβοιας διαθέτει τα περισσότερα δεδομένα. Παρατηρείται επιμήκυνση σε BBA - NNΔ διεύθυνση και συμπίεση σε ΔΒΔ - ΑΝΑ διεύθυνση. Ο προσανατολισμός της παραμόρφωσης είναι συμβατός με αυτόν που έχει υπολογιστεί στην αντίστοιχη περιοχή από τους *Veis et al. (1992)*, παρ' όλο που αφορά διαφορετικού χαρακτήρα και έκτασης δεδομένα.

Στις επόμενες παραγράφους υπολογίζονται τανυστές παραμόρφωσης με βασικό κριτήριο την ομοιογενή συμπεριφορά διαφόρων υποπεριοχών, όπως αυτή εντοπίζεται όχι μόνο από τα διανύσματα μετακίνησης, αλλά και από γεωλογικές και σεισμολογικές ενδείξεις.

Στο Σχήμα 7.5 η υπό μελέτη περιοχή χωρίζεται σε δυο μέρη, Βόρειο και Νότιο, οριοθετώντας κατ' εκτίμηση τη ζώνη (Σχήμα 6.23) όπου παρατηρείται η διαφοροποίηση της κινηματικής συμπεριφοράς. Παρατηρείται όντως διαφορά στην διεύθυνση και στην τάξη μεγέθους της παραμόρφωσης συμβατή με την εικόνα των διανυσμάτων μετακίνησης. Το Βόρειο τμήμα υπόκειται σε μικρής τάξης επιμήκυνση σε διεύθυνση BBA - NNΔ και σε συμπίεση ΔΒΔ - ΑΝΑ, ενώ το Νότιο μόνο σε επιμήκυνση σε διεύθυνση ΒΒΔ - ΝΝΑ. Η συμπίεση θεωρείται μηδενική. Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες παράμετροι υπολογισμού για τους τανυστές παραμόρφωσης.

Στο Σχήμα 7.6 η περιοχή χωρίζεται σε τρεις ζώνες, οι οποίες κατ' εκτίμηση συμφωνούν με αυτές που προτείνει η *Parouliia et al. (2006)* (Σχήμα 2.8) με βάση την προοδευτική αλλαγή προσανατολισμού ρηγμάτων και την αντίστοιχη σεισμικότητα. Η Βόρεια ζώνη υπόκειται σε επιμήκυνση με διεύθυνση BBA - NNΔ και συμπίεση περίπου Α - Δ. Η κεντρική ζώνη, όπου και παρατηρείται η μεγαλύτερη σε τάξη μεγέθους παραμόρφωση, παρουσιάζει ίδια διεύθυνση με τη Βόρεια ζώνη αλλά με μια μείωση στην γωνία στρο-



2013 May 30 16:35:41 DSO-HGL/NTUA

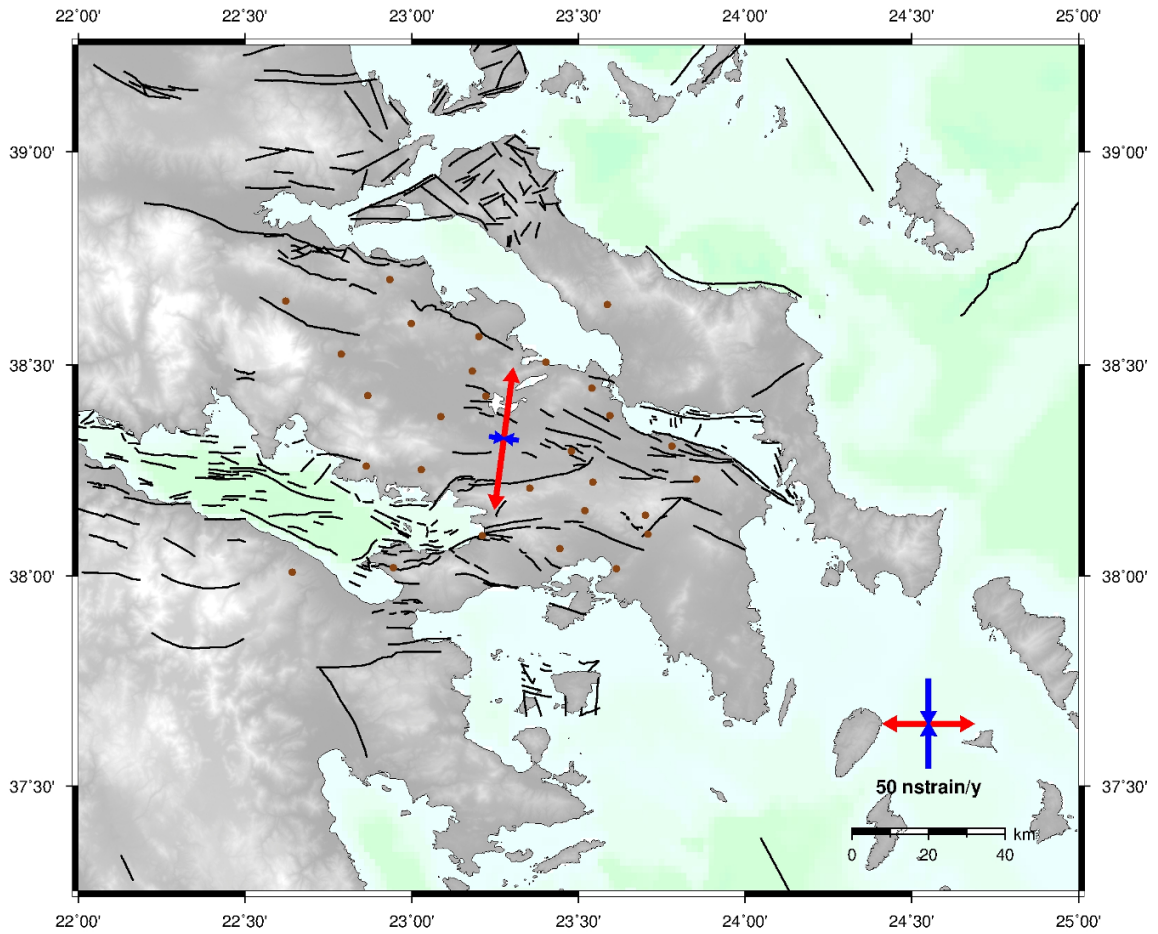
Σχήμα 7.1: Τανυστές παραμόρφωσης σύμφωνα με το μοντέλο τριών ζωνών.

Figure 7.1: Three blocks strain tensors model.

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Δυτική Ζώνη	$+0.128 \pm 0.032$	$+0.046 \pm 0.018$	$+4.0 \pm 4.9$	$+0.174 \pm 0.036$
Κεντρική Ζώνη	$+0.054 \pm 0.014$	$+0.022 \pm 0.009$	-9.9 ± 5.2	$+0.076 \pm 0.016$
Ανατολική Ζώνη	$+0.048 \pm 0.040$	-0.035 ± 0.034	$+10.4 \pm 15.4$	$+0.083 \pm 0.052$

Πίνακας 7.1: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης σύμφωνα με το μοντέλο τριών ζωνών.

Table 7.1: Strain Tensor Parameters for the three blocks model.



GM 2013 Apr 19 13:16:40 DSO-HGL/NTUA

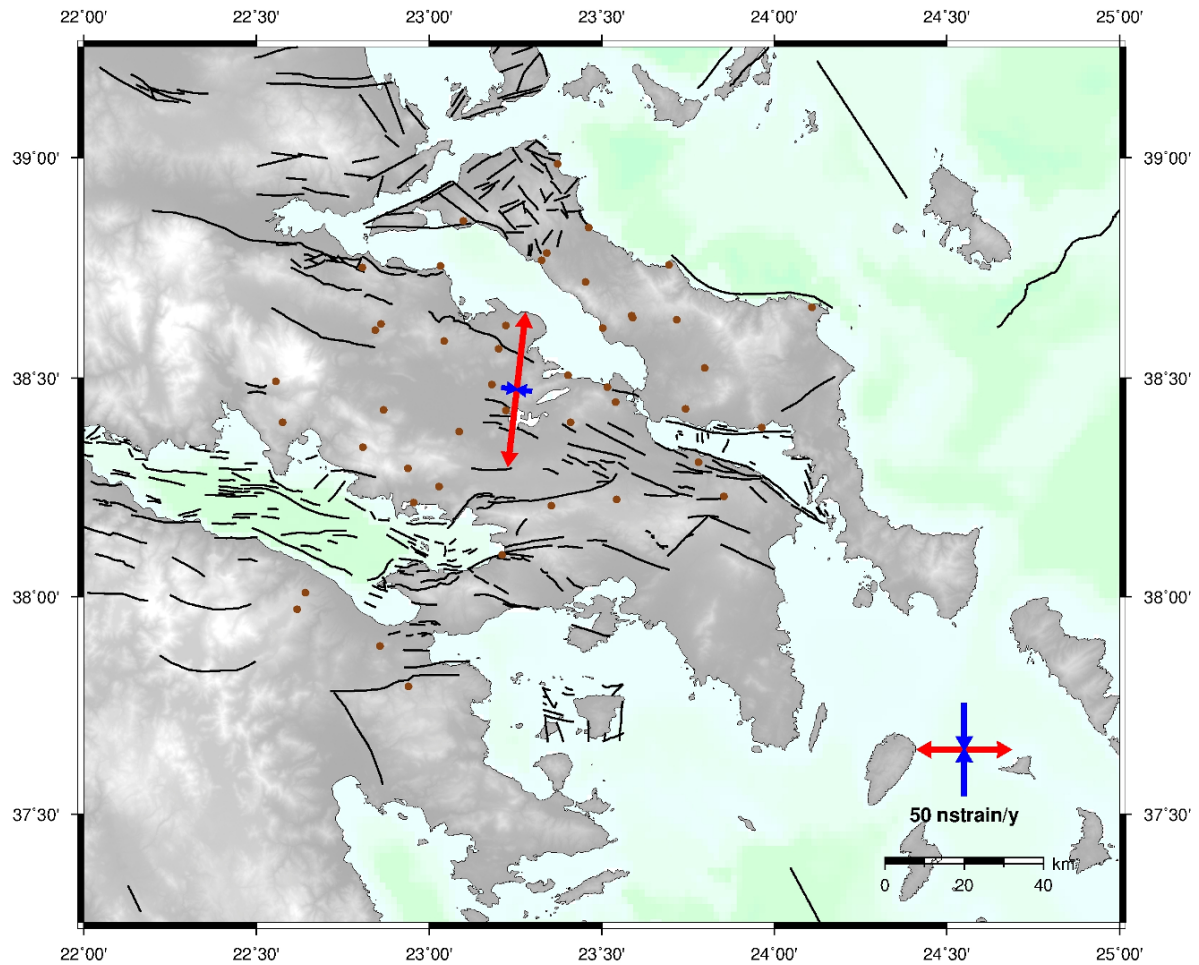
Σχήμα 7.2: Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας.

Figure 7.2: Strain tensor for Alkyonides - Atalanti - Parnitha network.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.079 \pm 0.016$	-0.016 ± 0.013	$+7.5 \pm 5.1$	$+0.095 \pm 0.020$

Πίνακας 7.2: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για το δίκτυο Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας.

Table 7.2: Strain Tensor Parameters for Alkyonides - Atalanti - Parnitha network.



2013 Apr 19 13:15:10 DSO-HGL/NTUA

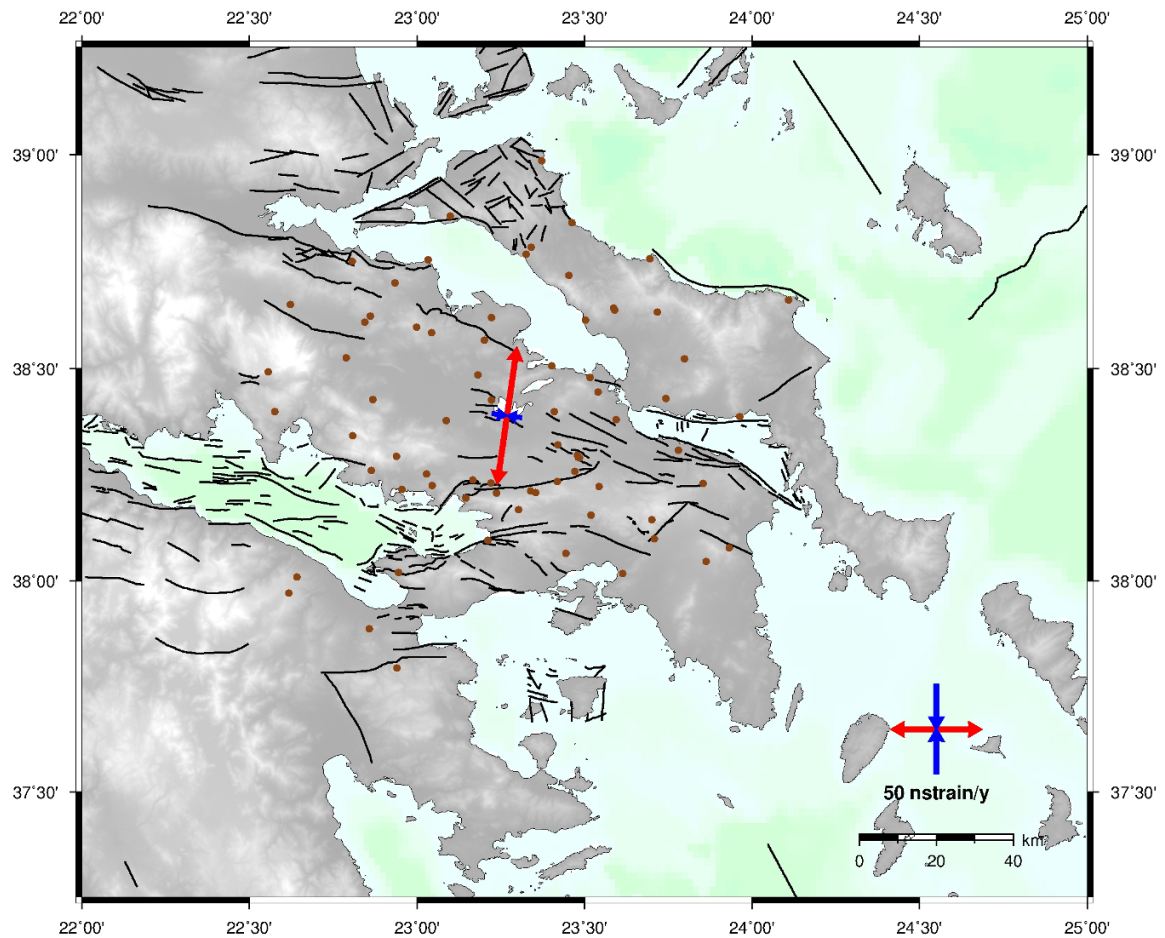
Σχήμα 7.3: Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο της Εύβοιας.

Figure 7.3: Strain tensor for Evia network.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.083 \pm 0.010$	-0.016 ± 0.009	$+6.6 \pm 3.3$	$+0.099 \pm 0.014$

Πίνακας 7.3: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για το δίκτυο της Εύβοιας.

Table 7.3: Strain Tensor Parameters for Evia network.



GM 2013 Apr 19 13:09:48 DSO-HGL/NTUA

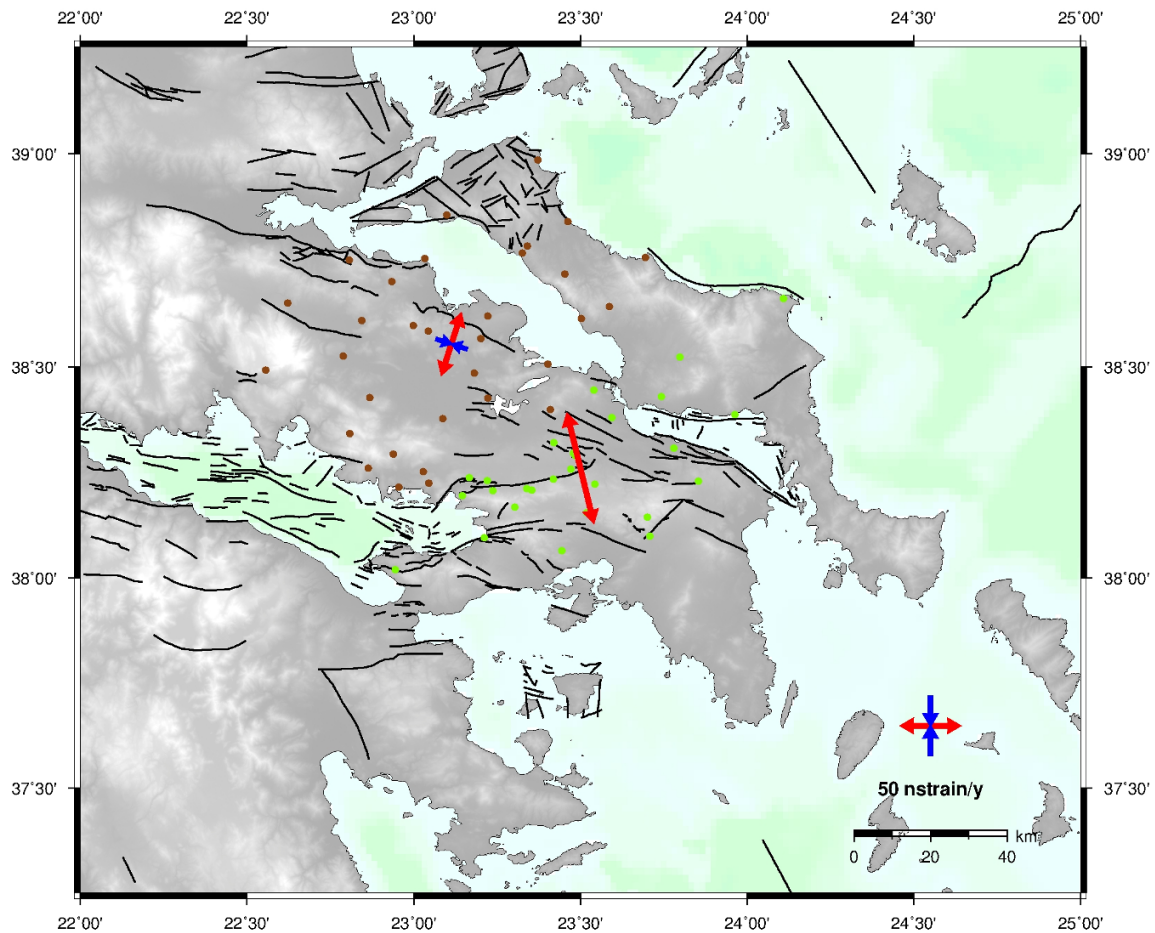
Σχήμα 7.4: Τανυστής παραμόρφωσης για όλη την περιοχή μελέτης.

Figure 7.4: Strain tensor for all the study area.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.077 \pm 0.008$	-0.016 ± 0.007	$+8.2 \pm 2.7$	$+0.093 \pm 0.011$

Πίνακας 7.4: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για όλη την περιοχή μελέτης.

Table 7.4: Strain Tensor Parameters for the whole area of study.



GM 2013 May 30 16:32:50 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.5: Τανυστές παραμόρφωσης για δύο μπλοκ, Βόρειο και Νότιο, για όλη την περιοχή μελέτης.

Figure 7.5: Strain tensors for two blocks, North and South, for the whole area of study.

Tensors	K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρειο τμήμα	$+0.054 \pm 0.013$	-0.027 ± 0.012	$+17.8 \pm 5.8$	$+0.081 \pm 0.018$
Νότιο τμήμα	$+0.095 \pm 0.017$	$+0.001 \pm 0.013$	-13.7 ± 5.8	$+0.094 \pm 0.022$

Πίνακας 7.5: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης για δύο μπλοκ, Βόρειο και Νότιο, για όλη την περιοχή μελέτης.

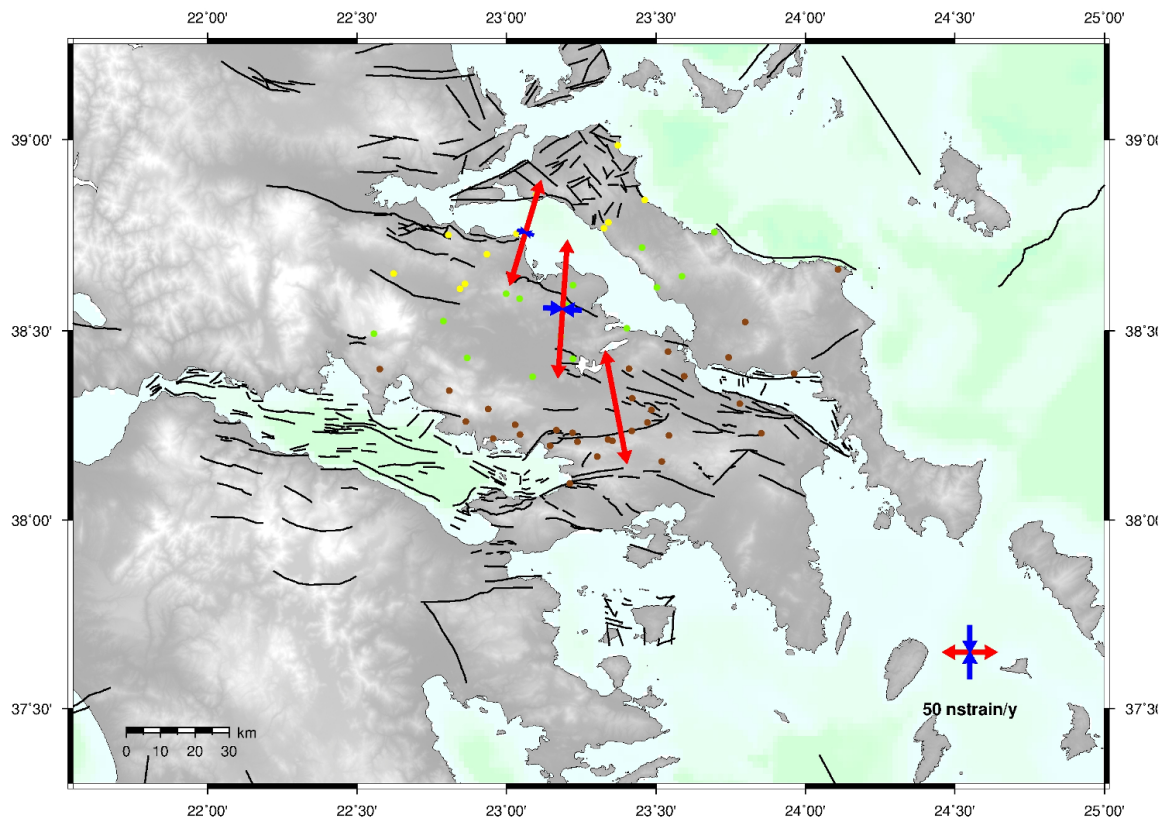
Table 7.5: Strain Tensors Parameters for two blocks for the whole area of study.

φής της τάξης των 13° . Τέλος, στο Νότιο τμήμα δεν φαίνεται να εκδηλώνεται συμπίεση, ενώ η επιμήκυνση έχει προσανατολισμό BBD - NNA. Παρατηρείται ότι, στην περίπτωση των τριών ζωνών η παραμόρφωση ανά ζώνη μεγαλώνει σε σχέση με την αντίστοιχη στις δύο ζώνες. Αυτό είναι μια ένδειξη για το ότι η περιοχή δεν παραμορφώνεται ενιαία και ότι πιθανά, ο μικρός αριθμός διαθέσιμων σημείων στις δύο πάνω ζώνες αλλοιώνει τα μεγέθη των τανυστών, ιδιαίτερα αν κάποιο σημείο είναι ασύμβατο με τα υπόλοιπα. Παρακάτω, αξιοποιώντας τα στοιχεία από την διερεύνηση της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής, θα γίνει προσπάθεια να προσδιοριστούν σαφέστερα τα όρια αλλαγής στην παραμόρφωση. Στον Πίνακα 7.6 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι παράμετροι υπολογισμού για τους τρεις τανυστές.

Στο Σχήμα 7.7 παρουσιάζονται τρεις τανυστές παραμόρφωσης με χρήση μόνο των σημείων που βρίσκονται στην Στερεά Ελλάδα. Στο Βόρειο τμήμα της περιοχής παρατηρείται επιμήκυνση σε διεύθυνση περίπου B - N μικρότερου μεγέθους από αυτήν που παρατηρείται νοτιότερα, ενώ η συμπίεση είναι πρακτικά αμελητέα. Η διεύθυνση της παραμόρφωσης για το κεντρικό τμήμα είναι σχεδόν ίδια με αυτήν του βόρειου τμήματος, αλλά η τάξη μεγέθους της και στους δύο άξονες αλλάζει σημαντικά, υποδηλώνοντας ότι, η ζώνη είναι πιθανά πεδίο αλλαγής της παραμόρφωσης. Οι άξονες του τανυστή είναι περίπου ίδιου μεγέθους, πράγμα που σημαίνει πως η περιοχή μοιάζει να μην υφίσταται στρέβλωση (distortion). Όπως ήδη έχει αναφερθεί η θέση της πιθανής ασυνέχειας που εξετάζεται εδώ, έχει εντοπιστεί με πιθανές διαφοροποιήσεις ως προς τον γεωγραφικό προσδιορισμό της θέσης της από τους *McClusky et al. (2000)*, *Nyst and Thatcher (2004)*, *Reilinger et al. (2006)*, *Marinou et al. (2006)*, *Βέης et al. (2007)*, *Reilinger et al. (2010)*, *Floyd et al. (2010)*.

Στο Νότιο τμήμα της περιοχής παρατηρείται μια μικρή στροφή του τανυστή της παραμόρφωσης ανατολικά σε σχέση με το κεντρικό τμήμα, αλλά η σημαντική διαφοροποίηση είναι στην συμπίεση που παρατηρείται στην περιοχή, που είναι πολύ μικρότερη από αυτή του κεντρικού τμήματος με διεύθυνση NND - BBA, ενώ η επιμήκυνση σε μέτρο είναι σχεδόν ίδια με αυτή του κεντρικού τμήματος. Στον Πίνακα 7.7 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι παράμετροι υπολογισμού για τους τανυστές.

Στο Σχήμα 7.8 εμφανίζεται η λύση για τους τανυστές των τριών ζωνών εξαιρώντας τα σημεία DION, NOA1, CG58, που όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.24 είναι τα νοτιότερα και έχουν άλλη κινηματική συμπεριφορά από τα υπόλοιπα της περιοχής. Με την εξαίρεση τους, το νότιο τμήμα της περιοχής φαίνεται να υπόκειται κυρίως σε επιμήκυνση, με διεύθυνση BBD - NNA, ενώ η συμπίεση είναι πρακτικά μηδενική. Η σημαντική αυτή αλλαγή στο χαρακτήρα (διεύθυνση, μέγεθος) της παραμόρφωσης ενισχύει την εκτίμηση



GM 2013 May 30 16:39:04 DSO-HGL/NTUA

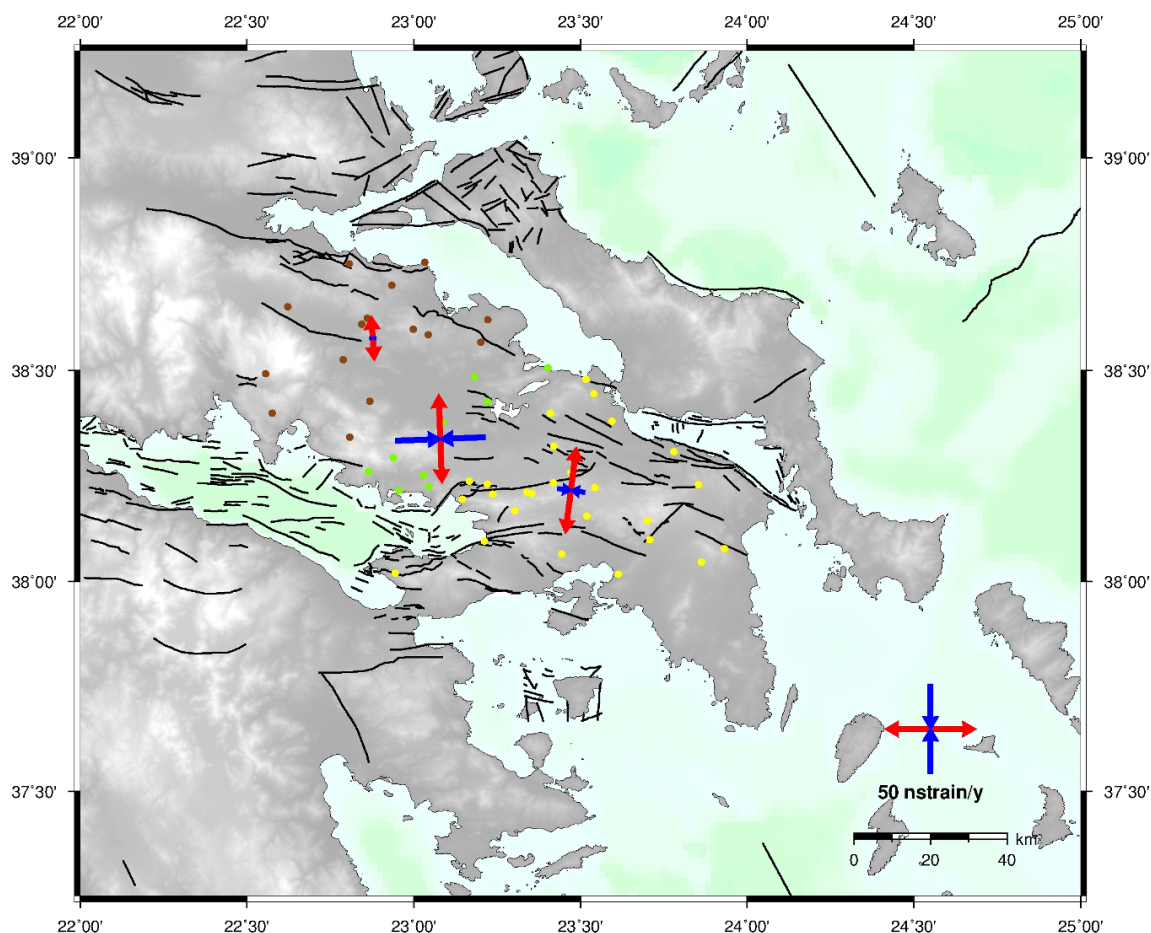
Σχήμα 7.6: Τανυστές παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών. Η κατάτμηση βασίζεται στους *Papoulia et al. (2006)*.

Figure 7.6: Strain tensors for a three zones model according to *Papoulia et al. (2006)*.

Tensors	K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρεια ζώνη	$+0.102 \pm 0.067$	-0.015 ± 0.043	$+16.6 \pm 17.9$	$+0.117 \pm 0.080$
Κεντρική ζώνη	$+0.129 \pm 0.046$	-0.035 ± 0.028	$+4.0 \pm 7.7$	$+0.164 \pm 0.054$
Νότια ζώνη	$+0.107 \pm 0.016$	$+0.000 \pm 0.009$	-11.0 ± 4.2	$+0.107 \pm 0.018$

Πίνακας 7.6: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών. Η κατάτμηση βασίζεται στους *Papoulia et al. (2006)*.

Table 7.6: Strain Tensors Parameters for a three zones model according to *Papoulia et al. (2006)*.



GM 2013 Apr 19 14:26:44 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.7: Τανυστές παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών μόνο για την Στερεά Ελλάδα.

Figure 7.7: Strain tensors for the three zones referring only to the Sterea Hellas data.

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρεια ζώνη	$+0.024 \pm 0.036$	-0.003 ± 0.030	-3.9 ± 39.5	$+0.028 \pm 0.046$
Κεντρική ζώνη	$+0.049 \pm 0.085$	-0.050 ± 0.094	$+177.8 \pm 30.0$	$+0.099 \pm 0.127$
Νότια ζώνη	$+0.048 \pm 0.021$	-0.015 ± 0.016	$+7.2 \pm 10.1$	$+0.062 \pm 0.026$

Πίνακας 7.7: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης μοντέλου τριών ζωνών μόνο για την Στερεά Ελλάδα.

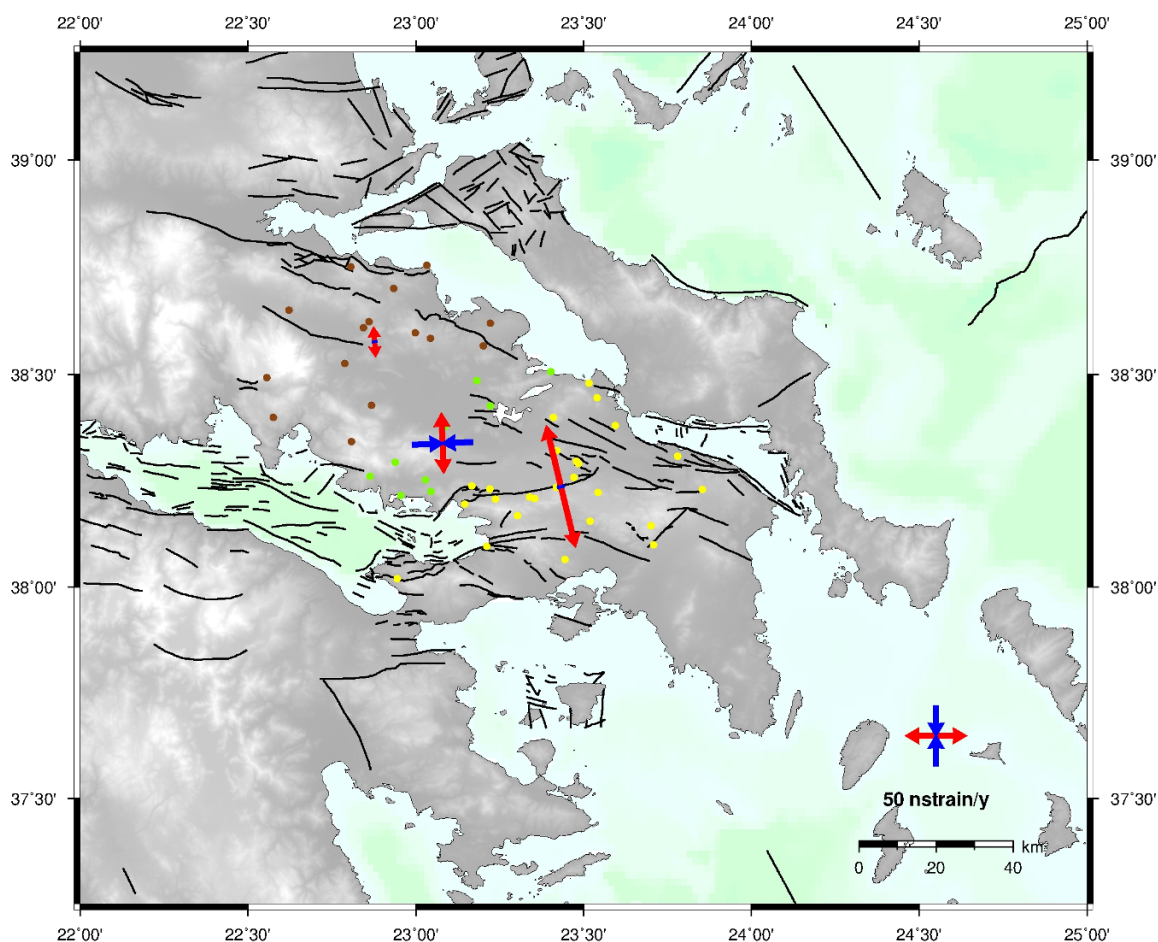
Table 7.7: Strain Tensors for the three zones model referring only to the Sterea Hellas data.

πως τα σημεία αυτά φαίνεται να ανήκουν σε άλλο τεκτονικό μπλοκ. Στον Πίνακα 7.8 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι παράμετροι υπολογισμού για τους τανυστές.

Παίρνοντας υπ' όψη τα Σχήματα 6.23, 6.26 ως προς τον προσανατολισμό και το μέγεθος των διανυσμάτων είναι δυνατόν να μετατοπιστούν οι νοητές γραμμές που οριοθετούν τις τρεις ζώνες (Σχήμα 7.6, 7.7, 7.8). Έτσι με βάση τη νέα οριοθέτηση των ζωνών συμπεριλαμβάνονται πάλι τα σημεία της Εύβοιας, ενώ παραμένουν εκτός τα σημεία DION, NOA1, CG58. Στο Σχήμα 7.9 παρουσιάζονται οι τρεις τανυστές παραμόρφωσης γι' αυτές τις νέες ζώνες. Παρατηρείται πως με την προσθήκη των σημείων της Εύβοιας αλλάζει σημαντικά η τάξη μεγέθους της παραμόρφωσης στο Βόρειο τμήμα. Η διεύθυνση της επιμήκυνσης αλλάζει σε περίπου BBA - NND. Ο τανυστής της Κεντρικής ζώνης σχεδόν μηδενίζεται με τις ανηγμένες παραμορφώσεις να είναι πολύ μικρές, υποδηλώνοντας ότι η ζώνη αυτή είναι η μεταβατική της τεκτονικής παραμόρφωσης της περιοχής. Στο νότιο τμήμα η εικόνα της παραμόρφωσης παραμένει η ίδια, τόσο σε διεύθυνση όσο και σε τάξη μεγέθους, κάτι που φαίνεται να υποστηρίζει την ιδέα ότι η Κεντρική Εύβοια και πιθανά το Νότιο τμήμα της ακολουθούν την κίνηση της Νότιας Στερεάς Ελλάδας. Στον Πίνακα 7.9 παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι παράμετροι υπολογισμού για τους τανυστές.

Στη συνέχεια επιχειρείται μια λεπτομερέστερη κατάτμηση των τριών ζωνών, διαχωρίζοντας κάθε μια σε δύο τμήματα κατά μια νοητή γραμμή –εγκάρσια στις ζώνες– που ακολουθεί τα συστήματα ρηγμάτων της περιοχής. Στο Σχήμα 7.10 παρουσιάζονται και οι 6 τανυστές παραμόρφωσης που προκύπτουν από αυτήν την κατάτμηση της περιοχής. Στη Βόρεια ζώνη φαίνεται πως η παραμόρφωση διαφοροποιείται από Δύση προς Ανατολή. Η δυτική περιοχή επιμηκύνεται σε διεύθυνση BBA - NND και συμπιέζεται σε διεύθυνση ΔΒΔ - ΑΝΑ. Η τάξη μεγέθους της παραμόρφωσης και στους δύο άξονες είναι περίπου ίδια. Ανατολικά η επιμήκυνση που παρατηρείται είναι μεγαλύτερη από τη συμπίεση και συμβαίνει σε διεύθυνση αντίθετη δηλαδή BBA - NND, ενώ η συμπίεση είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με αυτήν που παρατηρείται στο δυτικό τμήμα. Η εικόνα αυτής της παραμόρφωσης συμβαδίζει με αυτήν που παρουσιάζουν οι *Davies et al. (1997)* για το ανατολικό τμήμα της περιοχής, υπάρχει όμως διαφοροποίηση για το δυτικό, αν και η περιοχή στην οποία αναφέρονται, είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που εξετάζεται εδώ. Η παραμόρφωση για το ανατολικό τμήμα είναι σύμφωνη και με τους *Muller et al. (2013)* σε ένα τουλάχιστον από τα μοντέλα που παρουσιάζουν, ενώ δεν υπάρχει συμφωνία με τους *Clarke et al. (1998)*.

Στην κεντρική ζώνη δεν παρατηρείται η ίδια διαφοροποίηση από δύση σε ανατολή και οι δύο περιοχές επιμηκύνονται με περίπου ίδιο προσανατολισμό BBA - NNA, ενώ συμπιέζονται σε διεύθυνση ABA - ΔΝΔ. Η συμπίεση όμως ανατολικά είναι μικρότερη και



2013 May 23 15:13:41 DSO-HGL/NTUA

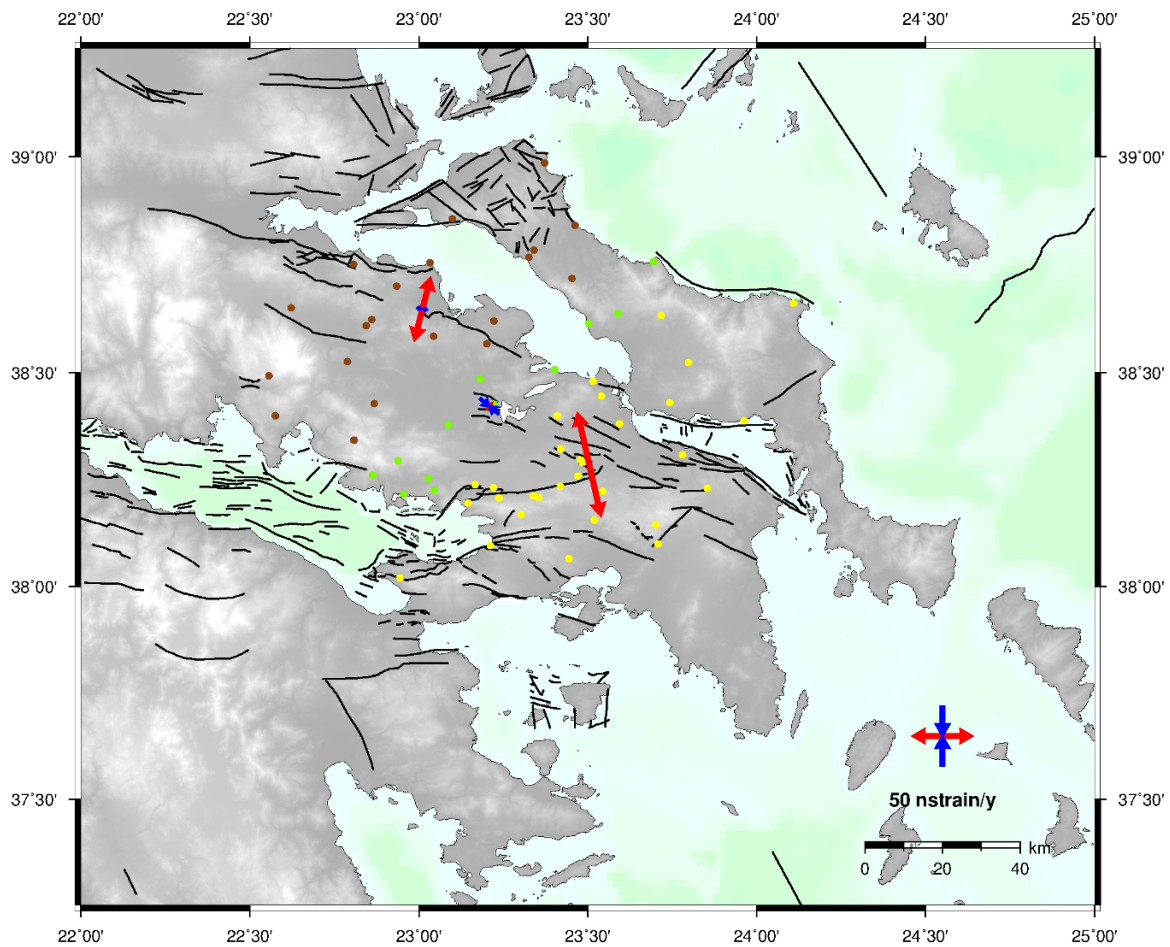
Σχήμα 7.8: Τανυστές παραμόρφωσης για το αναθεωρημένο μοντέλο τριών ζωνών της Στερεάς Ελλάδας (δεν συμπεριλαμβάνονται τα σημεία DION, NOA1 και CG58).

Figure 7.8: Strain tensors of the revised three zones model for Central Greece (points DION, NOA1, CG58 excluded from the calculation).

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρεια ζώνη	$+0.024 \pm 0.036$	-0.003 ± 0.030	-3.9 ± 39.5	$+0.028 \pm 0.046$
Κεντρική ζώνη	$+0.049 \pm 0.085$	-0.050 ± 0.094	$+177.8 \pm 30.0$	$+0.099 \pm 0.127$
Νότια ζώνη	$+0.103 \pm 0.018$	-0.005 ± 0.014	-13.7 ± 5.4	$+0.108 \pm 0.023$

Πίνακας 7.8: Παράμετροι Τανυστών για το αναθεωρημένο μοντέλο τριών ζωνών της Στερεάς Ελλάδας (δεν συμπεριλαμβάνονται τα σημεία DION, NOA1 και CG58).

Table 7.8: Strain tensors of the revised three zones model for Central Greece (points DION, NOA1, CG58 excluded from the calculation).



2013 May 23 15:28:54 DSO-HGL/NTUA

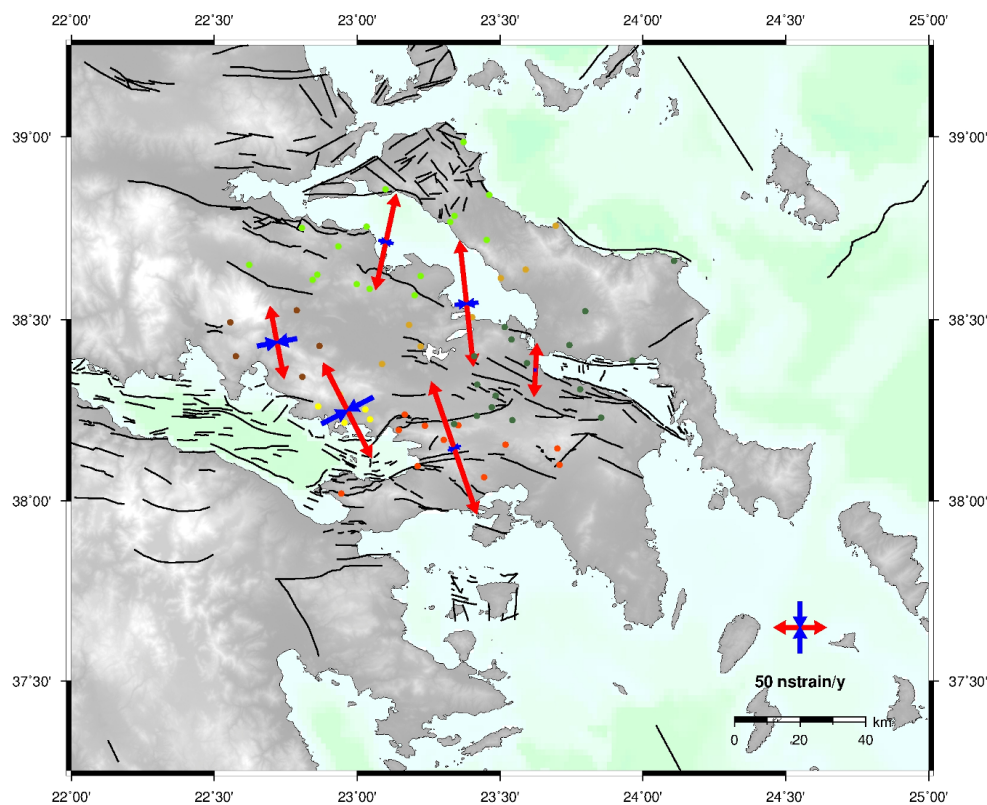
Σχήμα 7.9: Τανυστές παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Σ. Ελλάδας και της Εύβοιας (δεν συμπεριλαμβάνονται τα σημεία DION, NOA1 και CG58).

Figure 7.9: Strain tensors of the revised three zones model for Central Greece and Evia (points DION, NOA1, CG58 are not included in the calculation).

Tensors	K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρεια ζώνη	$+0.054 \pm 0.029$	-0.008 ± 0.023	$+14.5 \pm 15.0$	$+0.062 \pm 0.037$
Κεντρική ζώνη	$+0.008 \pm 0.061$	-0.020 ± 0.057	$+40.4 \pm 115.6$	$+0.028 \pm 0.083$
Νότια ζώνη	$+0.088 \pm 0.014$	-0.000 ± 0.012	-12.8 ± 5.2	$+0.088 \pm 0.018$

Πίνακας 7.9: Παράμετροι Τανυστών Παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Σ. Ελλάδας και της Εύβοιας (δεν συμπεριλαμβάνονται τα σημεία DION, NOA1 και CG58).

Table 7.9: Strain Tensors Parameters of the revised three zones model for Central Greece and Evia (points DION, NOA1, CG58 are not included in the calculation).



GM 2013 Jul 02 13:50:16 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.10: Τανυστές παραμόρφωσης του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Ελλάδας και της Εύβοιας με εγκάρσια κατάτμηση για επιπλέον διαχωρισμό ακολουθώντας τα συστήματα ρηγμάτων της περιοχής.

Figure 7.10: Strain tensors of the revised three zones model for in Central Greece with a furthermore transversal segmentation of the region following the fault systems of the region.

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βορειοδυτικό τμήμα	$+0.071 \pm 0.041$	-0.039 ± 0.054	$+168.9 \pm 15.2$	$+0.110 \pm 0.068$
Βορειοανατολικό τμήμα	$+0.095 \pm 0.041$	-0.014 ± 0.029	$+12.2 \pm 11.4$	$+0.109 \pm 0.050$
Κεντροδυτικό τμήμα	$+0.103 \pm 0.144$	-0.056 ± 0.096	-27.1 ± 34.1	$+0.159 \pm 0.173$
Κεντροανατολικό τμήμα	$+0.123 \pm 0.232$	-0.022 ± 0.189	-6.3 ± 49.3	$+0.144 \pm 0.299$
Νοτιοδυτικό τμήμα	$+0.136 \pm 0.042$	-0.012 ± 0.023	-19.0 ± 8.6	$+0.148 \pm 0.047$
Νοτιοανατολικό τμήμα	$+0.051 \pm 0.023$	-0.001 ± 0.018	$+3.2 \pm 13.4$	$+0.051 \pm 0.029$

Πίνακας 7.10: Παράμετροι Τανυστών του αναθεωρημένου μοντέλου τριών ζωνών της Ελλάδας και της Εύβοιας με εγκάρσια κατάτμηση για επιπλέον διαχωρισμό ακολουθώντας τα συστήματα ρηγμάτων της περιοχής.

Table 7.10: Strain tensors of the revised three zones model for in Central Greece with a furthermore transversal segmentation of the region following the fault systems of the region.

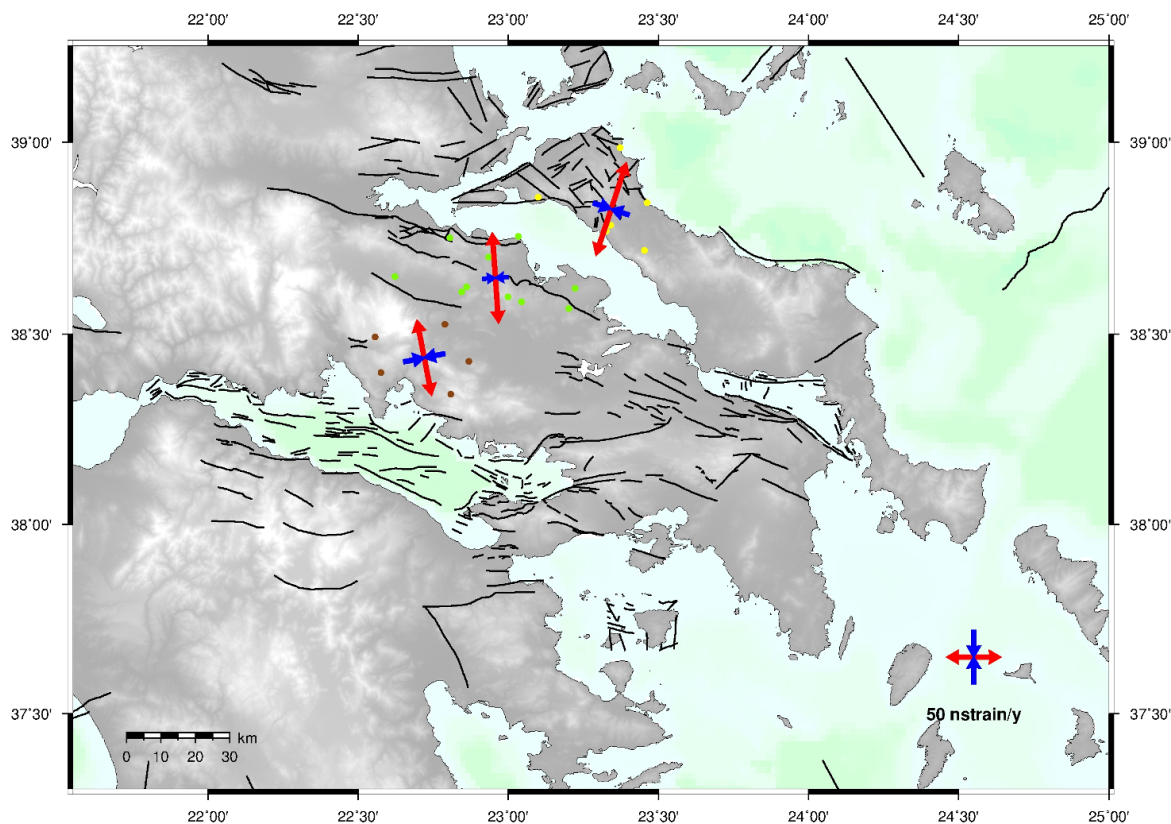
η επιμήκυνση μεγαλύτερη. Η εικόνα αυτής της υποπεριοχής δεν συμφωνεί με τους *Clarke et al. (1998)*, *Muller et al. (2013)*.

Στη νότια ζώνη παρατηρείται αλλαγή στην παραμόρφωση από δυτικά προς ανατολικά. Το δυτικό τμήμα παραμορφώνεται BBA - NNA και συμπιέζεται ABA - ΔΝΔ. Αυτή είναι η ευρύτερη περιοχή του ρήγματος του Καπαρελλίου. Ανατολικά η περιοχή επιμηκύνεται με προσανατολισμό BBA - NNA και το μέγεθος της είναι σημαντικά μικρότερο, από ότι στο δυτικό τμήμα. Οι *Muller et al. (2013)* σε ένα από τα μοντέλα που προτείνουν για την περιοχή συμφωνούν με την εικόνα της παραμόρφωσης για το δυτικό τμήμα σε αντίθεση με τους *Clarke et al. (1998)*. Στον Πίνακα 7.10 παρουσιάζονται οι παράμετροι υπολογισμού για κάθε τανυστή.

Στο Σχήμα 7.11 ενδεικτικά η Βόρεια ζώνη διαχωρίζεται σε 3 τμήματα για να διερευνηθεί περαιτέρω η διαφορά παραμόρφωσης της, μεταξύ Στερεάς και Εύβοιας. Παρατηρείται εδώ ότι το Β. τμήμα της Εύβοιας επιμηκύνεται με προσανατολισμό BBA δηλαδή περισσότερο προς τα ανατολικά, από τον αντίστοιχο των δύο τμημάτων της Στερεάς που παρουσιάζουν περίπου την ίδια εικόνα. Φαίνεται αύξηση της παραμόρφωσης και στη Στερεά από δυτικά προς ανατολικά. Στον Πίνακα 7.11 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες παράμετροι υπολογισμού για κάθε τανυστή.

Στο Σχήμα 7.12 παρουσιάζονται οι τανυστές παραμόρφωσης όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τις ταχύτητες των διαθέσιμων σταθμών μόνο για την Εύβοια. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για το νότιο τμήμα, παρατηρείται όμως σημαντική διαφορά μεταξύ της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας. Το Βόρειο τμήμα παρουσιάζει επιμήκυνση σε διεύθυνση BBA - NNA και συμπίεση σε διεύθυνση περίπου A - Δ, ενώ ο ρυθμός παραμόρφωσής του είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν του κεντρικού τμήματος. Μεταξύ Βορείου και Κεντρικού τμήματος παρατηρείται διαφορά προσανατολισμού της τάξης των 20° στην διεύθυνση των αξόνων της παραμόρφωσης. Η διαφοροποίηση αυτή στο κέντρο του νησιού δεν επιβεβαιώνεται αντίστοιχα από τους *Clarke et al. (1998)*, ενώ συμφωνεί με τους *Davies et al. (1997)*. Στον Πίνακα 7.12 παρουσιάζονται οι παράμετροι υπολογισμού για κάθε τανυστή.

Στο Σχήμα 7.13 παρουσιάζονται οι τανυστές παραμόρφωσης για Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας ταχύτητες κατά μήκος της ακτογραμμής. Η παραμόρφωση ακολουθεί την ίδια διεύθυνση με αυτήν που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 7.10, 7.11). Το ίδιο περίπου αποτέλεσμα μπορεί να παρατηρηθεί όταν ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας ταχύτητες και από σημεία της ενδοχώρας (Σχήμα 7.14) με την διαφοροποίηση πως ο τανυστής στο Νότιο Ευβοϊκό πα-



GM 2013 May 30 16:53:47 DSO-HGL/NTUA

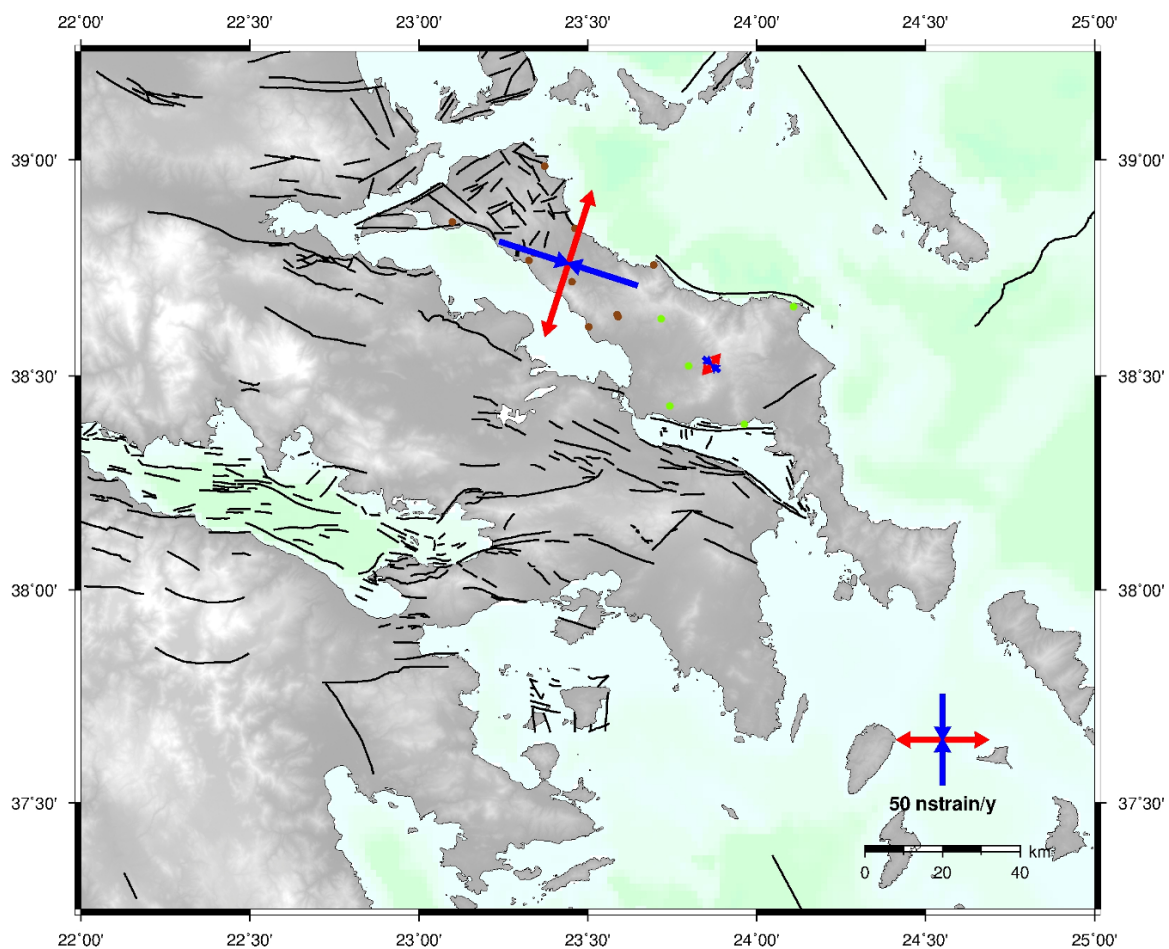
Σχήμα 7.11: Τανυστές παραμόρφωσης στην Βόρεια Ζώνη για τρία τμήματα.

Figure 7.11: Strain tensors in the north zone for three sections.

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βορειανατολικό τμήμα	$+0.091 \pm 0.103$	-0.035 ± 0.096	$+18.3 \pm 30.1$	$+0.126 \pm 0.141$
Βόρειο Κεντρικό τμήμα	$+0.084 \pm 0.090$	-0.024 ± 0.057	-4.0 ± 23.3	$+0.108 \pm 0.107$
Βορειοδυτικό τμήμα	$+0.071 \pm 0.041$	-0.039 ± 0.054	$+168.9 \pm 15.2$	$+0.110 \pm 0.068$

Πίνακας 7.11: Παράμετροι Τανυστών στην Βόρεια Ζώνη για τρία τμήματα.

Table 7.11: Strain tensors of the North zone for three sections.



GM 2013 Apr 19 13:12:46 DSO-HGL/NTUA

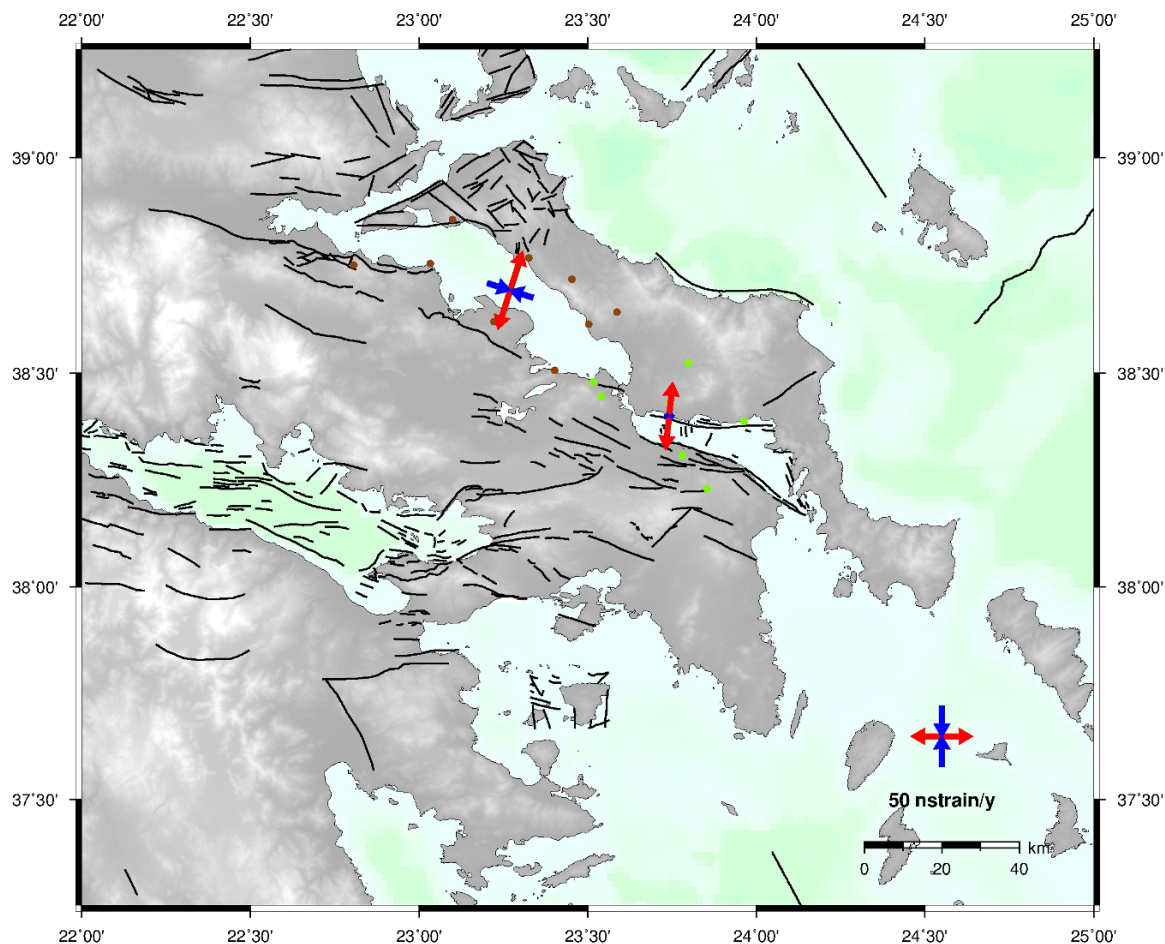
Σχήμα 7.12: Τανυστές παραμόρφωσης για την Εύβοια.

Figure 7.12: Strain tensors for Evia.

Tensors	K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρεια ζώνη	$+0.084 \pm 0.061$	-0.080 ± 0.056	$+17.8 \pm 13.5$	$+0.165 \pm 0.083$
Νότια ζώνη	$+0.014 \pm 0.010$	-0.011 ± 0.010	$+40.9 \pm 22.4$	$+0.025 \pm 0.014$

Πίνακας 7.12: Παράμετροι Τανυστών για την Εύβοια.

Table 7.12: Strain tensors for Evia.



GM 2013 May 23 11:41:35 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.13: Τανυστές παραμόρφωσης στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων κατά μήκος της ακτογραμμής).

Figure 7.13: Strain tensors for the North and South of Evia Gulf (using points strictly along the coastline).

Tensors	K_{max} (ppm)	K_{min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρειος Ευβοϊκός Κόλπος	$+0.067 \pm 0.024$	-0.039 ± 0.016	$+17.7 \pm 7.3$	$+0.106 \pm 0.029$
Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος	$+0.055 \pm 0.032$	-0.007 ± 0.028	$+6.2 \pm 16.3$	$+0.062 \pm 0.043$

Πίνακας 7.13: Παράμετροι Τανυστών στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων κατά μήκος της ακτογραμμής).

Table 7.13: Strain tensors for the North and South of Evia Gulf (using points strictly along the coastline).

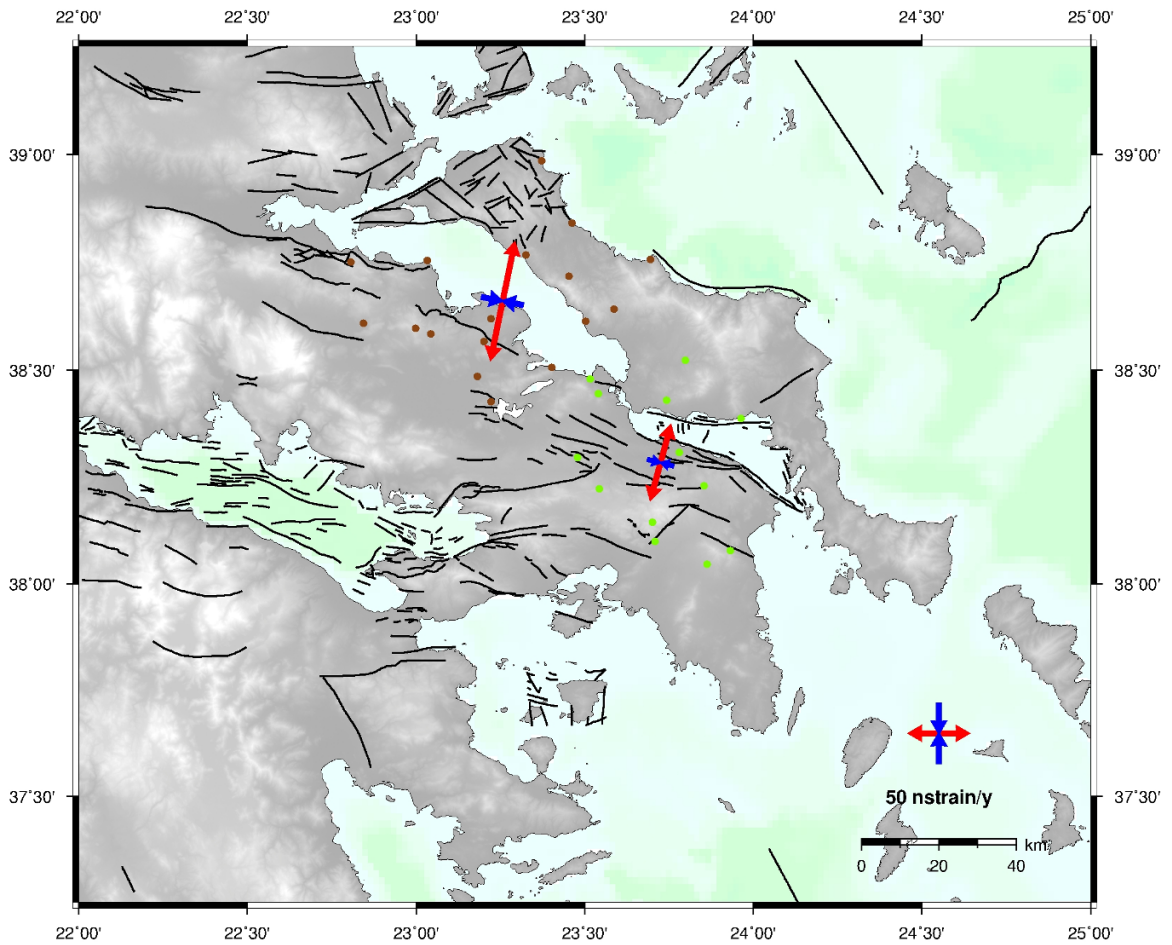
ρουσιάζει επιμήκυνση με λίγο διαφορετικό προσανατολισμό. Δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ Βόρειου και Νότιου Ευβοϊκού στη διεύθυνση της ανηγμένης παραμόρφωσης. Η συμπίεση είναι μικρότερη και στις δύο περιπτώσεις για τον Νότιο Ευβοϊκό. Στους Πίνακες 7.13, 7.14 αντίστοιχα παρουσιάζονται οι παράμετροι υπολογισμού για κάθε τανυστή.

Στο Σχήμα 7.15 παρουσιάζεται η παραμόρφωση στην ευρύτερη περιοχή του συστήματος των Αλκυονίδων. Παρατηρείται πως δεν υπάρχει συμπίεση, ενώ το μέγεθος της και η διεύθυνση της παραμόρφωσης δεν διαφοροποιείται σημαντικά από την εικόνα της ευρύτερης περιοχής (Σχήμα 7.10). Στον Πίνακα 7.10 παρουσιάζονται οι παράμετροι υπολογισμού για τον τανυστή. Η απουσία συμπίεσης για μια μεγαλύτερη περιοχή από αυτήν που μελετάται στον υπό συζήτηση χάρτη, παρουσιάζεται και από τους Clarke *et al.* (1998), Davies *et al.* (1997), ενώ δεν είναι σύμφωνη με τους Veis *et al.* (1992).

Στη συνέχεια εξετάζεται η παραμόρφωση για το ρήγμα του Καπαρελλίου, που ήταν ένα από τα ρήγματα του συστήματος των ρηγμάτων που διερράγησαν κατά τη σεισμική ακολουθία των Αλκυονίδων νήσων. Σαν δεδομένα χρησιμοποιούνται στοιχεία από το δίκτυο που δημιουργήθηκε για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του ρήγματος αυτού.

Στο Σχήμα 7.16 παρουσιάζεται ο τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο του ρήγματος του Καπαρελλίου. Παρατηρείται επιμήκυνση ίδιας τάξης μεγέθους με της ευρύτερης περιοχής των Αλκυονίδων, αλλά με ολική διάτμηση μεγαλύτερη (Σχήμα 7.15), ενώ η γωνία είναι διπλάσια. Ταυτόχρονα κατά μήκος του ρήγματος του Καπαρελλίου παρατηρείται και συμπίεση που δεν εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή. Στο Σχήμα 7.17 παρουσιάζονται οι τανυστές παραμόρφωσης στα σχηματιζόμενα τρίγωνα από τους διαθέσιμους σταθμούς. Ο τρόπος της μεταβολής της παραμόρφωσης κατά μήκος του ρήγματος είναι μια ένδειξη για την συνέχεια του λιθοσφαιρικού ορίου της τάφρου του Κορινθιακού Κόλπου προς τα ανατολικά. Η παραμόρφωση που εντοπίζεται στα υποπαράλληλα ρήγματα της περιοχής ενισχύει την εικόνα της ασυνέχειας του ορίου αυτού. Η παραμόρφωση στο ρήγμα του Καπαρελλίου φαίνεται να συνδέεται με αυτήν των Αλκυονίδων δυτικά καθώς και με το ρήγμα των Ερυθρών (Marinou *et al.* 2013). Στους Πίνακες 7.16, 7.17 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι παράμετροι υπολογισμού για κάθε τανυστή.

Στο Σχήμα 7.18 παρουσιάζεται ο τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης, όπου παρατηρείται επιμήκυνση σε διεύθυνση περίπου Β - Ν και συμπίεση σε διεύθυνση περίπου Α - Δ. Η εικόνα, προφανώς, προσομοιάζει σε αυτήν



2013 May 23 11:45:00 DSO-HGL/NTUA

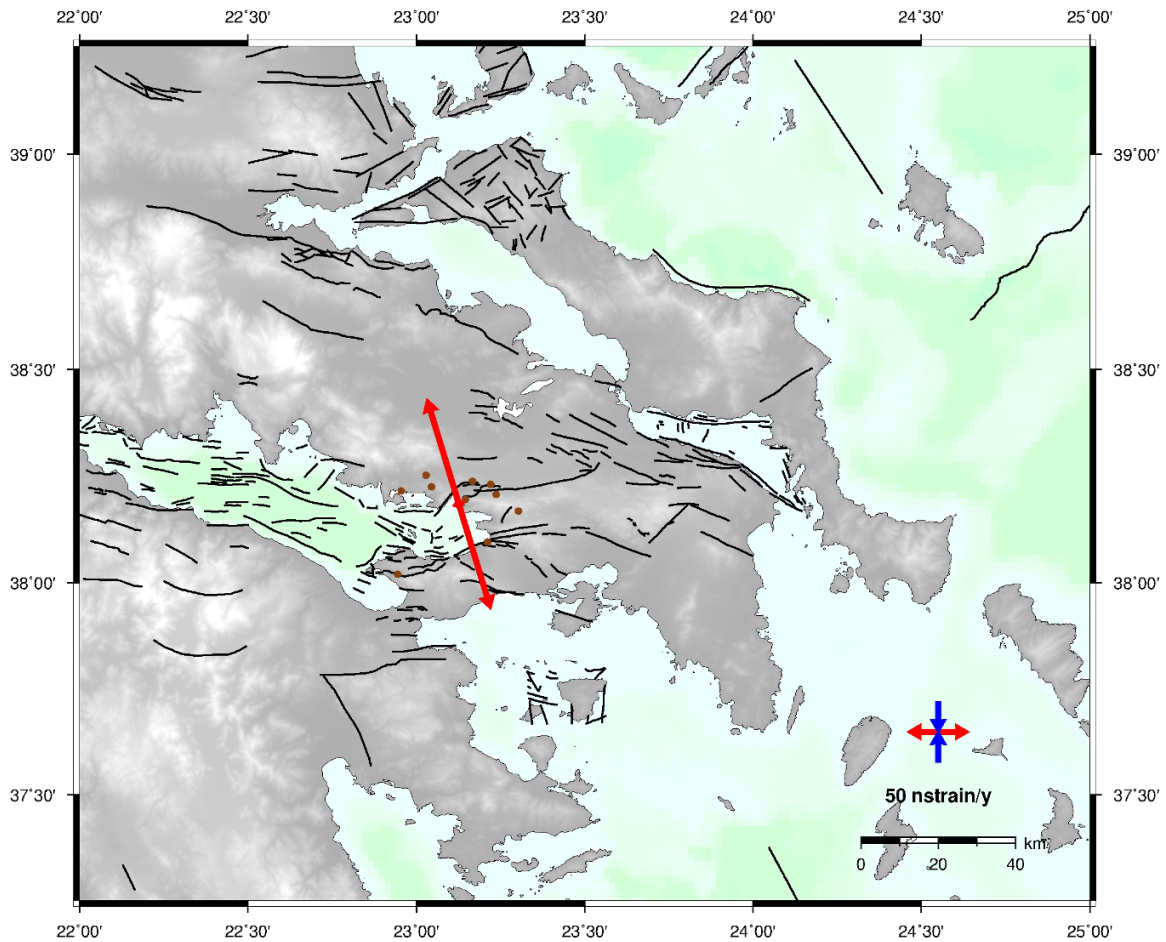
Σχήμα 7.14: Τανυστές παραμόρφωσης στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων και στην ενδοχώρα).

Figure 7.14: Strain tensors for the North and South of Evia Gulf (using points from the mainland).

Tensors	K_{max}	A_z (deg)	γ (ppm)
Βόρειος Ευβοϊκός Κόλπος	$+0.100 \pm 0.028$	-0.035 ± 0.022	$+11.6 \pm 6.4$
Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος	$+0.064 \pm 0.022$	-0.022 ± 0.026	$+15.3 \pm 10.1$

Πίνακας 7.14: Παράμετροι Τανυστών στον Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο (με χρήση σημείων και στην ενδοχώρα).

Table 7.14: Strain tensors in North and South of Evia Gulf (using points from the mainland).



GM 2013 May 23 12:03:03 DSO-HGL/NTUA

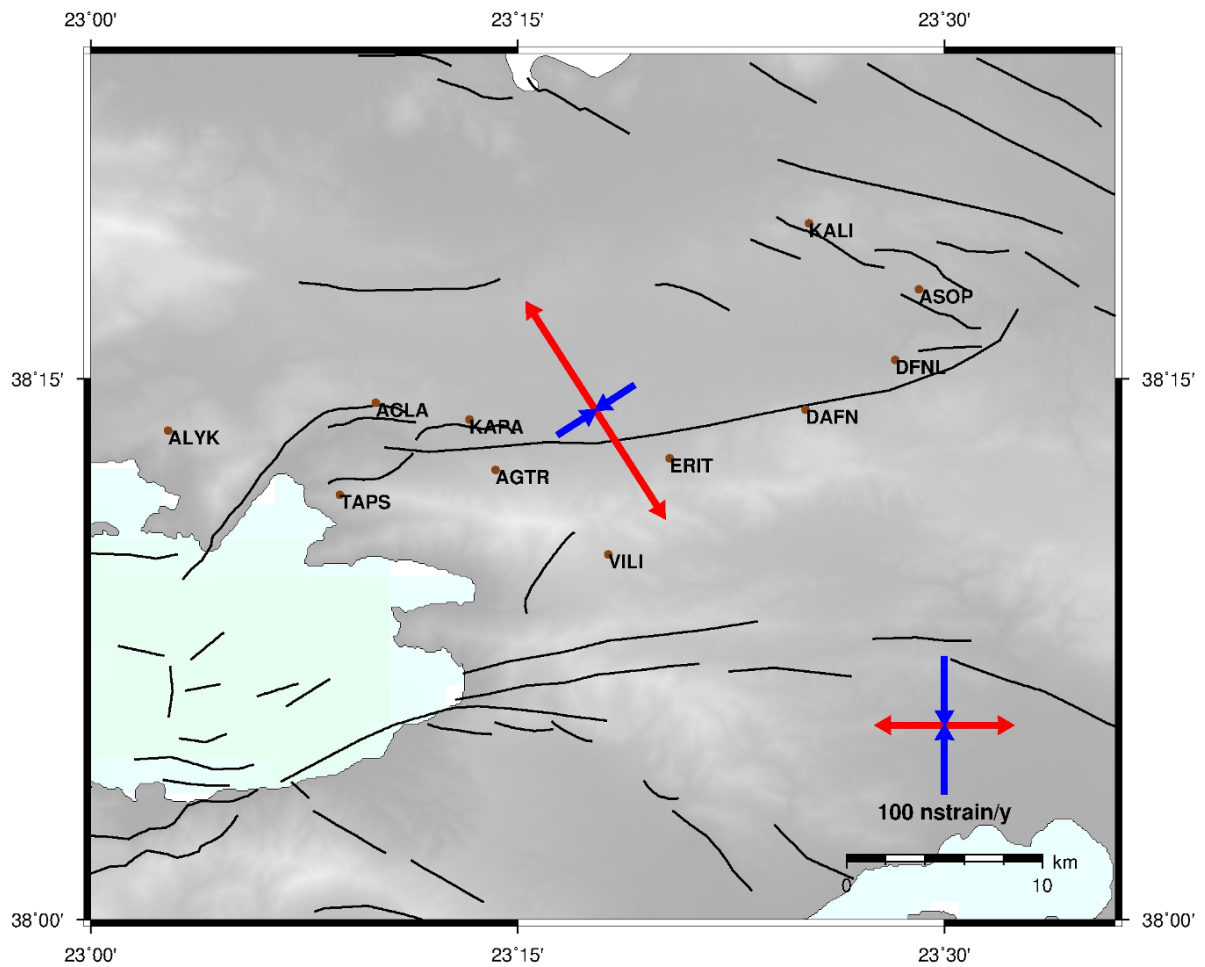
Σχήμα 7.15: Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων νήσων.

Figure 7.15: Strain tensor for the vicinity of Alkyonides Islands.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.183 \pm 0.033$	$+0.009 \pm 0.027$	-16.9 ± 6.5	$+0.173 \pm 0.043$

Πίνακας 7.15: Παράμετροι Τανυστών στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων νήσων.

Table 7.15: Strain tensors for the vicinity of Alkyonides Islands.

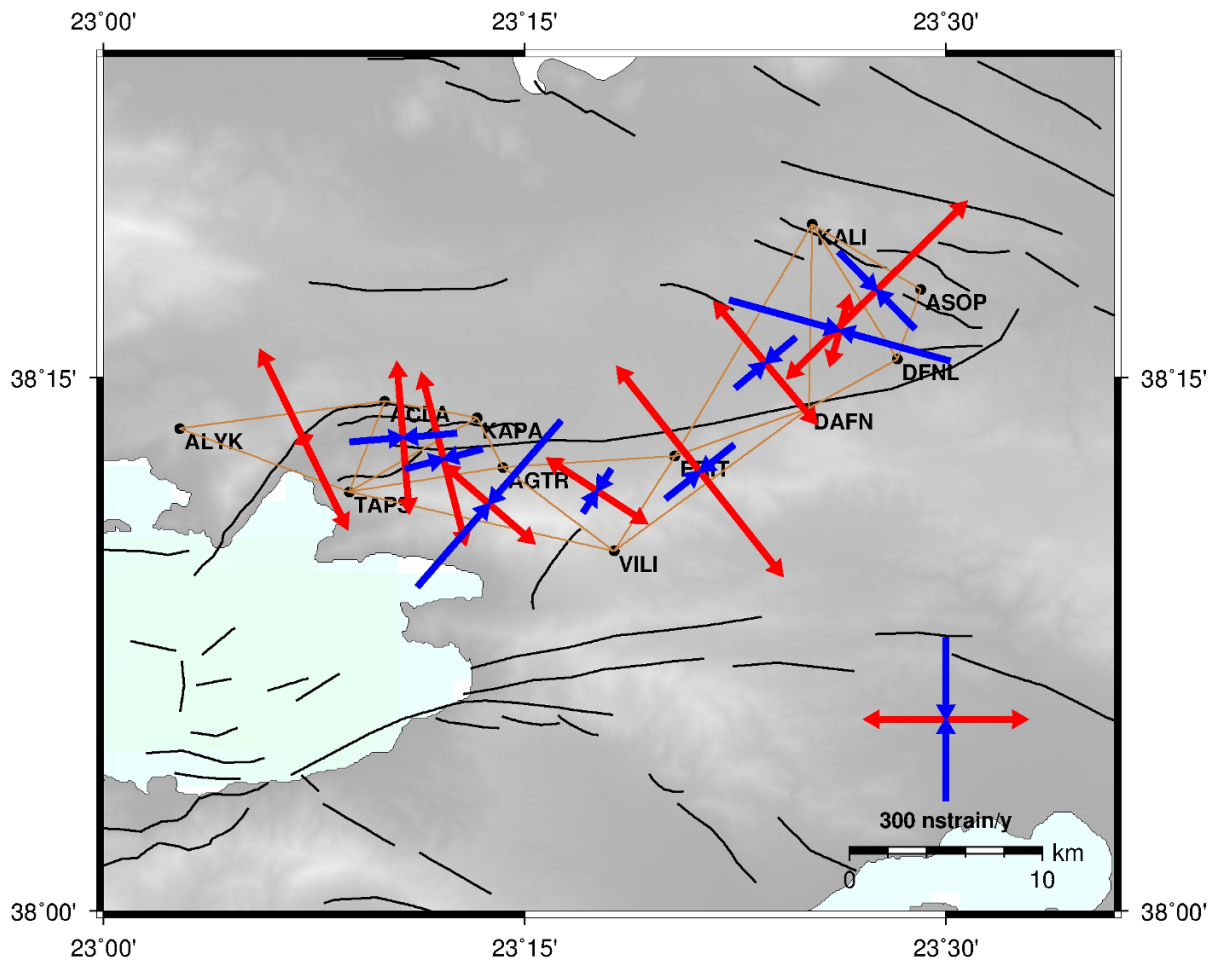


2013 Sep 02 13:26:53 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.16: Τανυστής παραμόρφωσης για το δίκτυο του ρήγματος του Καπαρελλίου.
Figure 7.16: Strain tensor for the network of Kaparelli fault.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.187 \pm 0.055$	-0.066 ± 0.033	-32.7 ± 8.8	$+0.253 \pm 0.064$

Πίνακας 7.16: Παράμετροι Τανυστών για το δίκτυο του ρήγματος του Καπαρελλίου.
Table 7.16: Strain tensors for the network of Kaparelli fault.



Σχήμα 7.17: Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο κατά μήκος του ρήγματος του Καπαρελλίου.

Figure 7.17: Strain tensors per triangle along the Kaparelli fault.

Code	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	$K_{\max}(\text{ppm})$	$K_{\min}(\text{ppm})$	$A_z(\text{deg})$	$\gamma(\text{ppm})$
1	38.221	23.119	0.369	0.034	-26.1	0.335
2	38.222	23.178	0.28	-0.197	-4.7	0.478
3	38.212	23.202	0.329	-0.145	-14.4	0.475
4	38.191	23.229	0.222	-0.405	130.9	0.627
5	38.197	23.293	0.221	-0.093	123.0	0.315
6	38.206	23.354	0.494	-0.159	-38.4	0.438
7	38.257	23.393	0.294	-0.144	-40.1	0.556
8	38.272	23.437	0.135	-0.421	15.5	0.663
9	38.291	23.459	0.466	-0.198	45.5	0.247

Πίνακας 7.17: Παράμετροι Τανυστών ανά τρίγωνο κατά μήκος του ρήγματος του Καπαρελλίου.

Table 7.17: Strain tensors per triangle along the Kaparelli fault.

που παρατηρείται στον τανυστή παραμόρφωσης του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου (Σχήμα 7.14).

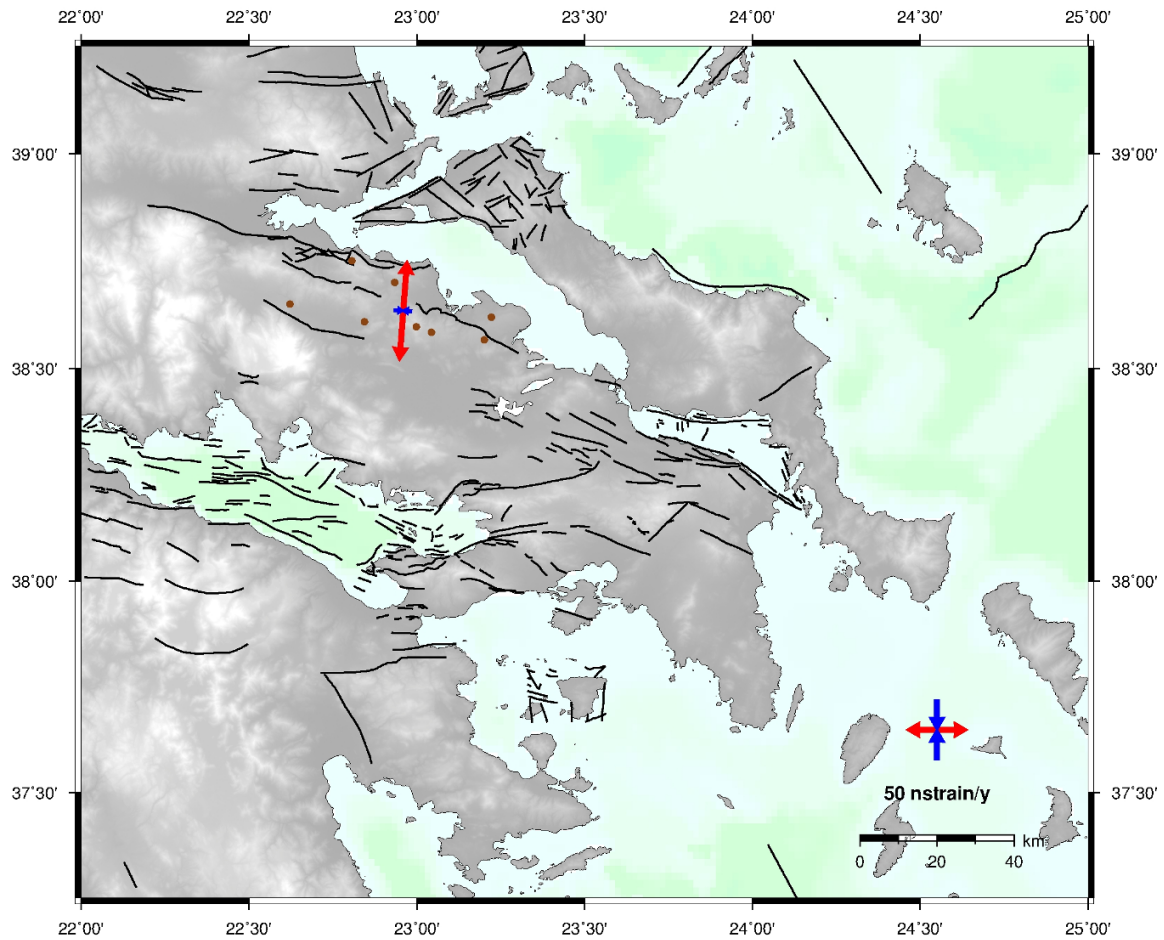
Στο Σχήμα 7.19 απεικονίζεται ο τανυστής παραμόρφωσης γύρω από το ρήγμα της Αταλάντης, με επιλογή των σημείων, που είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ρήγμα. Μπορεί να παρατηρηθεί αλλαγή στο είδος της παραμόρφωσης που λαμβάνει χώρα από αυτήν που συμβαίνει στην ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 7.10, 7.13, 7.14). Η επιμήκυνση έχει διεύθυνση BBA - NNA, ενώ η συμπίεση έχει διεύθυνση ABA - ΔΝΔ και άλλη τάξη μεγέθους ως προς αυτή που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή.

Στους Πίνακες 7.18, 7.19 παρουσιάζονται οι παράμετροι υπολογισμού για τον τανυστή.

Όλες οι διαπιστώσεις για τον προσανατολισμό και το είδος της παραμόρφωσης που έγιναν στο κεφάλαιο αυτό δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες με προγενέστερες εργασίες, γιατί οι τελευταίες αφορούν συνήθως μεγαλύτερη περιοχή, άλλο όγκο ή και είδος δεδομένων (επίγειες μετρήσεις, μόνιμοι σταθμοί), καθώς και άλλα χρονικά διαστήματα. Εξάλλου τα μεγέθη της παραμόρφωσης που παρουσιάζουν είναι συνήθως αποτέλεσμα μοντέλου παρεμβολής των αρχικών σημειακών τους δεδομένων. Για όλους τους παραπάνω λόγους είναι αναμενόμενη η πιθανή ασυμφωνία.

Παρατηρείται ότι σε κάποιους από τους τανυστές τα σφάλματα είναι πολύ μεγάλα. Αυτό οφείλεται στον μικρό αριθμό των σημείων που συμμετείχαν στον υπολογισμό, δεδομένου ότι σε τέτοιες περιπτώσεις η παραμικρή παρέκκλιση ενός σημείου από το πεδίο μετακινήσεων επηρεάζει εντονότερα την στατιστική αξιοπιστία των παραμέτρων του τανυστή. Αυτή η επίδραση αμβλύνεται σημαντικά αν το διάστημα της μετακίνησης κάποιου σημείου διαφέρει από ένα πυκνό σε σημεία πεδίο μετακινήσεων. Περαιτέρω πυκνωση των σημείων καθώς και επιπλέον πειράματα για ενδεχόμενες ασυνέχειες στην περιοχή είναι απαραίτητα για την περαιτέρω διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο Παράρτημα Γ' παρουσιάζονται για κάποιες υποπεριοχές οι τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο. Οι περιοχές αυτές αφορούν τις Αλκυονίδες νήσους, τρίγωνα κατά μήκος του Ν. Ευβοϊκού και την ευρύτερη περιοχή από την Αττική έως τον Κορινθιακό Κόλπο. Η λεπτομερής μελέτη τους μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω κατανόηση της μεταβολής της παραμόρφωσης της περιοχής εσωτερικά και στον εντοπισμό υποπεριοχών μεγάλης παραμόρφωσης.

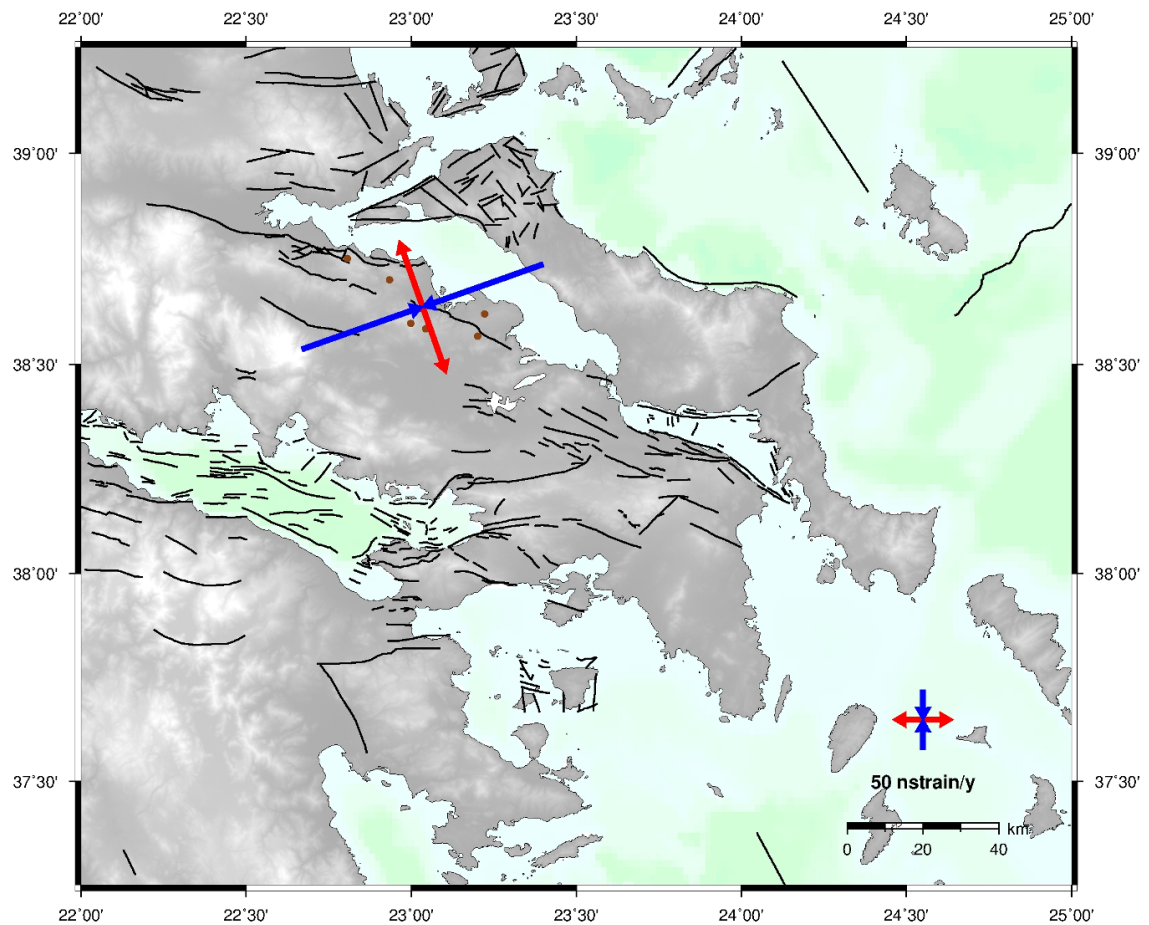


GM 2013 May 23 12:01:57 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.18: Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης.
Figure 7.18: Strain tensor for the vicinity of the Atalanti fault.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.083 \pm 0.141$	-0.014 ± 0.083	$+4.3 \pm 39.7$	$+0.097 \pm 0.164$

Πίνακας 7.18: Παράμετροι Τανυστή στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης.
Table 7.18: Strain tensor for the vicinity of the Atalanti fault.



GM 2013 May 23 15:05:26 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα 7.19: Τανυστής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης.
Figure 7.19: Strain tensor for broader area of the Atalanti fault.

K_{\max} (ppm)	K_{\min} (ppm)	A_z (deg)	γ (ppm)
$+0.119 \pm 0.162$	-0.218 ± 0.115	-19.5 ± 16.1	$+0.336 \pm 0.199$

Πίνακας 7.19: Παράμετροι Τανυστή στην ευρύτερη περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης.
Table 7.19: Strain tensor for broader area of the Atalanti fault.

8 Υπολογισμός Πόλων Στροφής κατά Euler

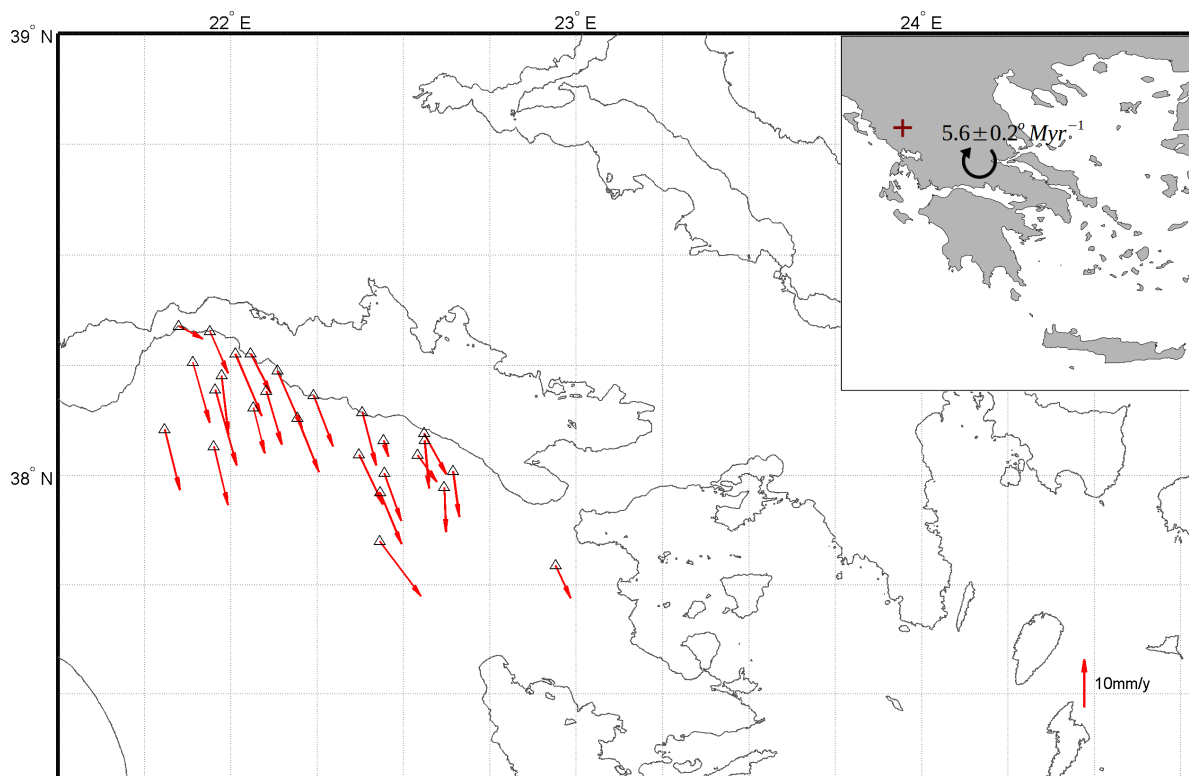
8.1 Υπολογισμός Πόλων Στροφής

Για την εφαρμογή των πόλων στροφής σε μια περιοχή θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά το πεδίο των ταχυτήτων και να αναζητούνται οι υποπεριοχές με ομοιογένεια στην κίνηση. Αυτό θα επιτρέψει να εκτιμηθούν αντιπροσωπευτικοί πόλοι στροφής για μια περιοχή μελέτης. Με το σκεπτικό αυτό εξετάσθηκαν διάφορες περιπτώσεις και στην παρούσα εργασία. Επειδή η επιτυχημένη κατάτμηση της περιοχής απαιτεί αρκετές δοκιμές, αλλά και η ανάγκη για αξιολόγηση της εκάστοτε απεικόνισης και των αποτελεσμάτων που απαιτεί διαδραστική διαδικασία, συντάχθηκε λογισμικό που εξυπηρετεί τις απαιτήσεις αυτές και περιγράφεται λεπτομερέστερα στην επόμενη ενότητα.

Για τον προσδιορισμό των πόλων στροφής δεν συμμετέχουν οι ταχύτητες των σημείων που έχουν μετρηθεί σε δύο εποχές, τόσο για τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, όσο και για τα δεδομένα του Κορινθιακού Κόλπου.

Αρχικά προσδιορίστηκε ο πόλος στροφής του συνολικού δικτύου ως προς την Ευρώπη. Ο αρχικός αριθμός των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του ήταν 63. Μετά την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου (επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$) αρκετά σημεία δεν ικανοποιούσαν τα κριτήρια του ελέγχου και έμειναν 38. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι ταχύτητες της Στερεάς και της Εύβοιας για να προσδιοριστούν με τη MET οι βέλτιστες τιμές του πόλου στροφής (Πίνακας 8.1). Με τις τιμές αυτές υπολογίσθηκε το εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Πελοπόννησο (Σχήμα 8.1). Ας σημειωθεί ότι στο σχήμα αυτό, όπως και στα επόμενα, οι αρνητικές τιμές στροφής αναφέρονται σε δεξιόστροφη κίνηση. Στο σχήμα αυτό η Πελοπόννησος φαίνεται να κινείται περίπου ομοιόμορφα σχεδόν προς τον Νότο με ελάχιστη δεξιόστροφη διάθεση ως προς την Στερεά και την Εύβοια.

Στο Σχήμα 8.2 παρουσιάζεται το πεδίο των εκτιμώμενων ταχυτήτων της Στερεάς Ελλάδας - Εύβοιας ως προς την Πελοπόννησο. Συμμετείχαν 24 σημεία στον υπολογισμό και μετά την εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου παρέμειναν 12. Η Στερεά φαίνεται να έχει



Σχήμα 8.1: Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων της Πελοποννήσου από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Στερεάς και της Εύβοιας.

Figure 8.1: Estimated velocity field of Peloponnisos due to the pole of rotation determined from the Sterea and Evia velocities.

$\omega(^{\circ}/Myr)$	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_o	#sites
-5.6	39.52	20.79	0.2	0.05	0.11	1.15	38

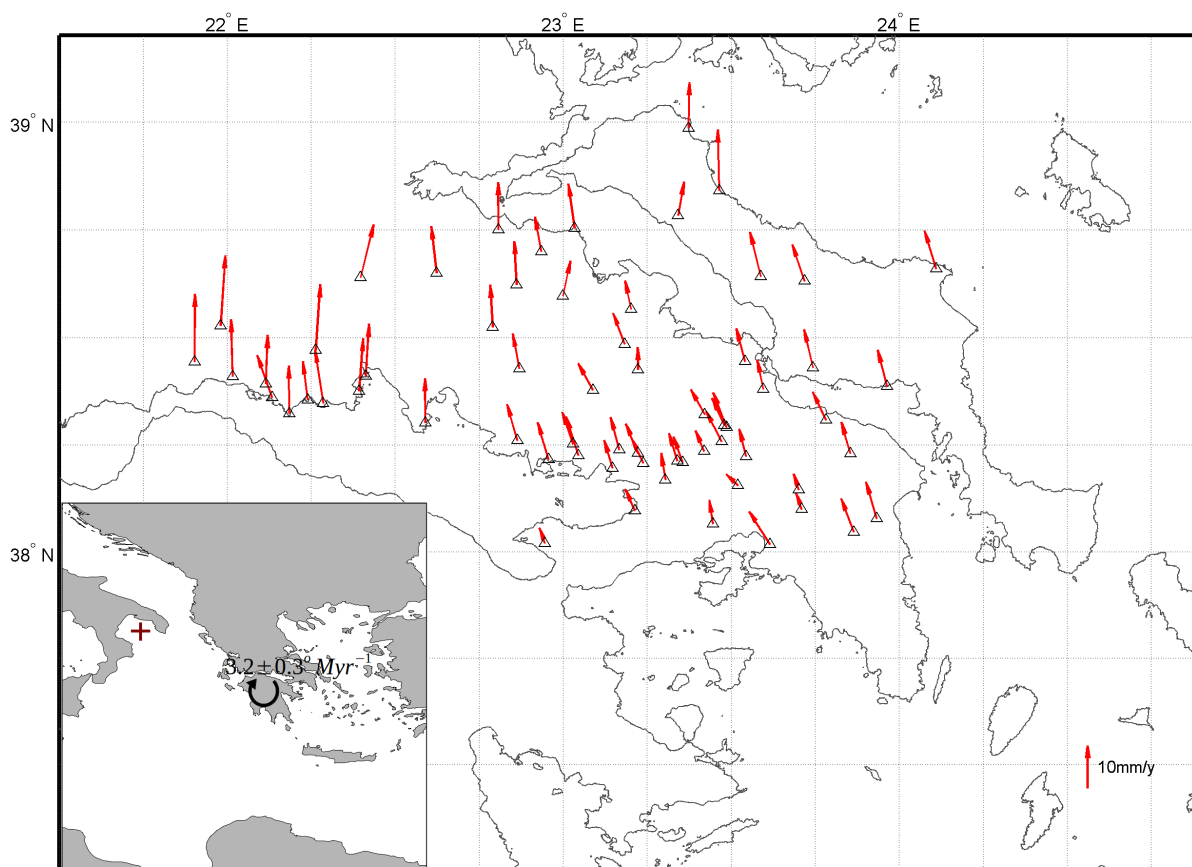
Πίνακας 8.1: Παράμετροι Πόλου Στροφής της Στερεάς και της Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table 8.1: Parameters of pole of rotation for Sterea Hellas and Evia with respect to a fixed Europe.

μια αργή δεξιόστροφη κίνηση σε σχέση με την Πελοπόννησο. Η κίνηση των σημείων από ανατολικά προς δυτικά διαφοροποιείται με αύξηση, τόσο σε μέγεθος όσο και σε προσανατολισμό. Ο προσανατολισμός της παραμόρφωσης δείχνει να αλλάζει στην Β. Εύβοια όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως (σελ. 145). Τα αποτελέσματα (Πίνακας 8.2) συμφωνούν ως προς την φορά της κίνησης με αυτά που παρουσιάζουν οι *Avallone et al. (2004)*, αλλά διαφοροποιούνται ως προς την τάξη μεγέθους της γωνιακής ταχύτητας, πράγμα αναμενόμενο, επειδή στη δική τους εργασία συμπεριλαμβάνεται μόνο ο Κορινθιακός Κόλπος (ο οποίος όπως είναι γνωστό υπόκειται σε μεγάλη παραμόρφωση) και όχι όλα τα σημεία της Στερεάς και της Εύβοιας.

Στο Σχήμα 8.3 παρουσιάζεται το εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Β. Στερεά και τον Κορινθιακό έτσι, όπως αυτό προκύπτει από πόλο στροφής προσδιορισμένο από τα διανύσματα μετακίνησης των σημείων που βρίσκονται στην Νότια Στερεά Ελλάδα και την Κεντρική και Νότια Εύβοια. Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τον υπολογισμό ήταν 32 και μετά τον στατιστικό έλεγχο έμειναν 19. Τα σημεία της περιοχής της Πάρνηθας καθώς και οι σταθμοί DION, NOA1 και CG58 δεν συμμετείχαν στον τελικό υπολογισμό, λόγω της διαφοροποίησης της κινηματικής τους. Η γωνιακή ταχύτητα που προκύπτει από τον υπολογισμό είναι πολύ μικρή και ο πόλος αρκετά μακριά (Πίνακας 8.3). Παρατηρείται μείωση ταχυτήτων στον Βόρειο Κορινθιακό από δυτικά προς ανατολικά και αύξηση ταχυτήτων από τον Νότο προς τον Βορρά στη Στερεά. Η κινηματική του Νότιου Κορινθιακού είναι διαφορετική από αυτήν του Βόρειου επιβεβαιώνοντας τα ήδη γνωστά για την παραμόρφωση που συντελείται σε αυτή την τάφρο (*Αγατζά-Μπαλοδήμου et al. 1994, Clarke et al. 1998, Briole et al. 2000, Agatza-Balodimou et al. 2002, Avallone 2003, Avallone et al. 2004*).

Στο Σχήμα 8.4 παρουσιάζεται το εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Νοτιοανατολική περιοχή υπολογισμένο από πόλο στροφής που προκύπτει από τις μετακινήσεις της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας. Αρχικά συμμετείχαν 37 σημεία και μετά από τον στατιστικό έλεγχο ο υπολογισμός έγινε με 15. Παρατηρείται αύξηση των ταχυτήτων προς την Εύβοια, από την οποία μόνο ένα σημείο συμμετείχε στον τελικό υπολογισμό. Η τελική γωνιακή ταχύτητα είναι σχετικά μεγάλη και εκτός του Νότιου Κορινθιακού όπως φαίνεται στο σχήμα. Για την Νότια Στερεά δεν φαίνεται να υπάρχει κινηματική ομοιομορφία σε αντίθεση με τον Νότιο Κορινθιακό που παρουσιάζει συστηματική συμπεριφορά. Εμφανής είναι η διαφοροποίηση των τριών σημείων στα νότια της Αττικής (DION, NOA1, CG58) και σε διεύθυνση και σε προσανατολισμό. Με εξαίρεση τα σημεία της Εύβοιας και του Νότιου τμήματος της Αττικής, οι ταχύτητες είναι πολύ μικρές, για να γίνει κάποια περαιτέρω εκτίμηση για την κινηματική της περιοχής.



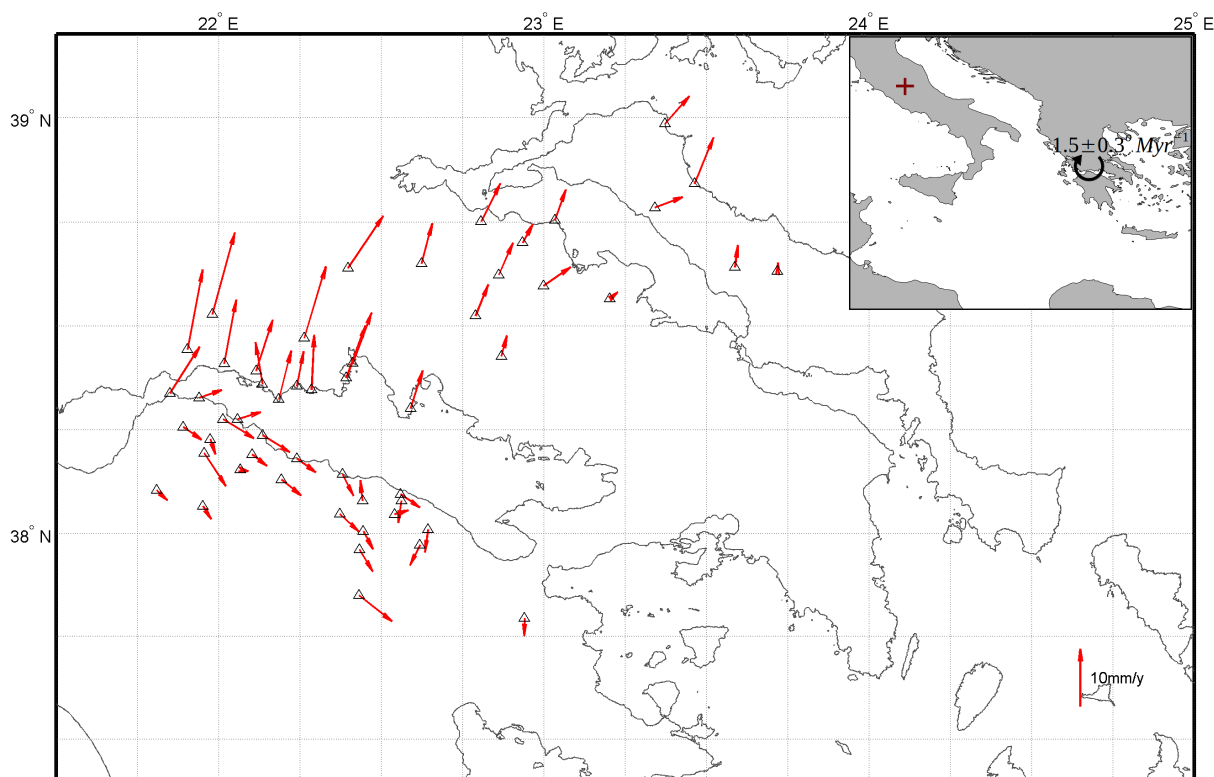
Σχήμα 8.2: Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Πελοποννήσου.

Figure 8.2: Estimated velocity field of Sterea and Evia due to the pole of rotation determined from the Peloponnisos velocities.

$\omega (^{\circ}/Myr)$	$\phi (^{\circ})$	$\lambda (^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_o	#sites
-3.2	39.89	17.45	0.3	0.15	0.41	0.84	12

Πίνακας 8.2: Παράμετροι Πόλου Στροφής της Πελοποννήσου ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table 8.2: Parameters of pole of rotation for Peloponnisos with respect to a fixed Europe.



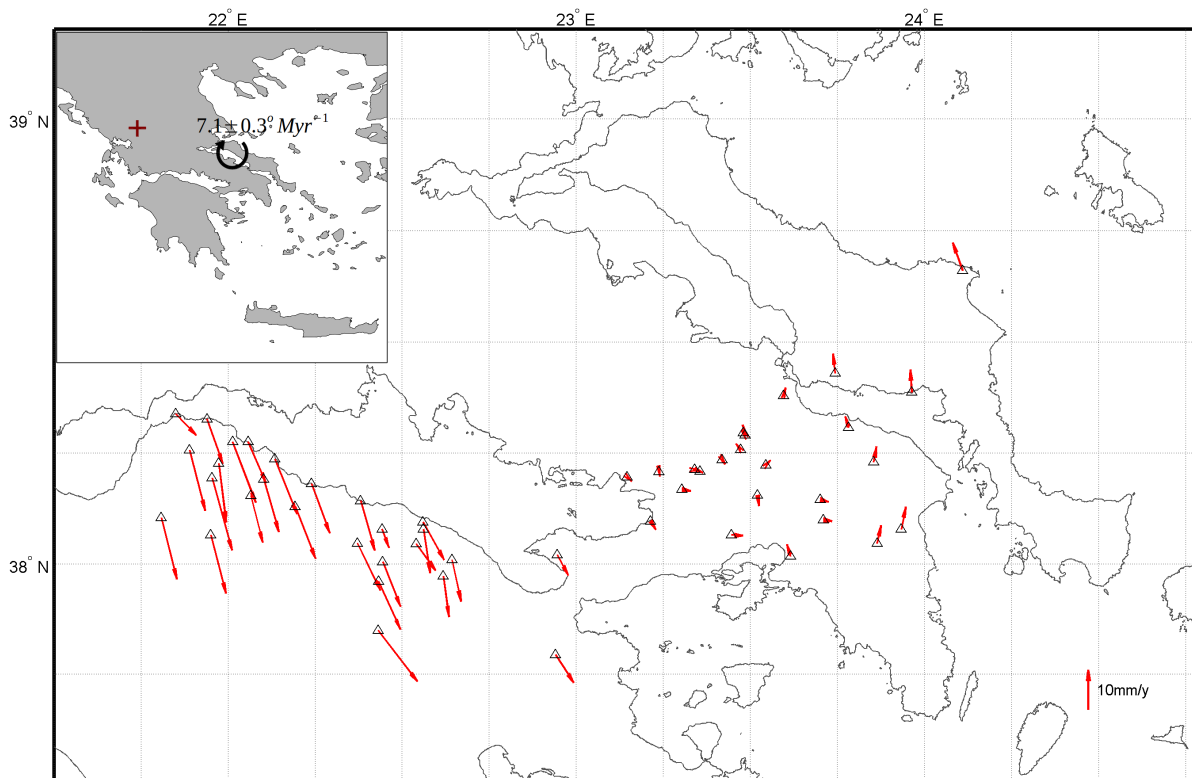
Σχήμα 8.3: Πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων για το Βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής από την εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας.

Figure 8.3: Estimated velocity field for the Northwest part of the region due to the pole of rotation determined from the South Sterea and Evia velocities.

$\omega(^{\circ}/Myr)$	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_o	#sites
-1.5	42.56	12.75	0.3	0.78	2.38	0.81	19

Πίνακας 8.3: Παράμετροι Πόλου Στροφής της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table 8.3: Parameters of pole of rotation of South Sterea and Evia with respect to a fixed Europe.



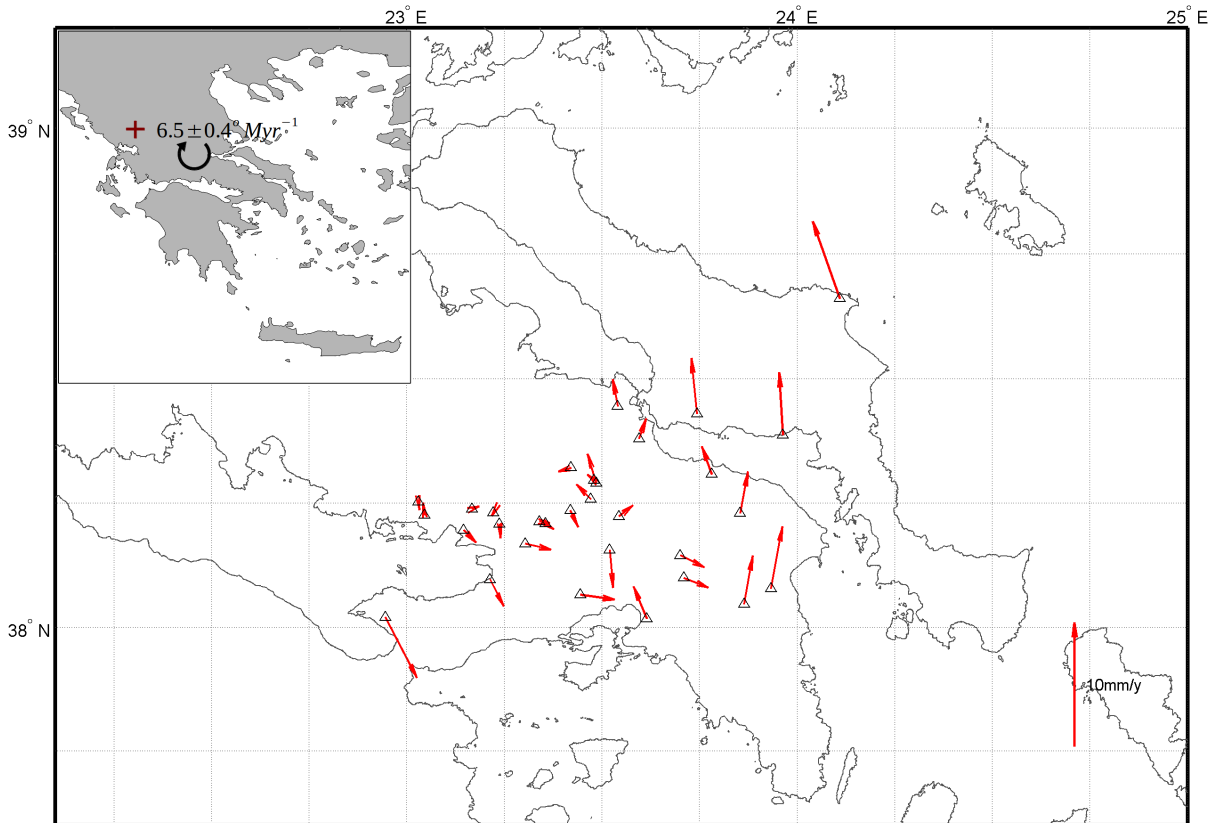
Σχήμα 8.4: Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για τον Κορινθιακό, την Κεντρική και Νότια Στερεά και Εύβοια από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας.

Figure 8.4: Estimated velocity field for the South East part of the region due to the pole of rotation determined from the North and West Sterea and Evia velocities.

$\omega(^{\circ}/Myr)$	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_o	#sites
-7.1	39.29	21.28	0.3	0.03	0.06	0.72	15

Πίνακας 8.4: Παράμετροι Πόλου Στροφής της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table 8.4: Parameters of pole of rotation of North and West Sterea and Evia with respect to a fixed Europe.



Σχήμα 8.5: Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Νότια Στερεά και Εύβοια από την εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων στη Βόρεια Στερεά και Εύβοια. (Δεν συμμετέχουν οι σταθμοί του Κορινθιακού Κόλπου)

Figure 8.5: Estimated velocity field for South Sterea and Evia due to the pole of rotation determined from North Sterea and Evia velocities. (Corinth Gulf stations are not included)

$\omega(^{\circ}/Myr)$	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_o	#sites
-6.5	39.38	21.11	0.41	0.06	0.12	0.97	11

Πίνακας 8.5: Παράμετροι Πόλου Στροφής της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table 8.5: Parameters of pole of rotation of North Sterea and Evia with respect to a fixed Europe.

Στο Σχήμα 8.5 παρουσιάζεται το εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Νότια Στερεά Ελλάδα και Εύβοια όπως αυτό υπολογίζεται από πόλο στροφής που προκύπτει από τις μετακινήσεις της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας. Στον υπολογισμό όμως έχει εξαιρεθεί το δίκτυο του Κορινθιακού Κόλπου. Αρχικά συμμετείχαν 19 σημεία για τον υπολογισμό και μετά τον στατιστικό έλεγχο προσδιορίστηκε ο τελικός πόλος στροφής με την χρήση 11 σημείων. Παρατηρείται αντίστοιχη εικόνα με αυτήν του Σχήματος 8.4 με μια αναμενόμενη, μικρή όμως, διαφοροποίηση στο μέγεθος της γωνιακής ταχύτητας και στην θέση του πόλου (Πίνακες 8.4, 8.5).

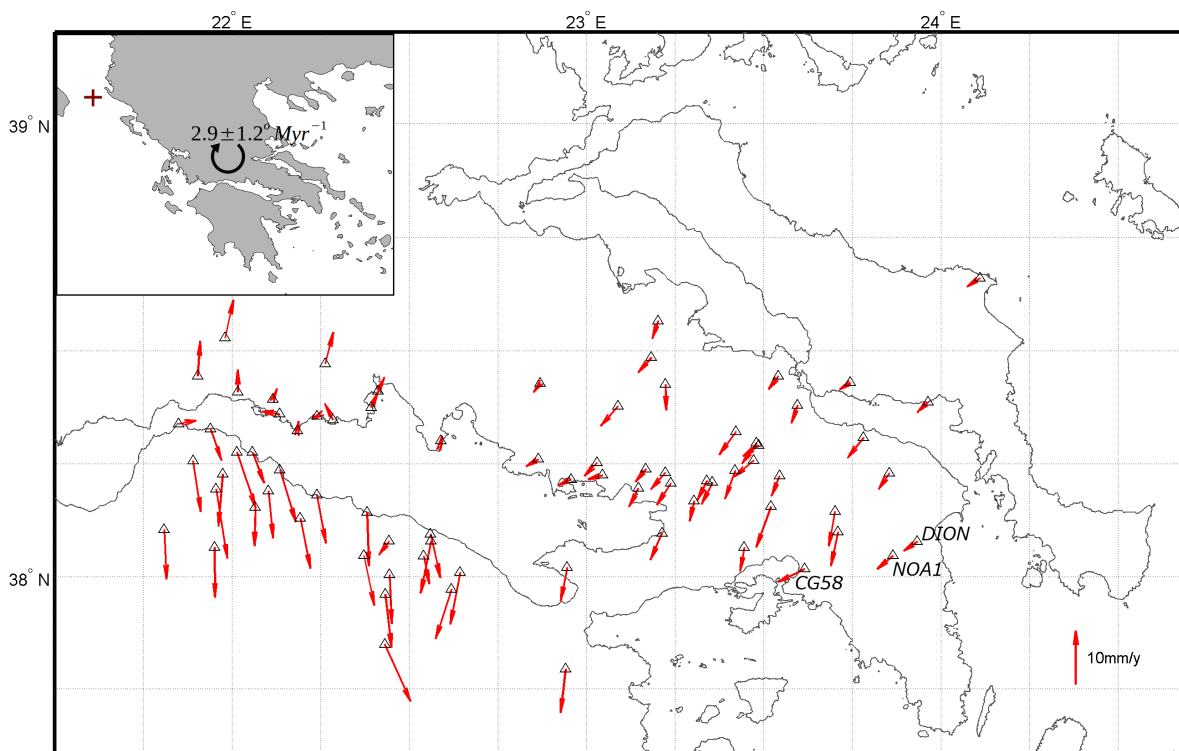
Στο Σχήμα 8.6 παρουσιάζεται το εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων, όπως προκύπτει από τον πόλο στροφής που εκτιμάται από τα σημεία που βρίσκονται ΒΑ της περιοχής και έχουν ομοιόμορφη κινηματική συμπεριφορά (Σχήμα 8.3). Τα σημεία αυτά ορίζουν περίπου και τις δύο βορειότερες ζώνες σεισμικότητας όπως αυτές αναφέρονται από τους *Parouliia et al. (2006)* (Σχήματα 2.8, 7.6). Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκαν αρχικά 11 σημεία και μετά τον στατιστικό έλεγχο έμειναν 9. Παρ' ότι τα σημεία δεν είναι πολλά, μπορεί να παρατηρηθεί το άνοιγμα του Κορινθιακού Κόλπου και η δεξιόστροφη στροφή της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας σε σχέση με την Βόρεια (Σχήματα 6.17, 7.7, 7.9). Τα τρία πιο νότια σημεία DION, NOA1 και CG58 παρουσιάζουν ίδια κινηματική συμπεριφορά, διαφορετική από αυτή που έχουν τα σημεία που βρίσκονται βόρεια τους.

Οι *Goldsworthy et al. (2002)* και *Floyd et al. (2010)* χρησιμοποιώντας άλλα αρχικά δεδομένα, υποστηρίζουν πως η περιοχή ανάμεσα στον Ευβοϊκό και τον Κορινθιακό Κόλπο συμπεριφέρεται ενιαία, το οποίο δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Χρειάζεται πυκνότερο δίκτυο και περισσότερες μετρήσεις στο Βόρειο τμήμα της Στερεάς Ελλάδας για να τεκμηριωθεί η παρουσία της κινηματικής ανομοιομορφίας που φαίνεται να υποστηρίζεται από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα.

Στο Παράρτημα Δ' παρουσιάζονται τα σημεία που συμμετείχαν στον υπολογισμό για κάθε πόλο στροφής, οι διαφορές των υπολογισμένων από τις αρχικές ταχύτητες, καθώς και ο υπολογισμένος πόλος στροφής με τα αντίστοιχα σφάλματα.

8.2 Πρόγραμμα Υπολογισμού Πόλων Στροφής του Euler

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε ειδική εφαρμογή σε περιβάλλον εργασίας Matlab με το όνομα "EulerPoles". Η εφαρμογή κάνοντας χρήση των θέσεων



Σχήμα 8.6: Εκτιμώμενο πεδίο ταχυτήτων για την Κεντρική, Νότια και Δυτική περιοχή από εφαρμογή του πόλου στροφής των ταχυτήτων στην Βόρεια Ανατολική Στερεά και Εύβοια.

Figure 8.6: Estimated velocity field for the Central, South and West part of the region due to the pole of rotation determined from North and East Sterea and Evia.

$\omega(^{\circ}/Myr)$	$\phi(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	σ_{ω}	σ_{ϕ}	σ_{λ}	σ_0	#sites
-2.9	40.22	19.04	1.15	0.57	1.58	1.76	9

Πίνακας 8.6: Παράμετροι Πόλου Στροφής από ελαχιστοποίηση των ταχυτήτων στην Βόρεια Ανατολική Στερεά και Εύβοια.

Table 8.6: Parameters of pole of rotation of North East Sterea and Evia after minimizing velocities in North and East Sterea and Evia.

ενός συνόλου σημείων, των οριζοντιογραφικών τους ταχυτήτων, καθώς και των αντίστοιχων σφαλμάτων, υπολογίζει τον πόλο στροφής και εκτελεί τους στατιστικούς ελέγχους ακολουθώντας την μαθηματική διαδικασία και τις παραδοχές που περιγράφησαν στην ενότητα 3.3. Η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα ταυτόχρονης, κατά τον υπολογισμό, σχεδίασης στο περιβάλλον του Matlab, των μετρημένων ταχυτήτων καθώς και αυτών που υπολογίζονται σε σχέση με τον εκτιμώμενο πόλο στροφής. Επίσης δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παρέμβει, ώστε να αφαιρέσει μεμονωμένα σημεία ή ολόκληρη γεωγραφική περιοχή, κατά την κρίση του, έτσι ώστε να είναι εύκολη η διερεύνηση τεκτονικών μπλοκ στην περιοχή μελέτης. Η εφαρμογή διαθέτει 4 κύρια Menu (Σχήμα 8.7): File, Options, Actions, Utilities.

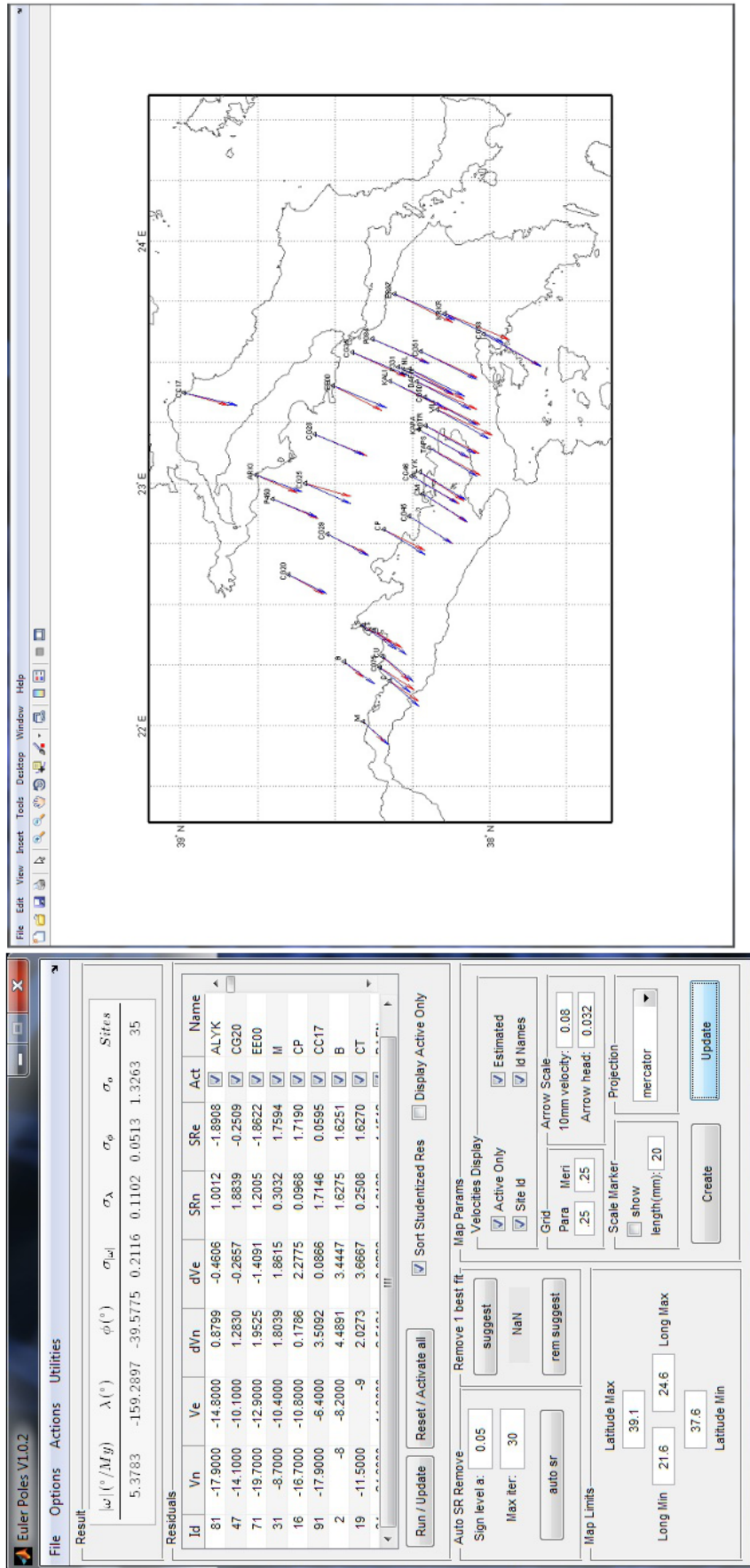
Με χρήση του *Menu File* γίνεται η εισαγωγή των στοιχείων καθώς και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων. Τα αρχεία εισόδου είναι δυο. Το πρώτο περιλαμβάνει τις θέσεις των σημείων εκφρασμένες σε γεωγραφικές ή καρτεσιανές συντεταγμένες, καθώς και τις ταχύτητες τους με τα αντίστοιχα σφάλματα τους. Το δεύτερο αρχείο που προσδιορίζει την περιοχή μελέτης, είτε με μια ψηφιοποιημένη ακτογραμμή, είτε με μια γεωαναφερόμενη εικόνα.

Η εισαγωγή των αρχείων γίνεται από το υπομενού *File:Load Data* για το αρχείο θέσεων και ταχυτήτων, *File:Load Image Map* για την περίπτωση γεωαναφερόμενης εικόνας και τέλος *File:Load Coast Line* για την περίπτωση ακτογραμμής. Η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα το αρχείο των θέσεων και ταχυτήτων να είναι σε οποιαδήποτε μορφή και με οποιαδήποτε σειρά (XYZ, φλ, YXZ, λφ κλπ) και να καθορίζεται ο τρόπος ανάγνωσης του από το πρόγραμμα κατά την είσοδο του (Σχήμα 8.8).

Στο *Menu Options* δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παραμετροποιήσει την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (σύμβολα, χρώματα, κ.λπ.), να ορίσει τη μέση ακτίνα της Γης για την περιοχή μελέτης, καθώς και τις παραμέτρους του στατιστικού ελέγχου.

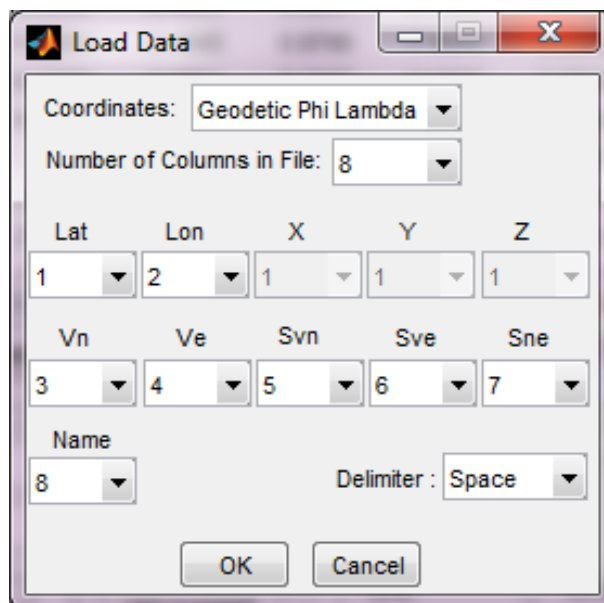
Στο *Menu Actions* δίνονται τρεις επιλογές:

- α) Η δυνατότητα εξαγωγής αρχείου αποτελεσμάτων σε μορφή txt, το οποίο περιλαμβάνει τα τελικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του πόλου στροφής, τον πόλο στροφής, τις αρχικές ταχύτητες τους, τις διαφορές τους από τις εκτιμώμενες τιμές, καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματα.
- β) Η δυνατότητα υπολογισμού των ταχυτήτων των σημείων όπως αυτές προκύπτουν από τον υπολογισμένο πόλο στροφής.
- γ) Την δυνατότητα γεωγραφικής διαχείρισης της περιοχής, έτσι ώστε να αποκλει-



Σχήμα 8.7: Κύρια οθόνη υπολογισμού του προγράμματος EulerPoles και απεικόνιση των εκτιμώμενων ταχυτήτων.

Figure 8.7: EulerPoles main screen.



Σχήμα 8.8: Παράθυρο διαχείρισης του Format του αρχείου εισόδου για τις θέσεις και τις ταχύτητες των σημείων.

Figure 8.8: Screen managing input data's Format.

σθούν ή όχι τμήματά της και να γίνει διερεύνηση τυχόν τεκτονικών ενοτήτων που βρίσκονται εντός της περιοχής που μελετάται.

Στο *Menu Utilities* γίνεται ο αντίστροφος υπολογισμός δηλαδή με γνωστό πόλο στροφής υπολογίζονται οι ταχύτητες σε συγκεκριμένες θέσεις.

Με την εισαγωγή των στοιχείων εμφανίζεται η οθόνη που παρουσιάζεται στο *Σχήμα 8.7*. Στην πρώτη γραμμή παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του υπολογισμού του πόλου στροφής καθώς και τα αντίστοιχα τυπικά σφάλματα, όπως αυτά προκύπτουν με την χρήση όλων των αρχικών δεδομένων εισόδου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται για κάθε σημείο οι συνιστώσες της ταχύτητας του (V_n , V_e) αντίστοιχα, τα υπόλοιπα (dV_n , dV_e) καθώς και τα κανονικοποιημένα υπόλοιπα (SR_n , SR_e).

Στο πεδίο *Auto SR Remove* δίνεται η δυνατότητα φιλτραρίσματος των σημείων με το στατιστικό τεστ των κανονικοποιημένων υπολοίπων που έχει ήδη περιγραφεί. Επίσης μπορεί να οριστεί το επίπεδο σημαντικότητας α του στατιστικού τεστ κατά Student. Στην παρούσα εργασία το επίπεδο σημαντικότητας έχει οριστεί $\alpha = 0.05$. Υπάρχει η δυνατότητα να ορισθεί ακόμη ο μέγιστος αριθμός σημείων που μπορούν να εξαιρεθούν από τον νέο υπολογισμό.

Σε διπλανό παράθυρο σχεδιάζονται οι αρχικές καθώς και οι εκτιμώμενες ταχύτητες των

σημείων και δίνεται η δυνατότητα να οριστούν σχεδιαστικές παράμετροι για την απεικόνιση τους. Η απεικόνιση των σημείων γίνεται στην Παγκόσμια Μερκατορική Προβολή.

9 Συμπεράσματα - Προτάσεις

9.1 Συμπεράσματα

Η Δορυφορική Γεωδαισία αποτελεί σήμερα ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την μελέτη των κινήσεων των πλακών και των γεωτεκτονικών φαινομένων ευρύτερα γιατί επιτρέπει την απ' ευθείας μέτρηση σημείων στην γήινη επιφάνεια. Από την πυκνότητα και το χρονικό εύρος που καλύπτουν οι μετρήσεις εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό, το πόσο καλά μπορεί να εκτιμηθεί η τεκτονική συμπεριφορά μιας περιοχής. Επειδή οι μετακινήσεις του στερεού φλοιού είναι μικρές σε μέγεθος, απαιτούνται μετρήσεις υψηλής ακριβείας, συνεχείς ή επαναλαμβανόμενες σε τακτά διαστήματα που καλύπτουν μεγάλη χρονική διάρκεια. Η εξέλιξη της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες έχει επιτρέψει την αναβάθμιση του μετρητικού εξοπλισμού (κεραίες, δέκτες GPS) καθώς και των λογισμικών επεξεργασίας (καλύτερα μοντέλα ιονόσφαιρας, τροπόσφαιρας, κλπ), έτσι ώστε, τα αποτελέσματα να γίνονται συνεχώς και πιο αξιόπιστα με την πάροδο των χρόνων. Η παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων σε μια περιοχή γινόταν αρχικά με την υλοποίηση τοπικών δικτύων και την επανάληψη μετρήσεων τους ανά χρονικά διαστήματα. Με την πάροδο του χρόνου και την πτώση του κόστους του εξοπλισμού άρχισαν να ιδρύονται μόνιμα δορυφορικά γεωδαιτικά δίκτυα για την παρακολούθηση της παραμόρφωσης μεγάλων περιοχών. Το πλεονέκτημα σε αυτή την εξέλιξη είναι ότι οι παρατηρήσεις είναι συνεχείς και τα τελικά αποτελέσματα ακριβέστερα, αλλά δεν είναι δυνατόν να έχουν την πυκνότητα των τοπικών δικτύων για λόγους κυρίως κόστους. Σε περιοχές με έντονη σεισμικότητα ενδείκνυται μεικτή μέθοδος παρακολούθησης δηλαδή κάποιοι μόνιμοι σταθμοί και ένα τοπικό δίκτυο με μετρήσεις σε τακτικά διαστήματα.

Η περιοχή μελέτης έχει επιστημονικό ενδιαφέρον γιατί βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σημαντικές γεωλογικές τάφρους αυτήν του Κορινθιακού και του Ευβοϊκού Κόλπου. Στην περιοχή αυτή δε, έχουν συμβεί στην παλαιότερη και στην νεότερη ιστορία καταστροφικοί σεισμοί, ενώ είναι μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές της Ελλάδας με σημαντικές μητροπόλεις.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να συλλέξει όλα τα διαθέσιμα γεωδαιτικά δορυφορικά δεδομένα GPS, και να τα αναλύσει κατάλληλα έτσι ώστε, να μελετηθεί η επιφανειακή παραμόρφωση στην ευρύτερη περιοχή Νότιας Στερεάς και Εύβοιας, εφαρμόζοντας διάφορα κινηματικά μοντέλα.

Δορυφορικά δεδομένα της περιοχής μελέτης που αφορούν, όμως μικρότερης διάρκειας παρατηρήσεις, έχουν αξιοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες ευρύτερων περιοχών. Σε αυτές τις εργασίες εφαρμόστηκαν μοντέλα παρεμβολής για να μελετηθεί η παραμόρφωση. Αντιθέτως, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται για πρώτη φορά το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων των δύο τελευταίων δεκαετιών, με αξιοποίηση των δεδομένων των δικτύων των μόνιμων σταθμών, ενώ συμπεριλαμβάνονται και τα δεδομένα των δικτύων Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας, Εύβοιας καθώς και του δικτύου του Καπαρελλίου. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου όγκου των διαθέσιμων πρωτογενών δεδομένων ήταν δυνατή η μελέτη της παραμόρφωσης της περιοχής αποφεύγοντας τα μοντέλα παρεμβολής και τα συνεπαγόμενα σφάλματα. Η μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής συνίσταται στην αξιολόγηση των ομαλοποιημένων πεδίων ταχυτήτων που προσδιορίστηκαν, την απεικόνισή τους σε διάφορους συνδυασμούς με τανυστές ανηγμένης παραμόρφωσης και τον εντοπισμό των πιθανών πόλων στροφής. Για την εκτίμηση του πόλου στροφής κατά Euler αναπτύχθηκε ένα λογισμικό που παρέχει τη δυνατότητα εποπτικών μέσων ώστε να διευκολύνονται οι δοκιμές κατά τη διαδικασία αναζήτησης της λύσης που ικανοποιεί στατιστικά καλύτερα τα δεδομένα.

Ο προσδιορισμός των πεδίων ταχυτήτων προϋποθέτει την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων (GPS ή άλλων) και την επίλυση των δικτύων κάθε εποχής σε ενιαίο χωροχρονικό Σύστημα Αναφοράς, γεγονός που επιτρέπει την εξάλειψη συστηματικών σφαλμάτων.

Ένα από τα στάδια της παρούσας εργασίας ήταν η συλλογή των δεδομένων, η ταξινόμηση τους και η ενοποίηση του συστήματος αναφοράς έτσι ώστε τα τελικά αποτελέσματα να είναι απαλλαγμένα κατά το δυνατόν, από τέτοιου είδους συστηματικά σφάλματα. Στη περίπτωση των μόνιμων σταθμών παρά τη διαφορά των συστημάτων αναφοράς και το ότι χρησιμοποιήθηκε διαφορετική έκδοση του ίδιου προγράμματος, καθώς και διαφορετική πυκνότητα στις λύσεις (πενθήμερες και μονοήμερες), οι διαφορές στις τελικές ταχύτητες που εκτιμούνται είναι πολύ μικρές, της τάξης των χιλιοστών.

Οι τελικές ταχύτητες των σημείων της περιοχής ως προς σταθερή Ευρώπη έχουν διεύθυνση Νοτιοδυτική και μέγεθος περίπου 2-3 cm/yr που αυξάνει από Βορρά προς Νότο. Η διεύθυνση και το μέτρο των διανυσμάτων συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα των

Clarke et al. (1998), Davies et al. (1997) για την ίδια περιοχή.

Η παραμόρφωση για την ευρύτερη περιοχή όπως αυτή προκύπτει από το σύνολο των σημείων (Σχήμα 7.4) αλλά και από τα επιμέρους δίκτυα της Εύβοιας (Σχήμα 7.3) και των Αλκυονίδων - Αταλάντης - Πάρνηθας (Σχήμα 7.2) είναι παρόμοια. Αυτή η εικόνα είναι αναμενόμενη δεδομένου ότι το δίκτυο της Εύβοιας έχει τη μεγαλύτερη χωροχρονική πυκνότητα και επηρεάζει άμεσα τα μεγέθη των τανυστών. Έτσι φαίνεται να υπάρχει επιμήκυνση σε διεύθυνση BBA - NNΔ και συμπίεση ΔΒΔ - ANA, εικόνα συμβατή με την παραμόρφωση όπως αυτή προκύπτει από επίγεια γεωδαιτικά δεδομένα από τους Veis et al. (1992). Οι ερευνητικές εργασίες που αφορούν δορυφορικά δεδομένα αναφέρονται σε άλλη έκταση, οπότε δεν μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι, κατά την λεπτομερέστερη ανάλυση του πεδίου ταχυτήτων (Σχήμα 6.23) διαγράφεται μια ζώνη πιθανής ασυνέχειας. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην κατάτμηση της περιοχής σε δύο τμήματα (Σχήμα 7.5). Έτσι το βόρειο τμήμα (Στερεά) φαίνεται να επιμηκύνεται με μικρότερους ρυθμούς από το Νότιο τμήμα της Στερεάς και της Εύβοιας σε διεύθυνση BBA - NNΔ, ενώ συμπιέζεται ΔΒΑ - ANA σε αντίθεση με το Νότιο τμήμα (Στερεάς) το οποίο φαίνεται να επιμηκύνεται κατά κύριο λόγο σε διεύθυνση ΒΒΔ - NNA.

Διερευνώντας την πιθανή περαιτέρω διαφοροποίηση της κινηματικής συμπεριφοράς της περιοχής, παίρνοντας υπ' όψη την προοδευτική αλλαγή προσανατολισμού των ρηγμάτων και την αντίστοιχη σεισμικότητα (Parouliou et al. 2006) διαχωρίστηκε η περιοχή σε 3 ζώνες (Σχήμα 7.6). Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αύξηση των μεγεθών των τανυστών από εκείνα του μοντέλου των δύο τμημάτων (Σχήμα 7.5). Τα μεγέθη των τανυστών και των τριών ζωνών είναι σχεδόν ίδια, ενώ μικρές αποκλίσεις εμφανίζονται στον προσανατολισμό (Πίνακας 7.6). Στο συγκεκριμένο μοντέλο επειδή τα σημεία DION, NOA1, CG58 του νοτίου ορίου της περιοχής, δείχνουν να έχουν διαφορετική συμπεριφορά (Σχήμα 6.24) εξαιρέθηκαν από τους υπολογισμούς. Παράλληλα λαμβάνοντας υπ' όψη τη ζώνη ασυνέχειας (Σχήμα 6.23) που αναφέρθηκε και μετά από αρκετές δοκιμές αναθεωρήθηκαν τα νοητά όρια των τριών ζωνών (Σχήμα 7.9).

Στο σχήμα αυτό η κεντρική ζώνη που διασχίζει Στερεά και Εύβοια, παρουσιάζει μη-δενικό τανυστή παραμόρφωσης αναδεικνύοντας ότι η ζώνη αυτή της πιθανής ασυνέχειας, φαίνεται να είναι μεταβατική για την παραμόρφωση της περιοχής. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται από την διαφορά που παρουσιάζει η παραμόρφωση στο Βόρειο και Νότιο τμήμα αντίστοιχα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των Σχημάτων 7.5 και 7.9 όπου διαπιστώνεται ότι οι τανυστές του Βορείου και του Νοτίου τμήμα-

τος (Σχήμα 7.5) είναι σχεδόν όμοιοι με τους αντίστοιχους των τριών ζωνών. Με άλλα λόγια φαίνεται ότι η επιλογή των σημείων που συμπεριλαμβάνονται στην κεντρική ζώνη της πιθανής ασυνέχειας είναι ρεαλιστική. Μεταξύ των δοκιμών που έγιναν ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση που αφαιρέθηκαν τα σημεία της Εύβοιας (Σχήμα 7.8). Έτσι η εικόνα της παραμόρφωσης είναι διαφορετική για την Βόρεια και Κεντρική ζώνη (Σχήμα 7.9), όπου η παρουσία ή μη των σημείων της Εύβοιας στις δύο αυτές ζώνες επιδρά αντιστρόφως στα μεγέθη του τανυστή. Αντίθετα η Νότια ζώνη φαίνεται να παραμένει σχεδόν ίδια, κάτι που μάλλον υποστηρίζει την ιδέα ότι το τμήμα της Εύβοιας από την Χαλκίδα και νοτιότερα ακολουθεί την κίνηση της Νότιας Στερεάς.

Η περιοχή μελέτης διατρέχεται εγκάρσια από διάφορα συστήματα ρηγμάτων. Με αυτό το κριτήριο, έγινε κατάτμηση των 3 ζωνών σε 6 τμήματα, ώστε να διερευνηθεί η μεταβολή της παραμόρφωσης από δυτικά προς ανατολικά (Σχήμα 7.10). Από την κατάτμηση αυτή προκύπτει ότι υπάρχει εμφανής αλλαγή της παραμόρφωσης από δυτικά προς ανατολικά. Έτσι ενδεικτικά η Βόρεια ζώνη διαχωρίστηκε σε τρία τμήματα (Σχήμα 7.11) όπου παρατηρείται ότι το Β. τμήμα της Εύβοιας επιμηκύνεται με προσανατολισμό ΒΒΑ, δηλαδή περισσότερο προς τα ανατολικά, από τον αντίστοιχο των δύο τμημάτων της Στερεάς που παρουσιάζουν περίπου την ίδια εικόνα ως προς την παραμόρφωση τους (Σχήματα 7.10, 7.11).

Στην Εύβοια δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για το νότιο τμήμα, παρατηρείται όμως σημαντική διαφορά μεταξύ της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας. Το Βόρειο τμήμα παρουσιάζει σχεδόν ίδια συμπίεση σε διεύθυνση περίπου Α - Δ, ενώ ο ρυθμός παραμόρφωσης του είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν του Κεντρικού τμήματος. Μεταξύ Βορείου και Κεντρικού τμήματος παρατηρείται διαφορά προσανατολισμού, της τάξης των 20°.

Εστιάζοντας στην περιοχή του Ευβοϊκού Κόλπου (Βορείου και Νοτίου, Σχήμα 7.13) προκύπτει ότι η παραμόρφωση ακολουθεί την ίδια περίπου διεύθυνση με αυτήν που παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή (Σχήματα 7.10, 7.11). Το ίδιο περίπου αποτέλεσμα παρατηρείται και όταν ο υπολογισμός γίνεται χρησιμοποιώντας ταχύτητες αποκλειστικά από τα σημεία κατά μήκος της ακτογραμμής (Σχήμα 7.14). Εξ άλλου δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ του Βορείου και του Νοτίου τμήματος της τάφρου του Ευβοϊκού Κόλπου.

Ο ρυθμός της συμπίεσης είναι στατιστικά ασήμαντος σε αντίθεση με αυτόν της επιμήκυνσης που είναι κάθετη στο ίχνος της τάφρου, με μέγεθος της τάξης των 0.06-0.10 ppm/yr. Η τιμή αυτή είναι συμβατή με τον γεωτεκτονικά προσδιορισμένο ρυθμό ανοίγ-

ματος της τάφρου (1-2 mm/yr), αν θεωρηθεί σαν μέσος εύρος του Ευβοϊκού τα 20 km (Clarke et al. 1998, Goldsworthy and Jackson 2001).

Στην ευρύτερη περιοχή των Αλκυονίδων και του Καπαρελλίου (Σχήμα 7.15) παρατηρείται ότι δεν υπάρχει συμπίεση και ότι η παραμόρφωση είναι συμβατή με αυτήν που παρατηρείται και στην ευρύτερη περιοχή. Στη συνέχεια εξετάζοντας μόνο τα στοιχεία από το δίκτυο του Καπαρελλίου που ιδρύθηκε ειδικά για την παρακολούθηση της κινηματικής συμπεριφοράς του ομώνυμου ρήγματος επιβεβαιώνεται το προηγούμενο συμπέρασμα (Σχήμα 7.16). Παρατηρείται πολύ μικρή συμπίεση, ενώ η επιμήκυνση έχει την ίδια περίπου διεύθυνση και μέγεθος με αυτήν της ευρύτερης περιοχής (Marinou et al. 2013).

Η περιοχή της Αταλάντης (Σχήμα 7.18) επιμηκύνεται σε διεύθυνση περίπου Β - Ν και συνθλίβεται σε διεύθυνση περίπου Α - Δ. Η εικόνα προσομοιάζει σε αυτήν που παρατηρείται στον τανυστή παραμόρφωσης του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου (Σχήματα 7.11, 7.14). Ενώ στο Σχήμα 7.19 με χρήση μόνο των σημείων που είναι πολύ κοντά στο ρήγμα μπορεί να παρατηρηθεί αλλαγή στο είδος της παραμόρφωσης από αυτήν της ευρύτερης περιοχής (Σχήματα 7.9, 7.13, 7.14). Επειδή τα σημεία είναι τυχαία επιλεγμένα βάσει της χωρικής τους κατανομής και εγγύτητας στο ρήγμα, χωρίς να έχει εξεταστεί κανένα γεωλογικό κριτήριο, τα συμπεράσματα δεν μπορούν να συσχετιστούν απ' ευθείας με το ρήγμα. Ο αριθμός των διαθέσιμων σημείων γύρω από το ρήγμα της Πάρνηθας δεν ήταν επαρκής για να διεξαχθεί το οποιοδήποτε συμπέρασμα στη συγκεκριμένη περιοχή.

Όσον αφορά την διερεύνηση της εικόνας που παρέχει η εφαρμογή των πόλων στροφής η Πελοπόννησος φαίνεται να κινείται περίπου προς το Νότο με ελάχιστη δεξιόστροφη τάση ως προς την Στερεά και την Εύβοια χωρίς μεγάλες διαφοροποιήσεις στην κίνηση της (Σχήμα 8.1).

Κατά τον υπολογισμό του πόλου στροφής από τις ταχύτητες της Πελοποννήσου προκύπτει το πεδίο εκτιμώμενων ταχυτήτων της Στερεάς Ελλάδας - Εύβοιας (Σχήμα 8.2). Η Στερεά φαίνεται να έχει μια αργή δεξιόστροφη κίνηση σε σχέση με την Πελοπόννησο. Η κίνηση των σημείων από ανατολικά προς δυτικά διαφοροποιείται με αύξηση τόσο σε μέγεθος, όσο και σε προσανατολισμό. Ο προσανατολισμός της παραμόρφωσης δείχνει να αλλάζει στην Β. Εύβοια όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως (σελ. 174). Τα αποτελέσματα συμφωνούν ως προς την φορά της κίνησης με αυτά που παρουσιάζουν οι Avallone et al. (2004) αλλά διαφοροποιούνται ως προς την τάξη μεγέθους της γωνιακής ταχύτητας, πράγμα αναμενόμενο επειδή στη δική τους εργασία συμπεριλαμβάνεται μόνο ο Κορινθιακός Κόλπος ο οποίος, όπως είναι γνωστό υπόκειται σε μεγάλη

παραμόρφωση και δεν συμπεριλαμβάνονται όλα τα σημεία της Στερεάς και της Εύβοιας.

Στην περίπτωση που ο πόλος στροφής αφορά τα σημεία που βρίσκονται στην Κεντρική και Νότια Στερεά Ελλάδα και την Κεντρική και Νότια Εύβοια (Σχήμα 8.3), τα σημεία οριοθετούνται από την αλλαγή της συμπεριφοράς του πεδίου μετακινήσεων (Σχήμα 6.23). Εδώ παρατηρείται μείωση ταχυτήτων από τον Β. Κορινθιακό προς την Βοιωτία και αύξηση ταχυτήτων από τον Νότο προς τον Βορρά. Η κινηματική του Νότιου Κορινθιακού, είναι διαφορετική από αυτήν του Βόρειου επιβεβαιώνοντας τα ήδη γνωστά για την παραμόρφωση που συντελείται σε αυτή την τάφρο. Τα νοτιότερα σημεία της Στερεάς (3) κρίθηκε σκόπιμο να παραλειφθούν από τον υπολογισμό του πόλου λόγω διαφοροποίησης της κινηματικής τους εικόνας.

Αντίθετα όταν το πεδίο ταχυτήτων υπολογίζεται από πόλο στροφής που προκύπτει από τις μετακινήσεις της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας (Σχήμα 8.4) παρατηρείται ότι η τελική γωνιακή ταχύτητα είναι σχετικά μεγάλη. Για την Νότια Στερεά δεν φαίνεται να υπάρχει κινηματικά ομοιόμορφη συμπεριφορά σε αντίθεση με τον Νότιο Κορινθιακό που παρουσιάζει συστηματική. Εμφανής είναι η διαφοροποίηση στις ταχύτητες των τριών σημείων στα Νότια της Αττικής (DION, NOA1, CG58). Με εξαίρεση τα σημεία της Εύβοιας και του Νότιου τμήματος της Αττικής οι ταχύτητες είναι πολύ μικρές για να γίνει κάποια περαιτέρω εκτίμηση για την κινηματική της περιοχής.

Κατά τον υπολογισμό του εκτιμώμενου πεδίου των ταχυτήτων της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας (Σχήμα 8.5) όπως αυτό υπολογίζεται από πόλο στροφής με αξιοποίηση των ταχυτήτων της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας παρατηρείται αντίστοιχη εικόνα με αυτήν του Σχήματος 8.4.

Ο πόλος στροφής που προκύπτει από τα Βορειοανατολικά σημεία της περιοχής, τα οποία φαίνεται να έχουν ομοιόμορφη κινηματική συμπεριφορά, δίνει πεδίο εκτιμώμενων μετακινήσεων, που επιβεβαιώνει το άνοιγμα του Κορινθιακού Κόλπου και την δεξιόστροφη στροφή της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας σε σχέση με την Βόρεια (Σχήματα 6.17, 7.7, 7.9).

Οι Goldsworthy et al. (2002), Floyd et al. (2010) χρησιμοποιώντας άλλα αρχικά δεδομένα υποστηρίζουν πως η περιοχή ανάμεσα στον Ευβοϊκό και τον Κορινθιακό Κόλπο συμπεριφέρεται ενιαία το οποίο δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Για να τεκμηριωθεί η παρουσία της κινηματικής ανομοιομορφίας που υποστηρίζεται από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα απαιτείται πυκνότερο δίκτυο με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στο Βόρειο τμήμα της Στερεάς.

Είναι προφανές ότι η αξιοποίηση και αξιολόγηση τόσο της ήδη διαθέσιμης, όσο και της πιθανά μελλοντικής γεωδαιτικής πληροφορίας από επιστήμονες των συγγενών κλάδων, θα συμβάλλει στην ερμηνεία της τεκτονικής συμπεριφοράς της περιοχής.

9.2 Προτάσεις

Η μελέτη των επιφανειακών παραμορφώσεων σε μια περιορισμένη περιοχή όπου είναι αναγκαία η μεγάλη πυκνότητα σημείων για τον εντοπισμό μεταβολών της είναι σκόπιμο να γίνεται με συνδυασμό μόνιμων και τοπικών δικτύων. Τόσο για οικονομικούς, όσο και για τεχνικούς λόγους, είναι πρακτικά ανέφικτη η ύπαρξη μόνιμων σταθμών συνεχούς καταγραφής δεδομένων σε όλα τα σημεία ενδιαφέροντος.

Με δεδομένο την πρόσφατη σεισμική συμπεριφορά της Αττικής αλλά και την ανάλογη διαπιστωμένη του Κορινθιακού Κόλπου καθώς και το γεγονός ότι η περιοχή είναι η πιο πυκνοκατοικημένη της Ελλάδας, η συστηματική παρακολούθηση της τεκτονικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής κρίνεται σημαντική. Έτσι στα υπάρχοντα τοπικά δίκτυα καθώς και των μόνιμων σταθμών παρακολούθησης της περιοχής θα πρέπει να γίνουν πυκνώσεις σύμφωνα με την γεωτεκτονική της εικόνα, ώστε η χωροχρονική κατανομή των δεδομένων που θα συλλέγονται να επιτρέπει αξιόπιστη εκτίμηση του μεγέθους της μεταβολής του πεδίου ταχυτήτων.

Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετά από τα σημεία των δικτύων της εργασίας συνδυάζοντάς τα με τριγωνομετρικά της ΓΥΣ ή και με σημεία που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν από άλλες εργασίες. Τα δεδομένα των τοπικών δικτύων θα πρέπει να αφορούν τουλάχιστον 3 περιόδους παρατηρήσεων, ώστε συνεκτιμώμενα με τα μέχρι τώρα αποτελέσματα, να συμβάλλουν ουσιαστικά στην αποσαφήνιση του φαινομένου. Τέτοιου είδους συνδυασμοί τοπικών δικτύων και μόνιμων σταθμών παρακολούθησης μπορούν να αξιοποιηθούν και για όλα τα επιμέρους ρήγματα Πάρνηθας, Αταλάντης, Αλκυονίδων κ.λ.π.

Όσον αφορά την περιοχή της ζώνης της πιθανής τεκτονικής ασυνέχειας που ανιχνεύεται στην εργασία αυτή, είναι κρίσιμη η περαιτέρω διερεύνηση και επιβεβαίωσή της με χρήση επιστημονικών εργαλείων καθώς και επιτόπια ερεύνα και συλλογή παρατηρήσεων πεδίου από επιστήμονες συγγενών κλάδων.

Όσον αφορά τη συνεισφορά της Δορυφορικής Γεωδαισίας, χρήσιμη θα ήταν η πυκνωση του δικτύου, πιθανά και με κάποιους μόνιμους σταθμούς, και η για αρκετό διά-

στημα συστηματική παρακολούθηση του πεδίου μετακινήσεων.

Τέλος θα ήταν σκόπιμο να μελετηθεί η τεκτονική συμπεριφορά της περιοχής με πιο σύνθετα κινηματικά μοντέλα, ενώ ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η σύγκριση της γεωδαιτικής ανηγμένης παραμόρφωσης με την αντίστοιχη σεισμική.

Παραρτήματα

Α΄ Πίνακες

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
	(m)					
ARKI	4583365.588	1948696.943	3971175.063	0.0001	0.0000	0.0001
DION	4595216.449	2039452.960	3912626.826	0.0002	0.0001	0.0001
EB00	4583364.671	1948696.314	3971176.459	0.0002	0.0001	0.0001

Πίνακας Α΄.1: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 των μόνιμων σταθμών του τοπικού δικτύου στην εποχή 1997.76

Table A΄.1: Cartesian coordinates of the local network's permanent stations in ITRF2000 at the epoch 1997.76

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
	(m)					
2400	4597863.593	1938509.058	3959991.208	0.0003	0.0001	0.0002
2700	4563037.510	1980600.801	3978750.184	0.0005	0.0003	0.0005
2800	4589879.488	1967399.846	3955033.796	0.0005	0.0002	0.0004
3400	4597929.404	1972797.476	3942758.749	0.0005	0.0003	0.0005
3500	4585749.342	1997779.316	3944379.232	0.0003	0.0002	0.0003
3600	4571812.442	1996184.876	3961739.305	0.0004	0.0002	0.0004
3801	4552114.900	2037147.519	3963188.381	0.0007	0.0003	0.0006
4100	4579632.045	2014445.420	3943140.970	0.0002	0.0001	0.0002
4900	4619102.085	1980972.583	3914066.208	0.0006	0.0003	0.0006
5000	4607401.236	1989498.779	3924138.913	0.0006	0.0003	0.0005
5200	4574393.822	2033129.081	3939302.392	0.0007	0.0004	0.0006
5500	4569149.835	2052266.620	3935686.828	0.0007	0.0003	0.0005
6400	4647892.711	1967179.582	3887940.796	0.0004	0.0002	0.0004
CH00	4647810.963	1936368.399	3903597.153	0.0003	0.0001	0.0002
CK00	4644625.219	1957928.500	3895847.326	0.0004	0.0002	0.0004
CM00	4620304.423	1957004.699	3924374.271	0.0003	0.0001	0.0002
CN00	4616424.721	1953711.376	3931560.958	0.0003	0.0001	0.0002
CP00	4617908.561	1942020.755	3935945.341	0.0005	0.0002	0.0004
CQ00	4610013.694	1944405.691	3943029.040	0.0009	0.0004	0.0007
CS00	4617086.795	1917831.011	3949180.190	0.0007	0.0003	0.0006
EC00	4585706.244	1967547.359	3959602.379	0.0005	0.0003	0.0004
ED00	4594247.150	1954347.759	3956666.393	0.0005	0.0002	0.0004
EE00	4586663.167	1985080.984	3949794.550	0.0004	0.0002	0.0004
EF05	4593547.113	1988773.905	3940825.497	0.0003	0.0001	0.0002
EG00	4606465.680	1977620.284	3930748.551	0.0002	0.0001	0.0002
EH00	4589899.563	2015760.699	3930480.911	0.0005	0.0002	0.0004
EJ00	4571844.321	2016289.356	3951201.359	0.0002	0.0001	0.0002
EK00	4576273.214	1990168.210	3959051.810	0.0008	0.0004	0.0007
EL00	4560432.699	2001465.612	3971495.085	0.0003	0.0001	0.0002
EM00	4571473.882	1983354.314	3968236.904	0.0005	0.0002	0.0004
EN00	4572626.394	1971835.129	3972460.912	0.0005	0.0003	0.0005
EO00	4574954.256	1951420.234	3980383.239	0.0017	0.0015	0.0013
TR00	4684774.988	1926595.352	3864292.940	0.0009	0.0004	0.0008
V000	4621884.275	1921702.202	3940613.947	0.0007	0.0004	0.0007
X002	4644367.503	1912393.444	3917944.447	0.0007	0.0003	0.0006

Πίνακας Α΄.2: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Α τάξης στην εποχή 1997.76

Table A΄.2: Cartesian coordinates of the first order subnetwork in ITRF2000 at the epoch 1997.76

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
(m)						
P077	4571123.927	2039100.485	3940101.604	0.0031	0.0020	0.0021
5204	4574408.267	2033118.713	3939295.429	0.0053	0.0029	0.0028
2000	4604106.506	1918649.712	3962297.047	0.0011	0.0005	0.0010
2747	4595236.938	1950642.060	3958295.452	0.0073	0.0031	0.0063
P026	4584418.379	1951864.672	3968455.238	0.0013	0.0005	0.0010
P220	4599187.217	1937575.448	3958734.838	0.0017	0.0010	0.0016
P273	4570766.995	2052369.603	3933980.460	0.0036	0.0014	0.0025
P345	4567102.862	2048125.155	3940516.479	0.0025	0.0012	0.0021
P373	4598136.602	2002374.502	3928046.081	0.0023	0.0009	0.0017
P390	4567880.806	1971622.341	3978291.749	0.0031	0.0013	0.0024
P450	4590502.048	1942337.351	3966791.483	0.0024	0.0010	0.0018
P490	4564841.040	1974511.122	3980369.133	0.0025	0.0009	0.0019
1228	4619139.794	1945223.764	3933468.115	0.0033	0.0017	0.0029
1700	4556996.759	1969383.053	3991140.120	0.0008	0.0004	0.0007
2100	4591931.372	1930877.852	3971480.554	0.0012	0.0005	0.0009
2600	4571271.311	1972601.821	3974038.399	0.0014	0.0006	0.0011
3700	4567938.156	2006907.458	3960889.955	0.0013	0.0006	0.0011
3800	4552114.884	2037147.513	3963188.382	0.0009	0.0004	0.0007
4600	4615566.503	1961954.919	3927646.177	0.0013	0.0006	0.0012
5100	4599894.556	2004287.457	3925360.459	0.0012	0.0006	0.0010
5300	4588486.697	2028895.832	3925877.648	0.0011	0.0005	0.0009
5800	4610054.570	2015493.617	3907135.626	0.0011	0.0005	0.0009
KNIM	4592218.314	1930955.703	3971126.566	0.0018	0.0007	0.0014
P017	4582996.747	2009928.956	3941193.427	0.0032	0.0022	0.0027
P018	4588264.457	1959870.895	3960101.721	0.0014	0.0006	0.0011
P023	4585463.771	1988937.238	3948921.996	0.0027	0.0012	0.0020
P024	4577378.256	1993180.309	3956112.162	0.0015	0.0007	0.0012
P025	4584291.650	1994856.801	3947310.167	0.0032	0.0014	0.0027
P027	4566033.714	1953485.685	3988771.418	0.0029	0.0017	0.0024
P033	4563714.097	1981689.189	3977516.541	0.0036	0.0020	0.0026
P039	4564296.138	1953670.264	3990596.435	0.0036	0.0018	0.0029
P067	4557395.308	1974499.187	3988280.497	0.0029	0.0015	0.0026
P094	4603145.790	1964118.864	3940930.249	0.0033	0.0012	0.0025
P107	4585870.241	2020825.174	3932472.890	0.0019	0.0008	0.0016
P112	4593868.504	1984219.649	3941711.996	0.0019	0.0008	0.0014
P115	4572568.256	1962823.046	3976833.470	0.0012	0.0005	0.0010
P119	4598809.161	1954544.453	3950716.329	0.0038	0.0019	0.0026

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
	(m)					
	<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>					
P314	4572719.641	1976332.625	3970346.679	0.0042	0.0024	0.0032
P321	4556458.378	2038463.836	3957656.249	0.0060	0.0024	0.0035
P327	4606927.037	1969355.461	3934315.546	0.0028	0.0012	0.0021
P341	4561600.547	1971351.562	3985658.349	0.0073	0.0102	0.0051
P354	4561608.803	1962399.925	3989909.573	0.0014	0.0007	0.0013
P387	4605901.319	1979066.793	3930763.826	0.0017	0.0007	0.0014
P395	4610571.086	1943127.110	3943128.451	0.0024	0.0010	0.0018
P402	4609993.738	1966885.015	3932095.165	0.0042	0.0029	0.0033
P429	4607618.578	1943147.732	3946599.002	0.0029	0.0013	0.0022
P449	4559034.898	2024245.060	3962160.555	0.0025	0.0024	0.0020
P514	4563200.317	1963039.886	3988003.836	0.0031	0.0014	0.0025
P519	4614772.229	1928150.696	3945745.654	0.0034	0.0019	0.0030
P528	4609473.709	1929864.997	3951077.612	0.0032	0.0013	0.0025
P592	4620945.268	1945897.672	3930001.853	0.0023	0.0012	0.0019
1500	4577903.785	1938012.017	3982736.940	0.0018	0.0008	0.0017
CG00	4644473.057	1937384.938	3906731.246	0.0012	0.0005	0.0010
P120	4602388.247	1979402.079	3934266.597	0.0031	0.0011	0.0023
P125	4579530.454	2019317.825	3940599.468	0.0031	0.0013	0.0022
P133	4595547.368	1967970.162	3947888.655	0.0019	0.0008	0.0016
P144	4560295.473	2036312.964	3954080.154	0.0041	0.0014	0.0026
P146	4567458.760	2041038.699	3943436.522	0.0033	0.0012	0.0020
P170	4608058.593	1955753.804	3939480.752	0.0033	0.0014	0.0027
P189	4604667.610	1942011.806	3950177.984	0.0026	0.0011	0.0020
P195	4588907.597	1997183.834	3941082.895	0.0027	0.0012	0.0024
P209	4591115.761	1952714.920	3960635.248	0.0025	0.0010	0.0018
P211	4621986.762	1925788.917	3937999.230	0.0028	0.0012	0.0022
P215	4569923.960	2008074.364	3957495.898	0.0029	0.0014	0.0022
P216	4572230.976	2010795.045	3953473.065	0.0025	0.0015	0.0022
P219	4603534.994	1933409.649	3955735.159	0.0027	0.0011	0.0021
P257	4568337.362	2033008.673	3946724.156	0.0018	0.0008	0.0014
P307	4568675.522	2016703.100	3954715.391	0.0038	0.0099	0.0034
P631	4564152.843	1967353.133	3984980.889	0.0034	0.0028	0.0027
P651	4553109.958	2035039.601	3963759.010	0.0040	0.0024	0.0029
P662	4566279.645	2029534.472	3951513.235	0.0021	0.0008	0.0015
P705	4565589.806	1964060.662	3985083.008	0.0034	0.0015	0.0027
P761	4571115.281	1959349.159	3981266.562	0.0038	0.0025	0.0034
	<i>συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα</i>					

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
	(m)					
<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>						
P795	4680726.330	1939623.816	3862427.829	0.0031	0.0014	0.0026
P894	4610911.263	1947600.720	3941343.424	0.0029	0.0014	0.0024
P948	4616449.738	1921468.180	3947724.938	0.0028	0.0011	0.0023
P974	4613658.377	1959648.024	3932333.426	0.0042	0.0016	0.0034
PDOM	4616882.991	1958581.521	3927893.851	0.0029	0.0011	0.0020
Q096	4603441.716	1956212.310	3944494.352	0.0026	0.0011	0.0022
Q144	4570471.905	1951851.897	3984623.973	0.0033	0.0018	0.0029
Q273	4570942.351	2015869.043	3952479.921	0.0008	0.0004	0.0006
Q321	4609028.332	1977830.330	3927633.612	0.0032	0.0014	0.0026
Q327	4561300.457	2047765.246	3947342.362	0.0016	0.0008	0.0013

Πίνακας Α΄.3: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Β τάξης στην εποχή 1997.76

Table A΄.3: Cartesian coordinates of the second order subnetwork in ITRF2000 at the epoch 1997.76

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
(m)						
P529	4618739.152	1914845.024	3947586.184	0.2292	0.1350	0.1537
1005	4617805.093	1941353.528	3936560.685	0.1408	0.0563	0.1138
P001	4584903.039	2017909.022	3934907.472	0.0918	0.0377	0.0796
P038	4572872.216	1945385.045	3984949.870	0.1765	0.1138	0.1512
P056	4587359.158	2016863.314	3932685.829	0.1518	0.0715	0.0948
P084	4587879.567	2003914.253	3938699.070	0.0966	0.0386	0.0892
P088	4572654.890	1946301.295	3984835.693	0.3439	0.2034	0.1806
P092	4592566.821	2008163.451	3931128.815	0.0839	0.0422	0.0705
P096	4558146.232	1969057.297	3990157.017	0.1828	0.0779	0.0992
P103	4589891.665	2011598.164	3932505.150	0.0964	0.0373	0.0719
P112	4593868.251	1984219.583	3941711.760	0.4037	0.2190	0.2536
P115	4572565.278	1962822.681	3976830.074	0.0637	0.0336	0.0499
P328	4609158.812	1982558.419	3925123.072	0.0674	0.0363	0.0528
P331	4597394.020	1997010.476	3931552.125	0.0498	0.0264	0.0428
P349	4604578.636	1981330.133	3931125.395	0.1393	0.0536	0.0929
P365	4604947.397	1989463.060	3926623.719	0.0978	0.0495	0.0803
P387	4605900.890	1979066.464	3930763.608	0.1078	0.0560	0.0767
P431	4575657.164	1948597.045	3980770.894	0.1071	0.0498	0.0834
P501	4572067.242	1996572.758	3961272.773	0.1219	0.0564	0.1157
ARGS	4664986.841	1952963.772	3873902.121	0.1082	0.0444	0.0786
P137	4590967.772	2009903.050	3932174.055	0.1310	0.0515	0.1037
P184	4592254.835	1995258.777	3938153.884	0.2894	0.2345	0.1509
P196	4584247.037	2025398.441	3932159.409	0.1018	0.0557	0.0895
P212	4599090.212	1986059.215	3934899.110	0.0944	0.0355	0.0697
P222	4590542.506	2000850.575	3937378.806	0.1180	0.1189	0.1064
P238	4594423.817	2006957.603	3929820.245	0.1334	0.0531	0.1221
P721	4568523.815	2025741.430	3950979.231	0.1778	0.0532	0.1216
Q146	4594492.847	1990341.176	3937976.092	0.0755	0.0345	0.0669

Πίνακας Α΄.4: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Γ τάξης στην εποχή 1997.76

Table A΄.4: Cartesian coordinates of the third order subnetwork in ITRF2000 at the epoch 1997.76

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
	(m)					
ARKI	4583365.580	1948697.057	3971175.017	0.0001	0.0001	0.0001
DION	4595216.477	2039453.039	3912626.736	0.0002	0.0001	0.0001
4100	4579632.025	2014445.494	3943140.883	0.0004	0.0002	0.0003
CS00	4617086.759	1917831.097	3949180.154	0.0005	0.0003	0.0005
3600	4571812.413	1996184.956	3961739.241	0.0004	0.0002	0.0004
5200	4574393.829	2033129.162	3939302.305	0.0006	0.0003	0.0005
EM00	4571473.821	1983354.403	3968236.804	0.0008	0.0004	0.0007
CH00	4647810.999	1936368.489	3903597.058	0.0007	0.0003	0.0006
5500	4569149.837	2052266.690	3935686.720	0.0004	0.0002	0.0003
2800	4589879.463	1967399.936	3955033.731	0.0008	0.0003	0.0007
CQ00	4610013.660	1944405.751	3943028.962	0.0011	0.0005	0.0009
ED00	4594247.115	1954347.851	3956666.340	0.0005	0.0002	0.0004
V000	4621884.241	1921702.271	3940613.919	0.0007	0.0003	0.0006
2400	4597865.060	1938510.144	3959988.657	0.0054	0.0013	0.0035
CK00	4644625.172	1957928.548	3895847.163	0.0005	0.0002	0.0005
3500	4585749.344	1997779.407	3944379.163	0.0014	0.0006	0.0012
5000	4607401.511	1989498.972	3924139.062	0.0008	0.0004	0.0007
5204	4574408.306	2033118.795	3939295.353	0.0009	0.0004	0.0008
1700	4556996.797	1969383.197	3991140.140	0.0009	0.0004	0.0008
2100	4591931.292	1930877.936	3971480.487	0.0005	0.0003	0.0005
2700	4563037.497	1980600.920	3978750.136	0.0007	0.0003	0.0006
3400	4597929.394	1972797.559	3942758.696	0.0005	0.0003	0.0005
3800	4552111.407	2037142.582	3963193.614	0.0004	0.0002	0.0004
4600	4615566.519	1961955.001	3927646.132	0.0010	0.0004	0.0008
4900	4619102.084	1980972.654	3914066.113	0.0007	0.0003	0.0006
5100	4599894.596	2004287.542	3925360.402	0.0010	0.0005	0.0008
5300	4588486.765	2028895.942	3925877.607	0.0008	0.0004	0.0007
EL00	4560432.645	2001465.694	3971494.984	0.0006	0.0003	0.0005
EN00	4572626.363	1971835.231	3972460.853	0.0008	0.0004	0.0007
EO00	4574954.248	1951420.372	3980383.237	0.0005	0.0003	0.0005
P025	4584291.646	1994856.891	3947310.094	0.0009	0.0004	0.0008
P107	4585870.204	2020825.239	3932472.774	0.0009	0.0004	0.0008
P501	4572067.283	1996572.845	3961272.716	0.0025	0.0013	0.0025
6400	4647892.675	1967179.621	3887940.631	0.0007	0.0003	0.0005
1500	4577903.734	1938012.137	3982736.910	0.0009	0.0004	0.0008
CG00	4644473.005	1937384.981	3906731.095	0.0009	0.0004	0.0008
CM00	4620304.432	1957004.774	3924374.220	0.0007	0.0003	0.0005

συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
	(m)					
<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>						
CN00	4616424.713	1953711.437	3931560.903	0.0007	0.0003	0.0006
CP00	4617908.584	1942020.858	3935945.343	0.0006	0.0003	0.0005
EC00	4585706.211	1967547.443	3959602.313	0.0004	0.0002	0.0003
EE00	4586663.153	1985081.072	3949794.481	0.0006	0.0003	0.0005
EF05	4593547.090	1988773.984	3940825.415	0.0004	0.0002	0.0004
EG00	4606465.655	1977620.331	3930748.373	0.0009	0.0004	0.0008
EJ00	4571844.344	2016289.457	3951201.294	0.0004	0.0002	0.0003
EK00	4576273.188	1990168.300	3959051.744	0.0005	0.0002	0.0004
P133	4595547.390	1967970.263	3947888.622	0.0010	0.0004	0.0008
TR00	4684774.946	1926595.392	3864292.782	0.0003	0.0002	0.0003
VA64	4605599.141	1963313.089	3938594.142	0.0010	0.0005	0.0008
5301	4588478.994	2028900.773	3925885.699	0.0010	0.0005	0.0008
BASE	4579820.525	2020030.114	3939714.731	0.0012	0.0006	0.0011
CD00	4661660.814	1924282.453	3892693.946	0.0010	0.0005	0.0008
CJ00	4650774.515	1948963.468	3893765.175	0.0009	0.0004	0.0008
CO00	4622893.068	1954313.388	3922802.077	0.0010	0.0005	0.0008
CV00	4622080.815	1945068.261	3928852.853	0.0010	0.0005	0.0008
X715	4647937.217	1907017.880	3917488.040	0.0006	0.0003	0.0005
EB00	4583364.659	1948696.434	3971176.421	0.0008	0.0004	0.0007

Πίνακας Α΄.5: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Α τάξης στην εποχή 2005.76

Table A΄.5: Cartesian coordinates of the first order subnetwork in ITRF2000 at the epoch 2005.76

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
(m)						
3501	4585748.227	1997775.390	3944381.511	0.0050	0.0026	0.0042
4101	4579629.131	2014445.715	3943143.772	0.0055	0.0028	0.0045
4103	4579634.529	2014443.136	3943139.247	0.0061	0.0031	0.0056
5502	4569148.960	2052269.224	3935687.474	0.0061	0.0028	0.0047
2701	4563042.507	1980592.401	3978749.330	0.0036	0.0021	0.0041
2702	4563035.857	1980598.610	3978752.998	0.0062	0.0027	0.0052
2703	4563035.265	1980601.955	3978751.096	0.0036	0.0017	0.0036
CM01	4620294.454	1957008.483	3924382.619	0.0046	0.0020	0.0035
CQ01	4610010.927	1944401.235	3943036.138	0.0082	0.0039	0.0084
CO01	4622886.864	1954319.885	3922806.660	0.0062	0.0028	0.0058
CO02	4622893.631	1954323.984	3922796.031	0.0370	0.0126	0.0330
P220	4599187.224	1937575.546	3958734.801	0.0047	0.0016	0.0034
LOUT	4605901.605	1979066.978	3930762.961	0.0040	0.0027	0.0038
6402	4647890.089	1967182.302	3887941.623	0.0038	0.0018	0.0030
6403	4647895.068	1967177.658	3887939.119	0.0046	0.0020	0.0034

Πίνακας Α΄.6: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2000 του υποδικτύου Β τάξης στην εποχή 2005.76

Table A΄.6: Cartesian coordinates of the second order subnetwork in ITRF2000 at the epoch 2005.76

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
	(m)					
DION	4595216.476	2039453.003	3912626.779	0.0050	0.0026	0.0042
CG46	4615566.539	1961954.962	3927646.166	0.0055	0.0028	0.0045
CG33	4610013.774	1944405.772	3943029.085	0.0061	0.0031	0.0056
CG45	4620984.381	1948528.493	3928588.544	0.0061	0.0028	0.0047
CG49	4619102.037	1980972.592	3914066.099	0.0036	0.0021	0.0041
CG57	4613032.257	2000515.150	3911361.997	0.0062	0.0027	0.0052
CG58	4610054.644	2015493.675	3907135.603	0.0036	0.0017	0.0036
TH86	4593868.454	1984219.681	3941711.897	0.0046	0.0020	0.0035
CG36	4571812.456	1996184.921	3961739.263	0.0082	0.0039	0.0084
CG35	4585749.393	1997779.374	3944379.227	0.0062	0.0028	0.0058
P084	4587879.536	2003914.281	3938699.027	0.0370	0.0126	0.0330
CG44	4644472.963	1937384.926	3906731.092	0.0047	0.0016	0.0034
CG47	4633203.236	1961421.976	3907452.580	0.0040	0.0027	0.0038
TH15	4605901.314	1979066.819	3930763.747	0.0038	0.0018	0.0030
CG28	4589879.482	1967399.880	3955033.742	0.0046	0.0020	0.0034
CG25	4595358.995	1950490.575	3958135.905	0.0050	0.0026	0.0042
P133	4595547.360	1967970.202	3947888.610	0.0055	0.0028	0.0045
CG34	4597929.540	1972797.574	3942758.828	0.0061	0.0031	0.0056
G200	4604960.465	2004167.869	3919425.260	0.0061	0.0028	0.0047
64VA	4605599.187	1963313.079	3938594.197	0.0036	0.0021	0.0041
EE00	4586663.174	1985081.028	3949794.513	0.0062	0.0027	0.0052
107E	4585870.204	2020825.195	3932472.808	0.0036	0.0021	0.0041
KRKR	4599733.609	2019201.502	3918894.644	0.0062	0.0027	0.0052
G100	4601689.661	2020887.746	3914416.611	0.0010	0.0005	0.0008
CG51	4599894.549	2004287.482	3925360.402	0.0010	0.0005	0.0008
P331	4597394.014	1997010.510	3931552.073	0.0012	0.0006	0.0011
P450	4590502.043	1942337.396	3966791.439	0.0010	0.0005	0.0008
CG20	4604106.580	1918649.797	3962297.090	0.0009	0.0004	0.0008
CG29	4606396.468	1935360.691	3951352.065	0.0010	0.0005	0.0008
CG50	4607401.229	1989498.811	3924138.859	0.0010	0.0005	0.0008
CG53	4588486.699	2028895.869	3925877.588	0.0006	0.0003	0.0005
ARKI	4583365.604	1948697.000	3971175.037	0.0008	0.0004	0.0007

Πίνακας Α΄.7: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2001.5

Table A΄.7: Cartesian coordinates of the network Atalanti - Parnitha - Alkyonides in ITRF1996 at the epoch 2001.5

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
	(m)					
DION	4595216.481	2039453.015	3912626.762	0.0031	0.0020	0.0021
CG46	4615566.383	1961954.901	3927646.022	0.0053	0.0029	0.0028
CG33	4610013.680	1944405.734	3943028.997	0.0011	0.0005	0.0010
CG45	4620984.329	1948528.480	3928588.494	0.0073	0.0031	0.0063
CG49	4619102.078	1980972.623	3914066.128	0.0013	0.0005	0.0010
CG57	4613032.135	2000515.097	3911361.881	0.0017	0.0010	0.0016
CG58	4610054.598	2015493.651	3907135.557	0.0036	0.0014	0.0025
TH86	4593868.467	1984219.686	3941711.906	0.0025	0.0012	0.0021
CG36	4571812.431	1996184.922	3961739.245	0.0023	0.0009	0.0017
CG35	4585749.341	1997779.369	3944379.172	0.0031	0.0013	0.0024
P084	4587879.566	2003914.319	3938699.016	0.0024	0.0010	0.0018
CG44	4644472.979	1937384.961	3906731.106	0.0025	0.0009	0.0019
CG47	4633203.200	1961421.977	3907452.539	0.0033	0.0017	0.0029
TH15	4605901.311	1979066.817	3930763.737	0.0008	0.0004	0.0007
CG28	4589879.475	1967399.904	3955033.742	0.0012	0.0005	0.0009
CG25	4595358.983	1950490.588	3958135.890	0.0014	0.0006	0.0011
P133	4595547.342	1967970.205	3947888.588	0.0013	0.0006	0.0011
CG34	4597929.403	1972797.533	3942758.699	0.0009	0.0004	0.0007
G200	4604960.427	2004167.860	3919425.207	0.0013	0.0006	0.0012
64VA	4605599.125	1963313.063	3938594.146	0.0012	0.0006	0.0010
EE00	4586663.147	1985081.034	3949794.486	0.0011	0.0005	0.0009
107E	4585870.188	2020825.201	3932472.778	0.0011	0.0005	0.0009
KRKR	4599733.673	2019201.795	3918894.765	0.0018	0.0007	0.0014
G100	4601689.625	2020887.744	3914416.562	0.0032	0.0022	0.0027
CG51	4599894.564	2004287.499	3925360.404	0.0014	0.0006	0.0011
P331	4597394.062	1997010.539	3931552.098	0.0027	0.0012	0.0020
P450	4590502.079	1942337.438	3966791.470	0.0015	0.0007	0.0012
CG20	4604106.454	1918649.761	3962296.982	0.0032	0.0014	0.0027
CG29	4606396.350	1935360.656	3951351.971	0.0029	0.0017	0.0024
CG50	4607401.259	1989498.822	3924138.861	0.0036	0.0020	0.0026
CG53	4588486.715	2028895.887	3925877.590	0.0036	0.0018	0.0029

Πίνακας Α΄.8: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2002.84

Table A΄.8: Cartesian coordinates of the network Atalanti - Parnitha - Alkyonides in ITRF1996 at the epoch 2002.84

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
(m)						
107ER	4585870.207	2020825.265	3932472.724	0.0001	0.0003	0.0001
CG20	4604106.434	1918649.831	3962296.973	0.0003	0.0005	0.0001
CG28	4589879.436	1967399.965	3955033.676	0.0002	0.0005	0.0003
CG29	4606396.314	1935360.717	3951351.920	0.0003	0.0005	0.0005
CG34	4597929.383	1972797.598	3942758.553	0.0002	0.0003	0.0004
CG35	4585749.345	1997779.437	3944379.115	0.0002	0.0004	0.0005
CG44	4644473.031	1937385.022	3906731.055	0.0003	0.0007	0.0007
CG45	4620984.345	1948528.544	3928588.476	0.0001	0.0002	0.0006
CG46	4615566.492	1961955.013	3927646.078	0.0003	0.0006	0.0003
CG47	4633203.213	1961422.030	3907452.481	0.0003	0.0006	0.0007
CG49	4619102.039	1980972.658	3914066.024	0.0004	0.0007	0.0009
CG50	4607401.212	1989498.869	3924138.766	0.0003	0.0007	0.0004
CG51	4599894.550	2004287.554	3925360.322	0.0002	0.0004	0.0006
CG53	4588486.734	2028895.958	3925877.534	0.0001	0.0003	0.0035
CG57	4613032.128	2000515.164	3911361.804	0.0002	0.0004	0.0005
CG58	4610055.270	2015493.939	3907136.012	0.0001	0.0003	0.0012
G100	4601689.661	2020887.809	3914416.515	0.0001	0.0003	0.0007
G200	4604960.420	2004167.921	3919425.131	0.0002	0.0005	0.0008
KRKR	4599733.585	2019201.562	3918894.499	0.0004	0.0009	0.0008
P084	4587879.546	2003914.379	3938698.944	0.0003	0.0007	0.0005
P133	4595547.331	1967970.271	3947888.536	0.0003	0.0005	0.0006
P331	4597394.015	1997010.581	3931551.998	0.0002	0.0005	0.0005
P450	4590502.008	1942337.493	3966791.398	0.0002	0.0004	0.0004
TH15	4605885.396	1979058.918	3930748.960	0.0001	0.0003	0.0008
TH86	4593868.522	1984219.694	3941711.824	0.0001	0.0002	0.0006
VA64	4605599.150	1963313.128	3938594.113	0.0002	0.0005	0.0008

Πίνακας Α΄.9: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF1996 του δικτύου Αταλάντη - Πάρνηθα - Αλκυονίδες στην εποχή 2008.82

Table A΄.9: Cartesian coordinates of the network Atalanti - Parnitha - Alkyonides in ITRF1996 at the epoch 2008.82

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
(m)						
ARKI	4583365.565	1948697.030	3971175.032	0.0005	0.0003	0.0005
ACLA	4611905.316	1973533.792	3926609.096	0.0013	0.0007	0.0011
AGTR	4611515.506	1980044.844	3923977.025	0.0012	0.0006	0.0011
ERIT	4607577.871	1988081.538	3924366.521	0.0012	0.0006	0.0011
KAPA	4610408.534	1978107.824	3925854.795	0.0013	0.0007	0.0011
TAPS	4615322.519	1972969.835	3922914.792	0.0013	0.0007	0.0011
VILI	4611793.263	1986449.773	3920623.310	0.0012	0.0006	0.0010
DION	4595216.466	2039453.026	3912626.768	0.0005	0.0003	0.0005

Πίνακας Α΄.10: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2004.4

Table A΄.10: Cartesian coordinates of the Kaparelli network in ITRF2005 at the epoch 2004.4

CODE	X	Y	Z	RMS_x	RMS_y	RMS_z
(m)						
ARKI	4583365.559	1948697.046	3971175.015	0.0007	0.0004	0.0007
ACLA	4611905.308	1973533.806	3926609.075	0.0021	0.0011	0.0018
AGTR	4611515.493	1980044.854	3923976.998	0.0020	0.0011	0.0018
ALYK	4616899.740	1964064.630	3925497.868	0.0023	0.0012	0.0019
ASOP	4597473.644	1997616.032	3931076.572	0.0020	0.0010	0.0016
DAFN	4603445.483	1993876.459	3926358.778	0.0031	0.0017	0.0026
DFNL	4600042.713	1997412.477	3928250.455	0.0019	0.0010	0.0016
ERIT	4607577.863	1988081.549	3924366.505	0.0021	0.0011	0.0018
KALI	4597842.820	1991628.947	3933783.358	0.0021	0.0010	0.0017
KAPA	4610408.526	1978107.840	3925854.774	0.0021	0.0011	0.0018
TAPS	4615322.515	1972969.852	3922914.781	0.0021	0.0011	0.0018
VILI	4611793.269	1986449.793	3920623.300	0.0020	0.0010	0.0017
IGD1	4604626.369	2030196.483	3905963.001	0.0007	0.0004	0.0007

Πίνακας Α΄.11: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2005.36

Table A΄.11: Cartesian coordinates of the Kaparelli network in ITRF2005 at the epoch 2005.36

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
(m)						
ARKI	4583365.552	1948697.061	3971175.013	0.0004	0.0002	0.0004
NOA1	4599641.917	2034827.328	3909890.617	0.0004	0.0002	0.0004
ACLA	4611905.304	1973533.815	3926609.070	0.0017	0.0009	0.0014
AGTR	4611515.505	1980044.869	3923976.999	0.0012	0.0006	0.0010
ALYK	4616899.738	1964064.638	3925497.858	0.0014	0.0007	0.0012
ASOP	4597473.632	1997616.037	3931076.553	0.0012	0.0006	0.0010
DAFN	4603445.464	1993876.461	3926358.754	0.0016	0.0009	0.0015
DFNL	4600042.705	1997412.474	3928250.435	0.0011	0.0005	0.0009
ERIT	4607577.866	1988081.559	3924366.498	0.0009	0.0006	0.0011
KALI	4597842.816	1991628.951	3933783.355	0.0015	0.0007	0.0012
KAPA	4610408.527	1978107.846	3925854.768	0.0014	0.0008	0.0012
TAPS	4615322.520	1972969.861	3922914.771	0.0012	0.0007	0.0011
VILI	4611793.263	1986449.798	3920623.287	0.0012	0.0006	0.0010

Πίνακας Α΄.12: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2006.33

Table A΄.12: Cartesian coordinates of the Kaparelli network in ITRF2005 at the epoch 2006.33

CODE	X	Y	Z	RMS_X	RMS_Y	RMS_Z
(m)						
NOA1	4599641.939	2034827.356	3909890.595	0.0005	0.0003	0.0005
ACLA	4611905.276	1973533.823	3926609.026	0.0017	0.0007	0.0012
AGTR	4611515.486	1980044.880	3923976.960	0.0012	0.0008	0.0013
ALYK	4616900.194	1964064.856	3925498.238	0.0009	0.0005	0.0008
ERIT	4607577.859	1988081.578	3924366.463	0.0014	0.0007	0.0013
KAPA	4610408.514	1978107.860	3925854.736	0.0024	0.0012	0.0020
TAPS	4615322.513	1972969.880	3922914.748	0.0021	0.0010	0.0017
VILI	4611793.239	1986449.814	3920623.242	0.0017	0.0009	0.0015
ARK2	4583362.485	1948698.034	3971179.145	0.0004	0.0002	0.0004
ASOP	4597473.644	1997616.063	3931076.541	0.0022	0.0010	0.0018
DFNL	4600043.206	1997412.718	3928250.840	0.0011	0.0006	0.0009
DION	4595216.476	2039453.076	3912626.714	0.0004	0.0002	0.0004
KALI	4597842.814	1991628.976	3933783.315	0.0012	0.0006	0.0009
DAFN	4603445.467	1993876.487	3926358.720	0.0031	0.0017	0.0029

Πίνακας Α΄.13: Καρτεσιανές συντεταγμένες στο ITRF2005 του δικτύου του Καπαρελλίου στην εποχή 2008.79

Table A΄.13: Cartesian coordinates of the Kaparelli network in ITRF2005 at the epoch 2008.79

SITE	λ	φ	No.a	Timeinterval	v_E	v_N	σ_E	σ_N
	(degrees)							
A	22.4	38.64	9	1990-2001	-4.7	-11.6	0.7	1
B	22.26	38.47	9	1990-2001	-8.2	-8	1.6	2.1
C	22.18	38.32	10	1990-2001	-10.6	-11.7	1.6	2.4
C216	22.13	38.36	3	1991-2001	-14.7	-12.8	-	-
C075	22.24	38.36	4	1991-2001	-11.8	-14.2	3	1.2
CA	22.44	38.08	3	1993-2001	-14.6	-17.1	0.3	1.5
CB	22.44	38.01	2	1993-2001	-12.2	-23.7	1.3	0.8
CC	22.43	37.96	3	1993-2001	-11.5	-24.4	0.1	0.5
CD	22.43	37.85	4	1992-1995	-7.5	-25.1	3.9	1.3
CE	22.56	38.08	3	1993-2001	-14.8	-24.7	2.5	0.3
CF	22.54	38.05	2	1993-2001	-11.2	-20.1	0.1	0.9
CG	22.64	38.01	3	1993-1997	-12.8	-23.2	1	1.3
CH	22.62	37.97	5	1993-2001	-13.5	-24.8	1.5	0.8
CI	22.73	37.98	2	1993-1995	-13	-25.6	-	-
CJ	22.73	37.86	2	1993-1995	-13.6	-27.1	-	-
CK	22.86	37.89	3	1993-1997	-12.4	-24.2	0.2	0.2
CL	22.85	38.03	2	1993-1995	-13.7	-20.8	-	-
CM	22.96	38.22	3	1993-1997	-14.6	-17.9	1.7	0.6
CN	22.94	38.29	3	1993-1997	-10.2	-20.5	4.7	0.3
CP	22.81	38.34	5	1993-2001	-10.8	-16.7	1	1.4
CQ	22.87	38.43	5	1993-2001	-9.9	-17.7	0.5	0.8
CR	22.72	38.32	2	1993-1995	-13.1	-18.9	-	-
CR89	22.68	38.37	2	1993-2001	-10.1	-13.9	-	-
CS	22.56	38.49	4	1993-2001	-8.3	-12.9	0.1	0.5
CT	22.39	38.38	8	1992-2001	-9	-11.5	1.7	6.1
CT499	22.27	38.39	3	1993-2001	-10.8	-12.5	-	-
CU	22.28	38.35	5	1992-2001	-12.7	-10.9	5.7	4.1
CV	22.82	38.26	2	1993-1995	-7.4	-15.1	-	-
D	22.13	38.24	10	1990-2001	-7.6	-22.9	2.6	2.2
D004	22.06	38.28	4	1993-2001	-8.4	-18.6	2.6	5.8
DION	23.93	38.08	5	1995-2001	-11.8	-25.5	0.3	1.9
E	22.1	38.19	10	1990-2001	-10.5	-21.9	2.4	1.9
F	22.07	38.15	7	1990-2001	-12	-20.1	0.9	1.9
G	21.95	38.07	10	1990-2001	-12.2	-21.8	0.7	0.6
H	21.98	38.53	3	1991-2001	-7.8	-5.6	1.2	1.5
I	21.9	38.44	5	1991-2001	-9.6	-5.8	1.5	1.1
J	21.85	38.34	3	1991-2001	-6.7	-11.4	1.6	1.5

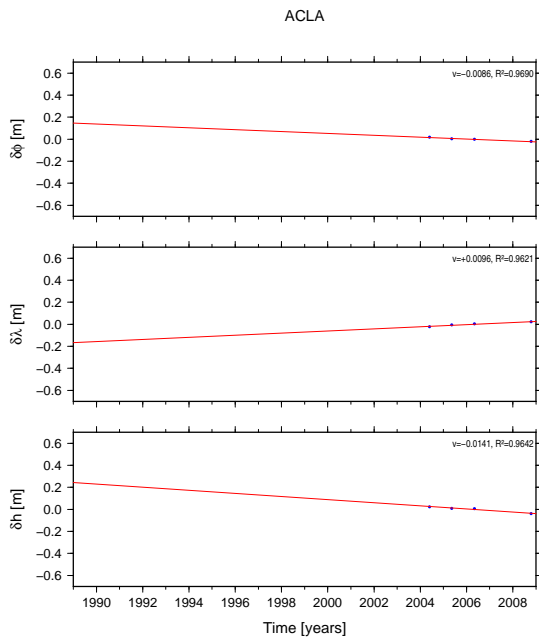
συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

SITE	λ	φ	No.a	Timeinterval	v_E	v_N	σ_E	σ_N
	(degrees)			(yr)	(mmyr ⁻¹)			
<i>συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα</i>								
K	21.89	38.26	5	1991-2001	-9.4	-21.6	2.1	1.3
L	21.81	38.1	3	1991-2001	-11.5	-21	0.4	0.3
M	22.02	38.41	4	1991-2001	-10.4	-8.7	0.8	4.5
N	21.94	38.33	4	1991-2001	-8.3	-18.2	0.1	0.2
N730	21.94	38.3	2	1991-2001	-8.9	-21.1	-	-
O	22.11	38.39	3	1991-2001	-9.5	-11.2	0.4	2.7
O106	22.07	38.37	3	1991-2001	-13.1	-11.3	-	-
P	22.03	38.26	3	1991-1995	-10	-22.7	-	-
P226	22.01	38.28	4	1991-2001	-6.7	-23	1.4	3.2
Q	21.97	38.23	4	1991-2001	-12.4	-22.2	1	0.8
R	21.95	38.19	4	1991-2001	-8.9	-25.3	1.2	0.3
S	22.41	38.41	6	1991-2001	-9	-11.9	2.7	1
T	22.24	38.18	7	1991-2001	-9.6	22.6	0.5	0.9
TR	22.35	37.52	3	1993-1997	-10.9	-22.4	0.5	0.4
U	22.19	38.13	7	1991-2001	-9.6	-22.8	1	0.8
U815	22.14	38.15	2	1995-2001	-11.7	-22.7	-	-
V	22.58	38.4	7	1991-2001	-9.1	-13.6	0.9	1
W	22.59	38.3	4	1991-2001	-10.8	-14.4	0.4	1.3
X	22.38	38.14	9	1991-2001	-11.5	-24.2	0.8	0.7
Y	22.56	38.1	4	1991-2001	-9.9	-23.2	0.6	0.2
Z	22.37	38.05	2	1993-2001	-10	-23.5	0.4	2.2

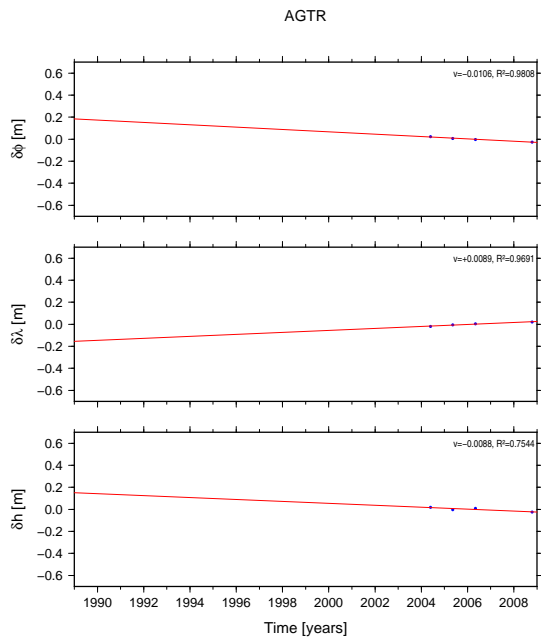
Πίνακας Α΄.14: Τεκτονικές ταχύτητες ως προς την Ευρώπη (Δίκτυο Κορινθιακού Κόλπου)

Table A΄.14: Tectonic Velocities with respect to a fixed Europe (Corinth Gulf Network)

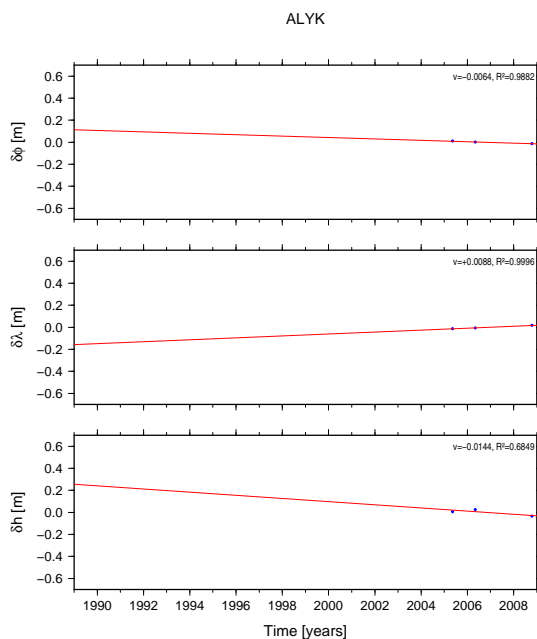
Β' Χρονοσειρές



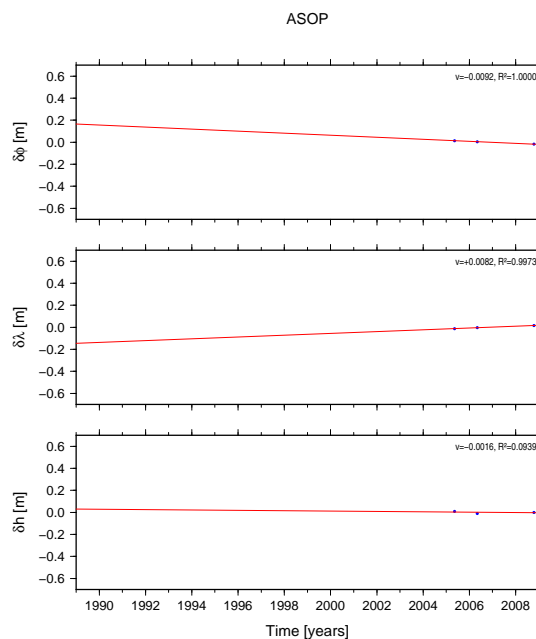
Σχήμα Β'.1: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ACLA
Figure B'.1: Tectonic displacement of site ACLA



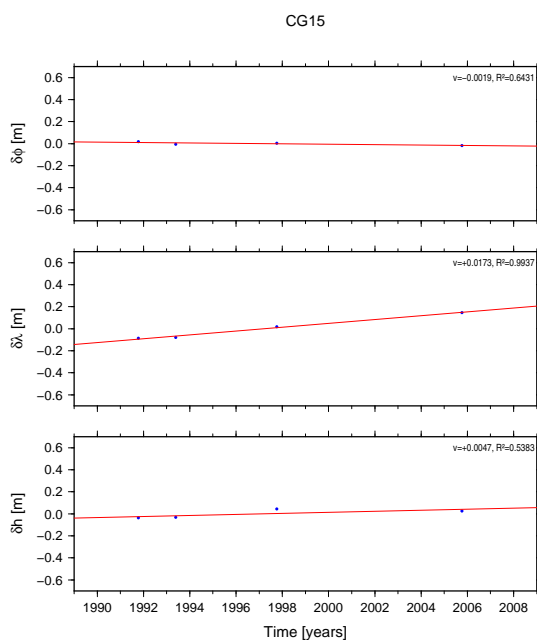
Σχήμα Β'.2: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο AGTR
Figure B'.2: Tectonic displacement of site AGTR



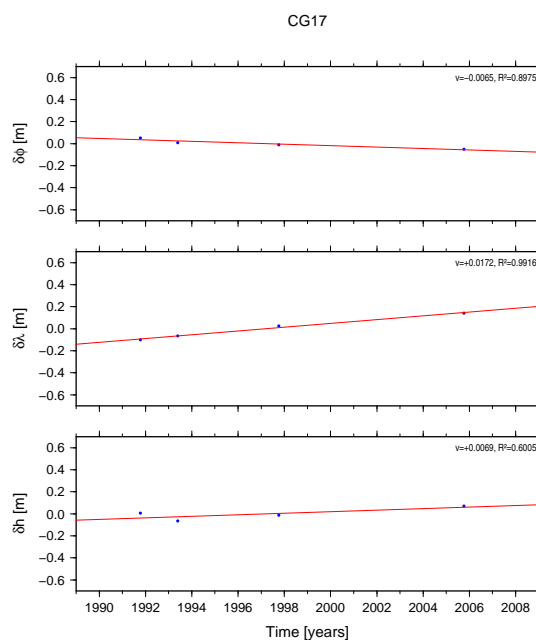
Σχήμα Β'.3: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ALYK
Figure B'.3: Tectonic displacement of site ALYK



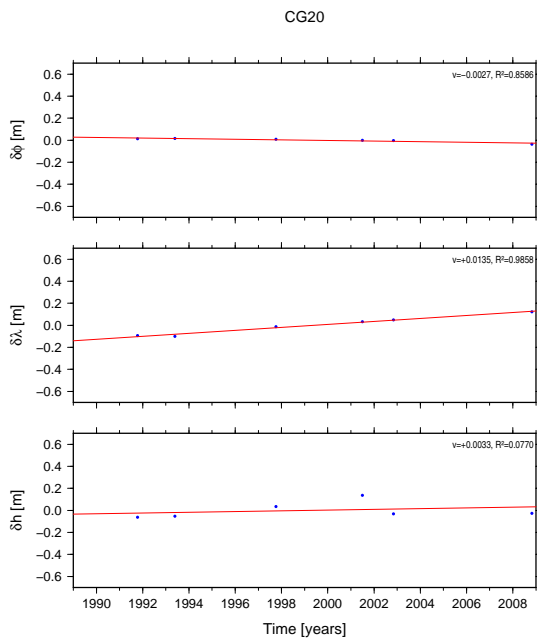
Σχήμα Β'.4: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ASOP
Figure B'.4: Tectonic displacement of site ASOP



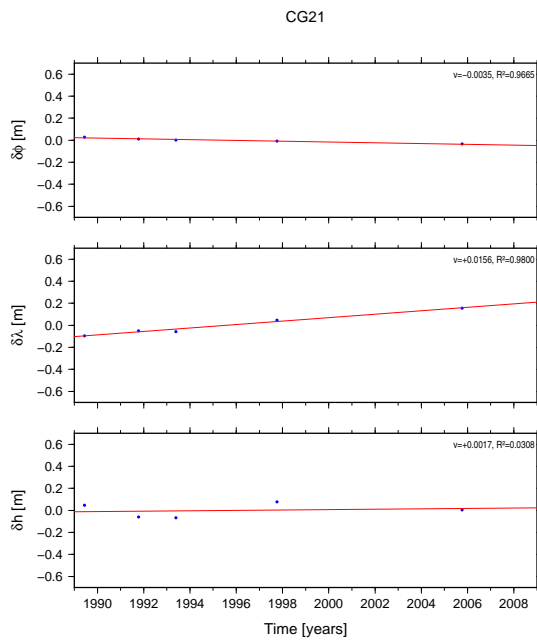
Σχήμα Β'.5: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG15
Figure B'.5: Tectonic displacement of site CG15



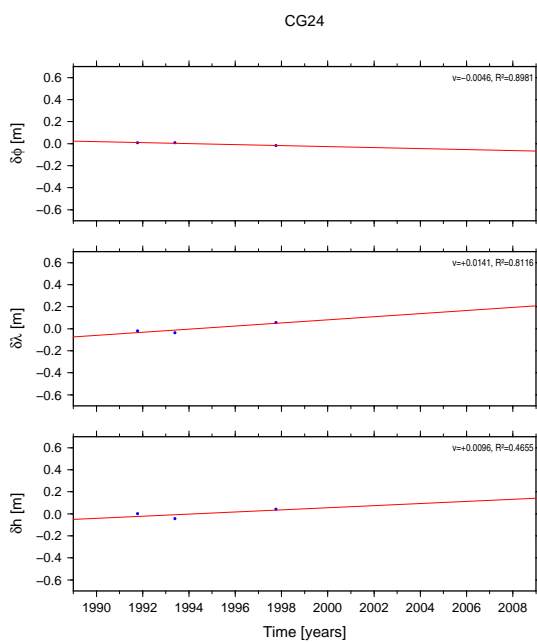
Σχήμα Β'.6: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG17
Figure B'.6: Tectonic displacement of site CG17



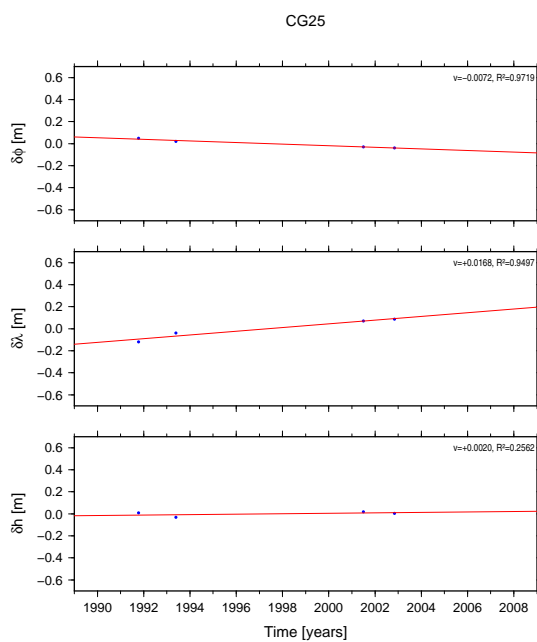
Σχήμα Β'.7: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG20
 Figure Β'.7: Tectonic displacement of site CG20



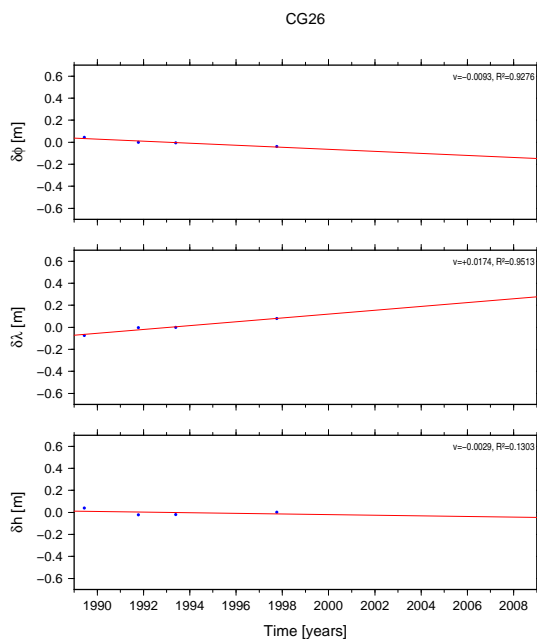
Σχήμα Β'.8: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG21
 Figure Β'.8: Tectonic displacement of site CG21



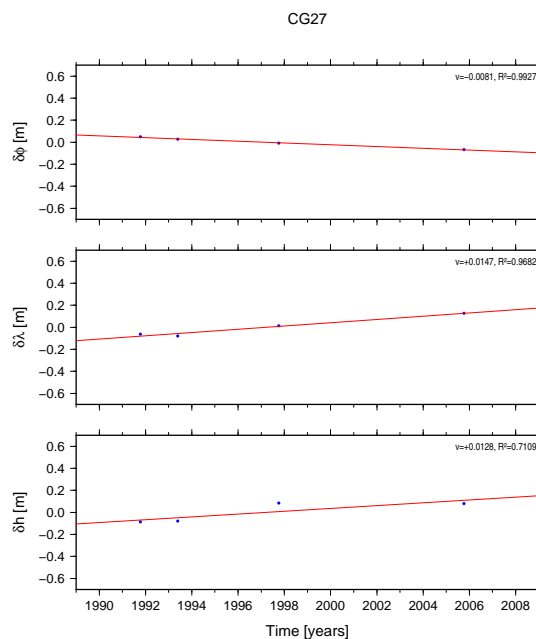
Σχήμα Β'.9: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG24
 Figure Β'.9: Tectonic displacement of site CG24



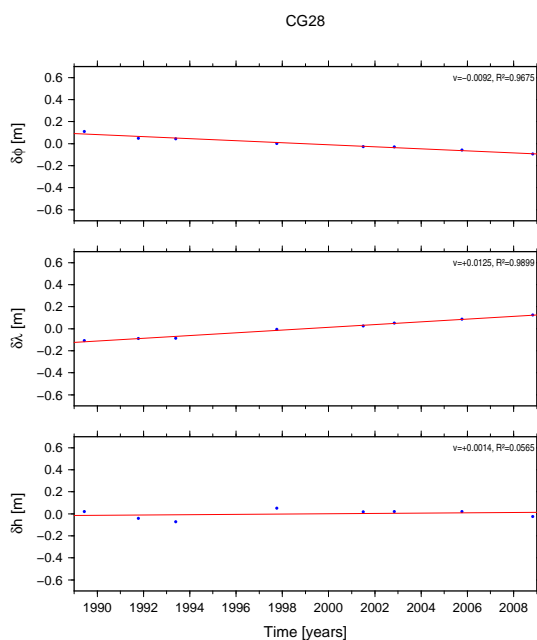
Σχήμα Β'.10: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG25
 Figure Β'.10: Tectonic displacement of site CG25



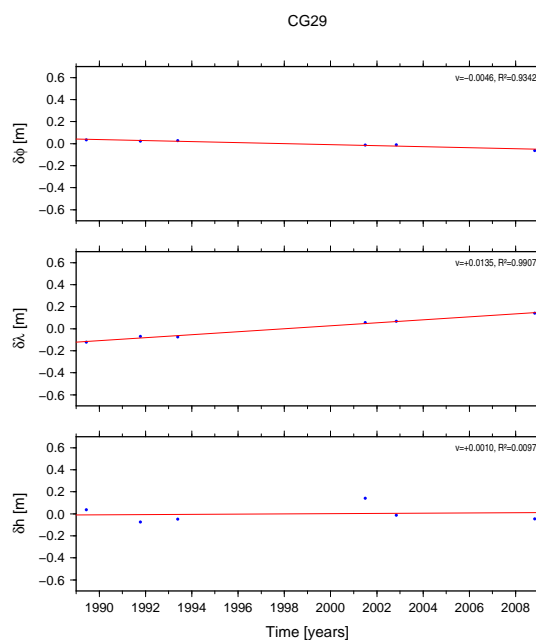
Σχήμα Β'.11: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG26
Figure B'.11: Tectonic displacement of site CG26



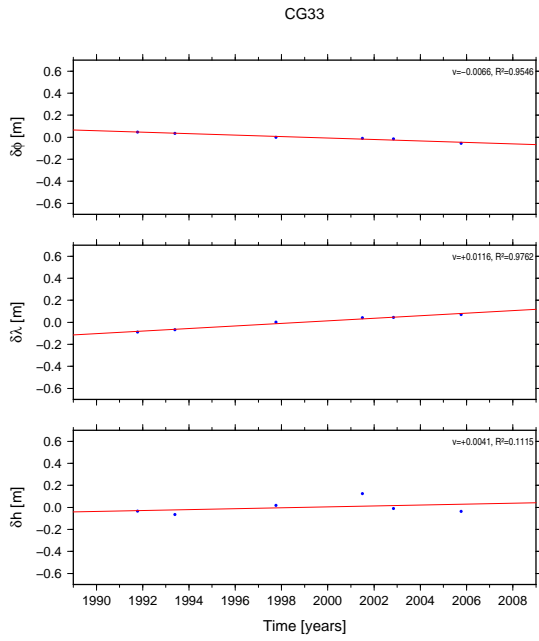
Σχήμα Β'.12: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG27
Figure B'.12: Tectonic displacement of site CG27



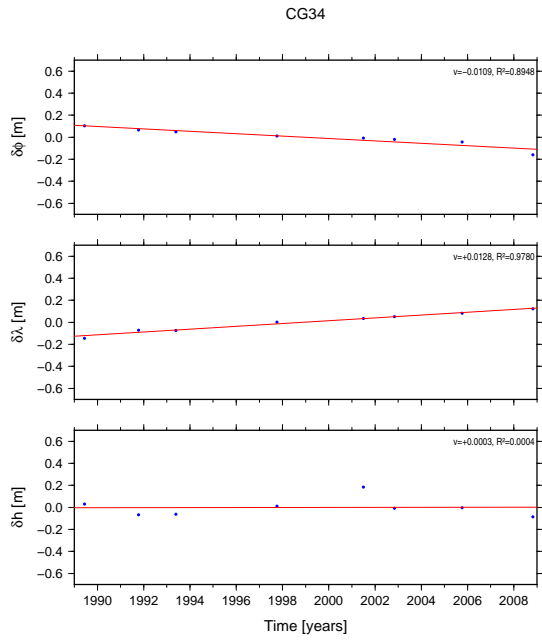
Σχήμα Β'.13: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG28
Figure B'.13: Tectonic displacement of site CG28



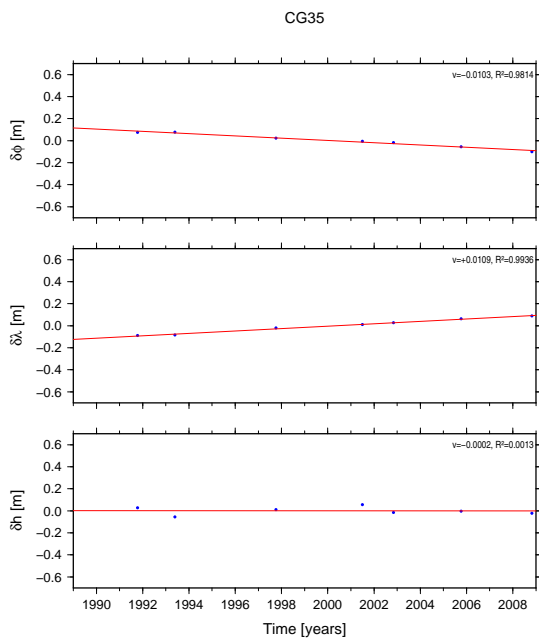
Σχήμα Β'.14: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG29
Figure B'.14: Tectonic displacement of site CG29



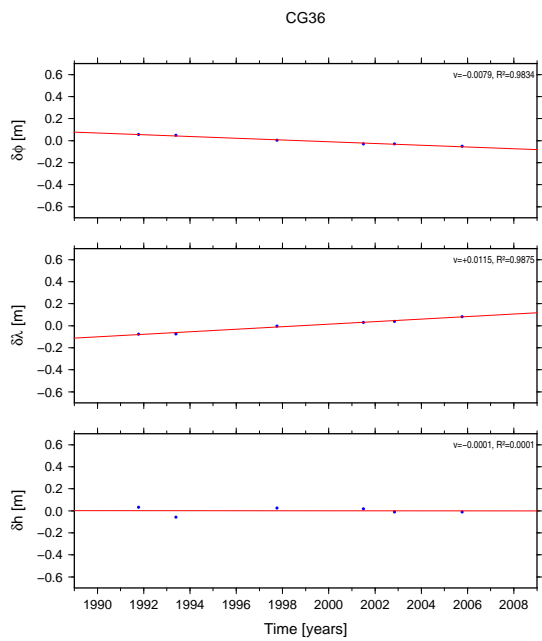
Σχήμα Β'.15: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG33
 Figure Β'.15: Tectonic displacement of site CG33



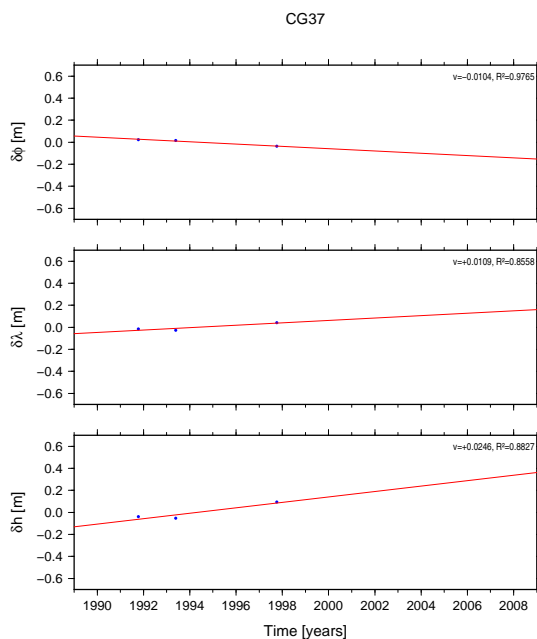
Σχήμα Β'.16: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG34
 Figure Β'.16: Tectonic displacement of site CG34



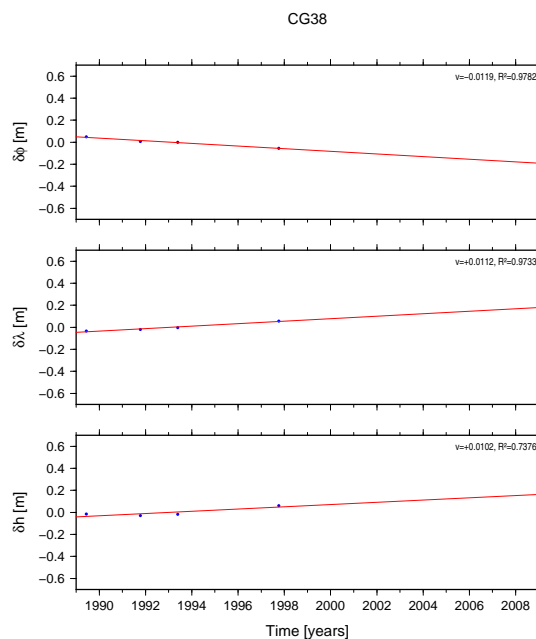
Σχήμα Β'.17: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG35
 Figure Β'.17: Tectonic displacement of site CG35



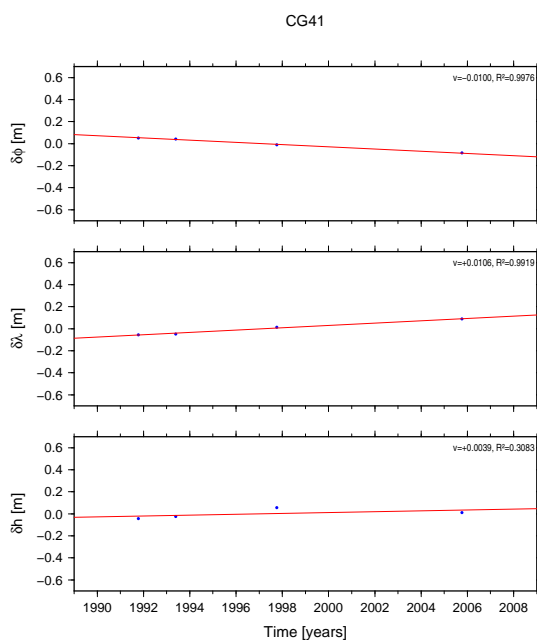
Σχήμα Β'.18: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG36
 Figure Β'.18: Tectonic displacement of site CG36



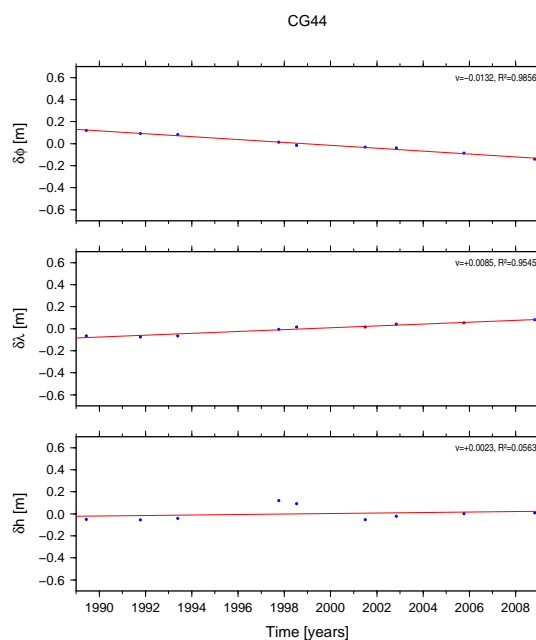
Σχήμα Β'.19: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG37
 Figure B'.19: Tectonic displacement of site CG37



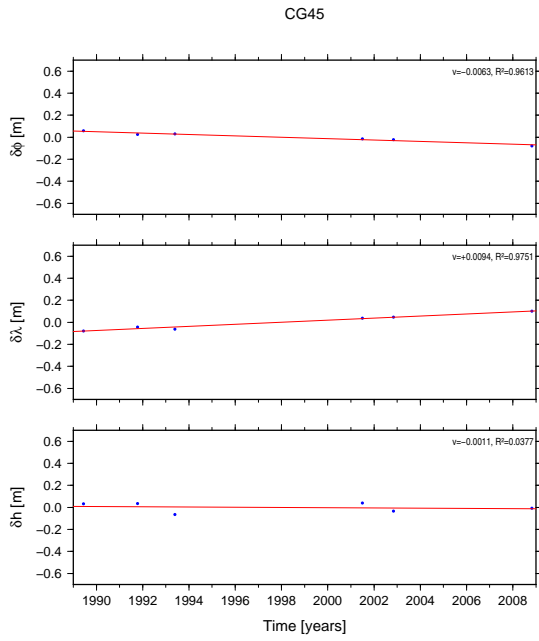
Σχήμα Β'.20: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG38
 Figure B'.20: Tectonic displacement of site CG38



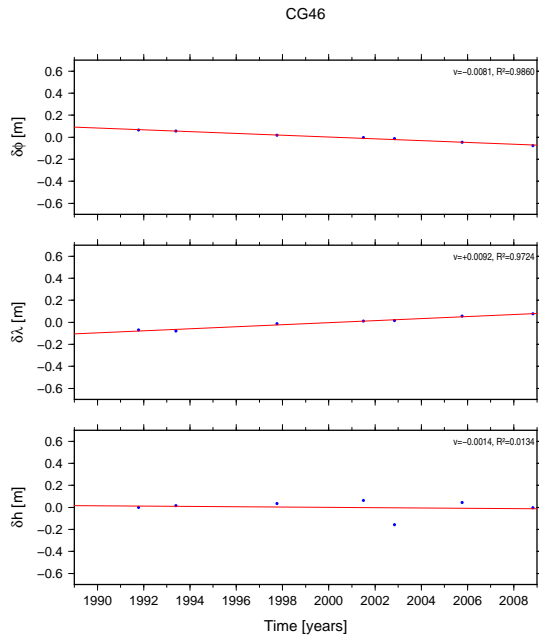
Σχήμα Β'.21: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG41
 Figure B'.21: Tectonic displacement of site CG41



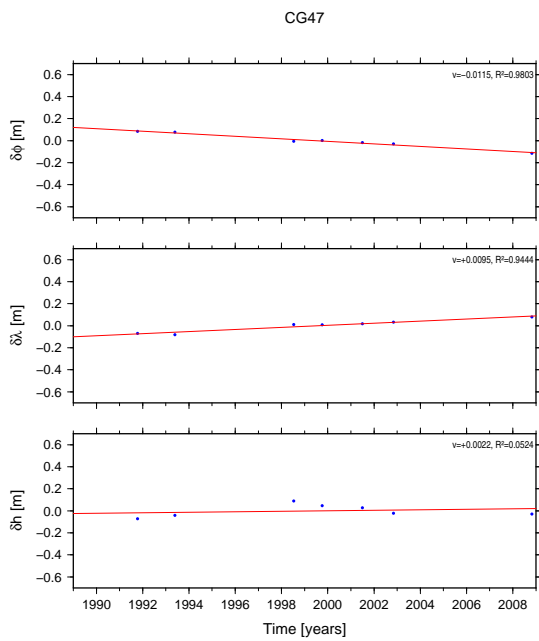
Σχήμα Β'.22: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG44
 Figure B'.22: Tectonic displacement of site CG44



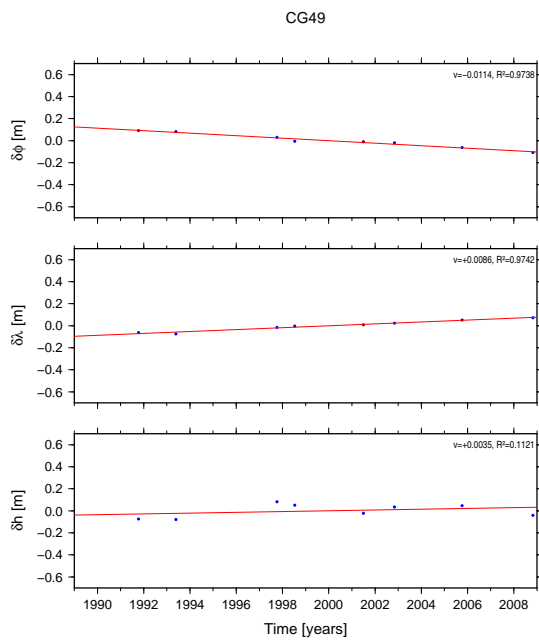
Σχήμα Β'.23: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG45
 Figure Β'.23: Tectonic displacement of site CG45



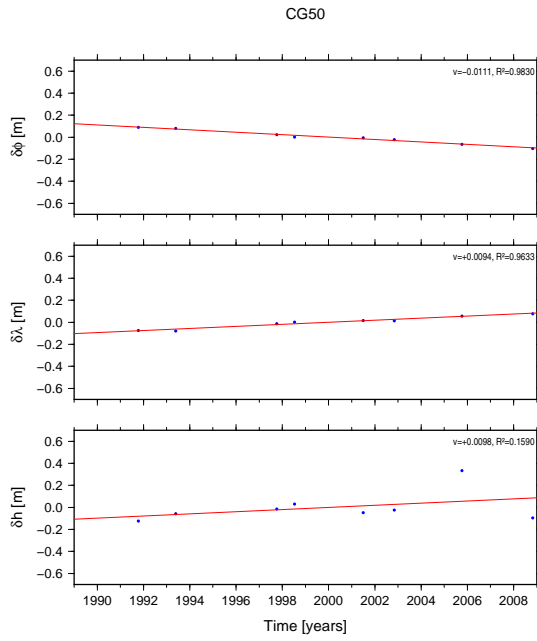
Σχήμα Β'.24: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG46
 Figure Β'.24: Tectonic displacement of site CG46



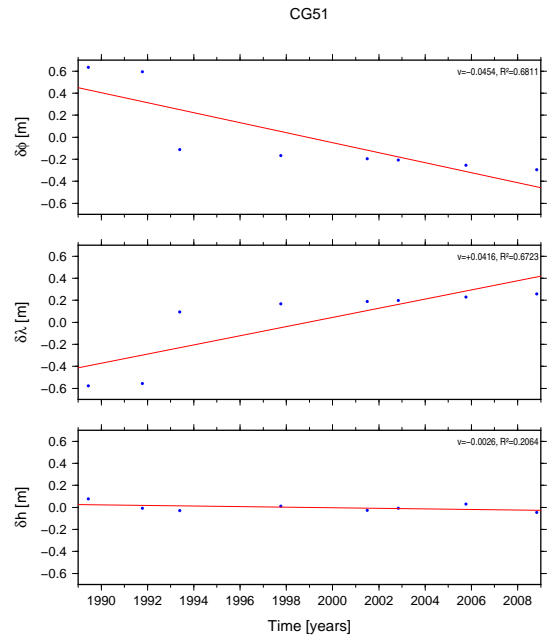
Σχήμα Β'.25: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG47
 Figure Β'.25: Tectonic displacement of site CG47



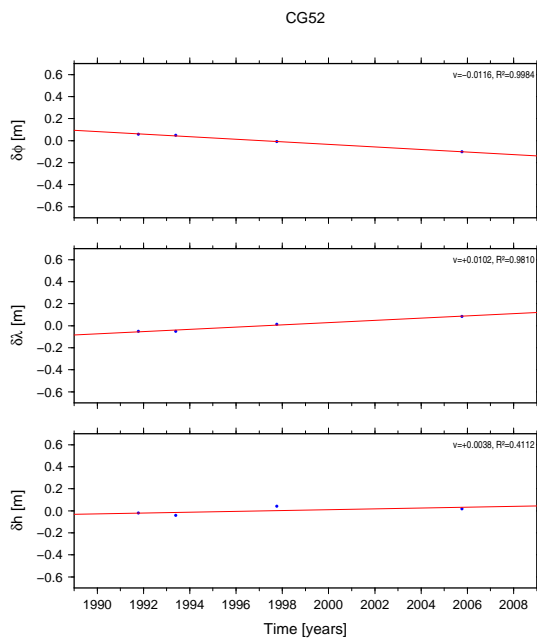
Σχήμα Β'.26: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG49
 Figure Β'.26: Tectonic displacement of site CG49



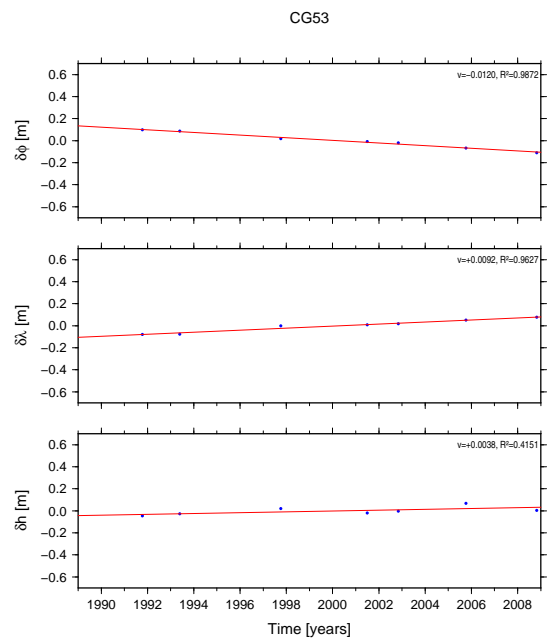
Σχήμα Β'.27: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG50
 Figure Β'.27: Tectonic displacement of site CG50



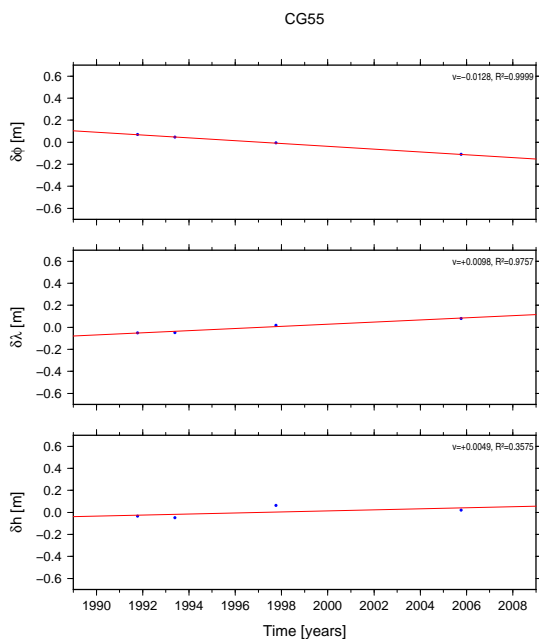
Σχήμα Β'.28: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG51
 Figure Β'.28: Tectonic displacement of site CG51



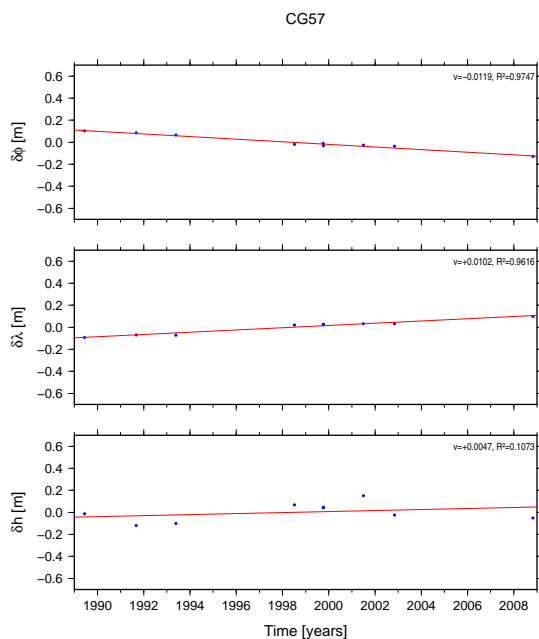
Σχήμα Β'.29: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG52
 Figure Β'.29: Tectonic displacement of site CG52



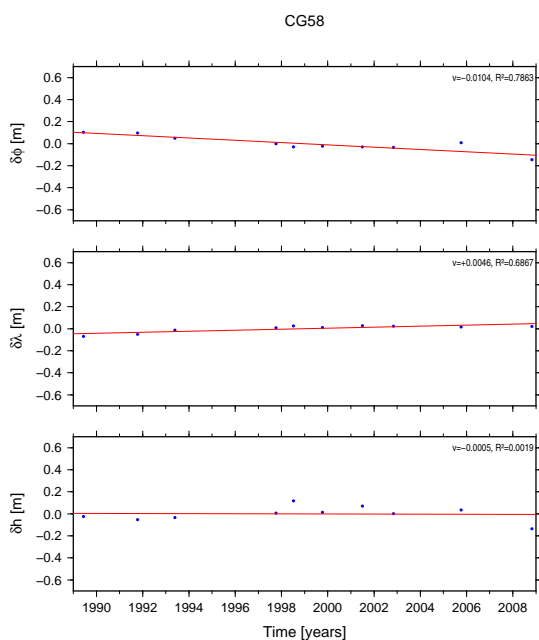
Σχήμα Β'.30: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG53
 Figure Β'.30: Tectonic displacement of site CG53



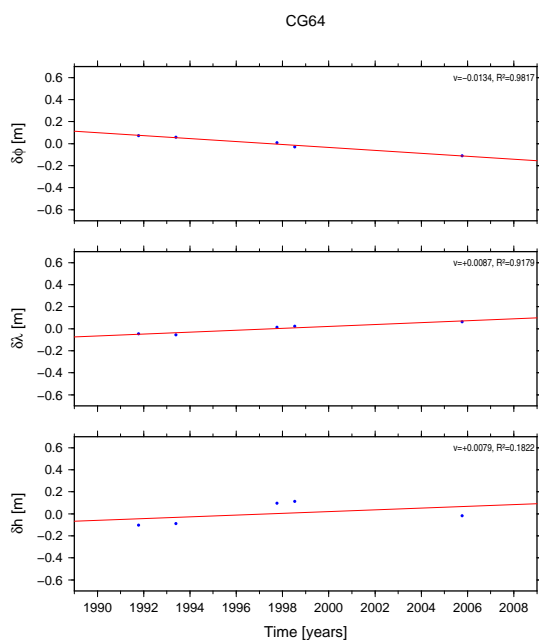
Σχήμα Β'.31: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG55
 Figure Β'.31: Tectonic displacement of site CG55



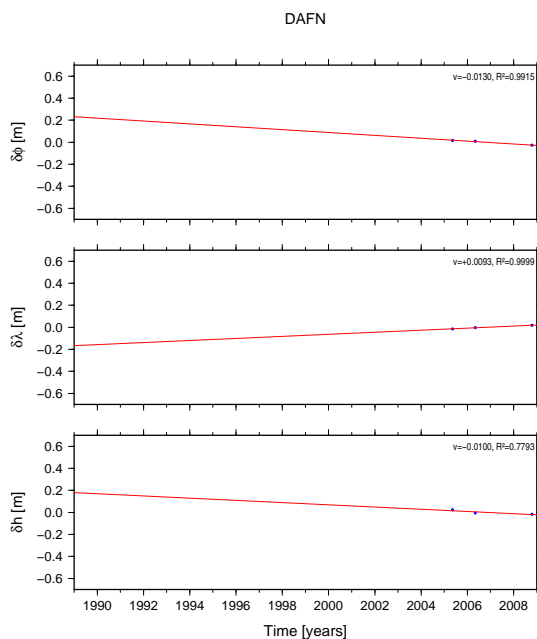
Σχήμα Β'.32: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG57
 Figure Β'.32: Tectonic displacement of site CG57



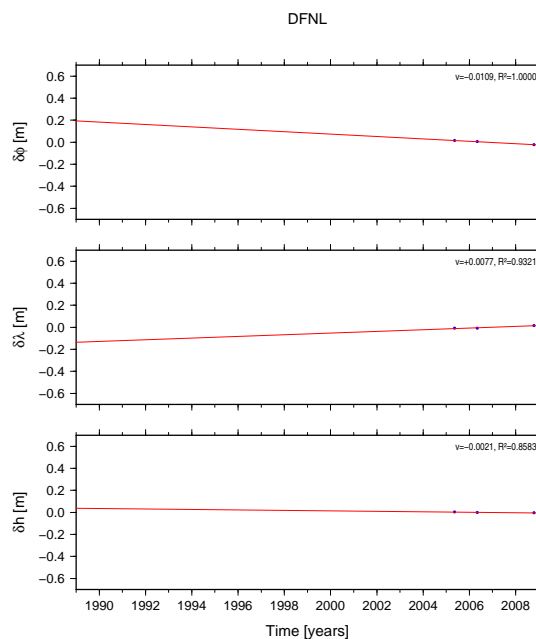
Σχήμα Β'.33: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG58
 Figure Β'.33: Tectonic displacement of site CG58



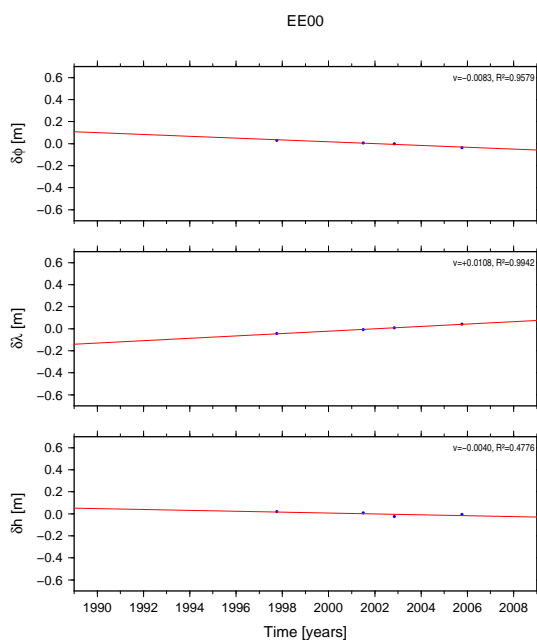
Σχήμα Β'.34: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο CG64
 Figure Β'.34: Tectonic displacement of site CG64



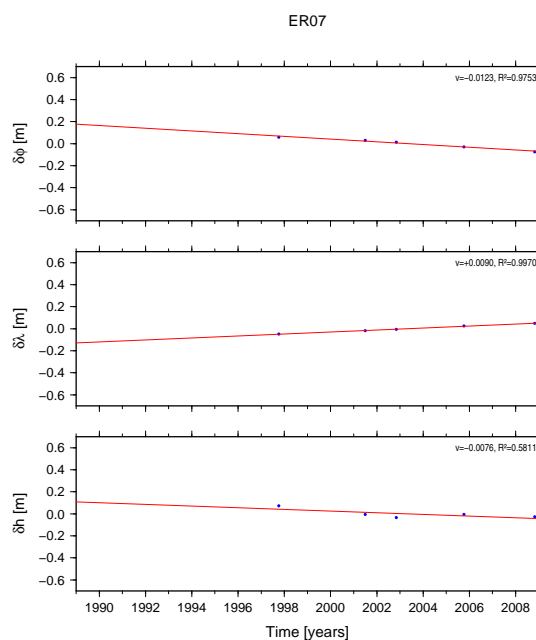
Σχήμα Β'.35: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο DAFN
 Figure Β'.35: Tectonic displacement of site DAFN



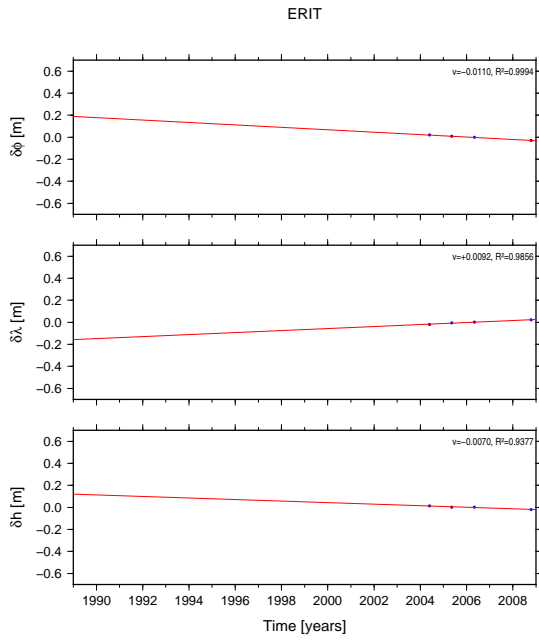
Σχήμα Β'.36: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο DFNL
 Figure Β'.36: Tectonic displacement of site DFNL



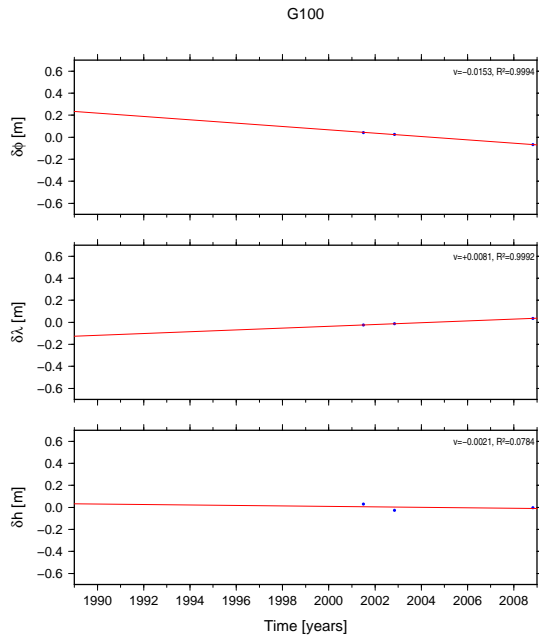
Σχήμα Β'.37: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο EE00
 Figure Β'.37: Tectonic displacement of site EE00



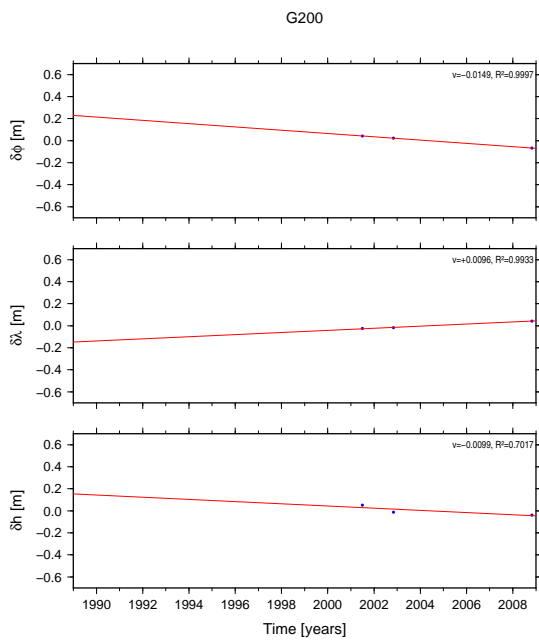
Σχήμα Β'.38: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ER07
 Figure Β'.38: Tectonic displacement of site ER07



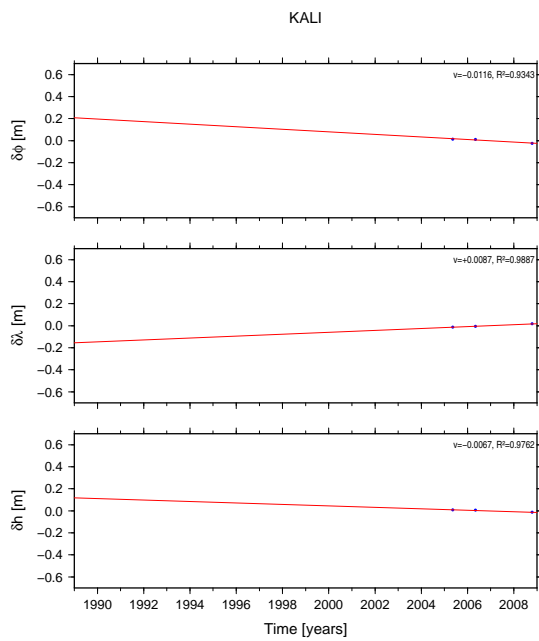
Σχήμα Β'.39: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο ERIT
 Figure B'.39: Tectonic displacement of site ERIT



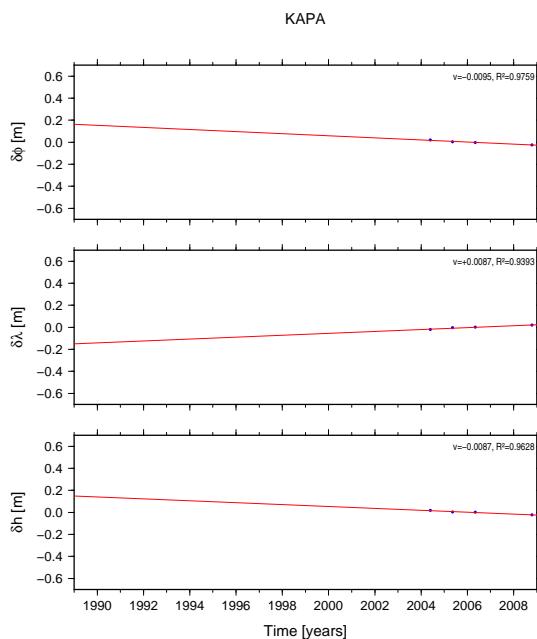
Σχήμα Β'.40: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο G100
 Figure B'.40: Tectonic displacement of site G100



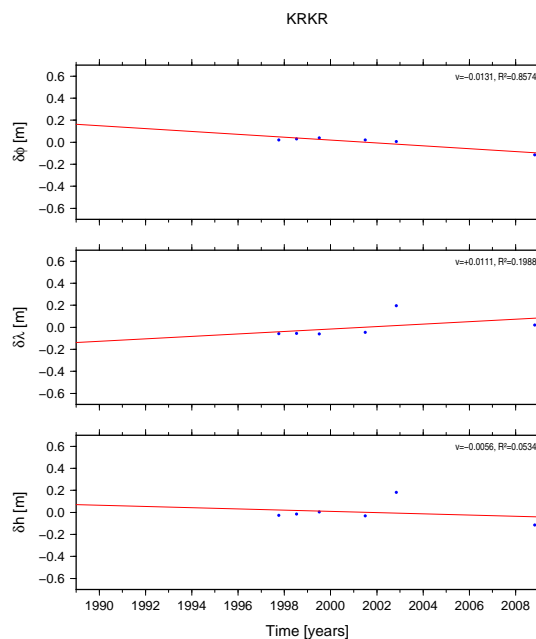
Σχήμα Β'.41: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο G200
 Figure B'.41: Tectonic displacement of site G200



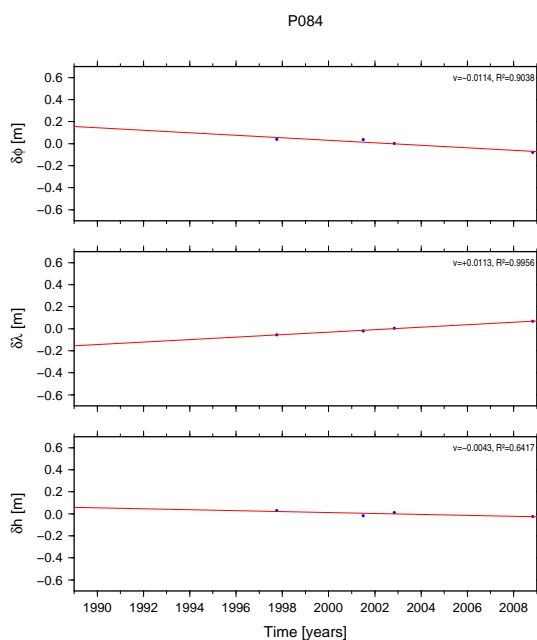
Σχήμα Β'.42: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KALI
 Figure B'.42: Tectonic displacement of site KALI



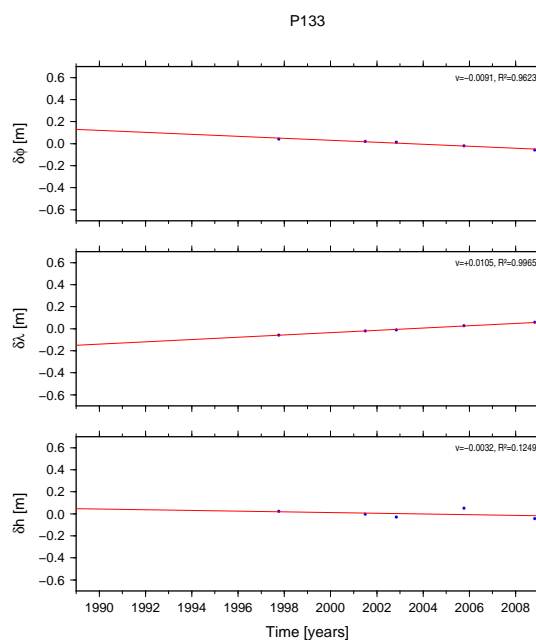
Σχήμα Β'.43: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KAPA
 Figure Β'.43: Tectonic displacement of site KAPA



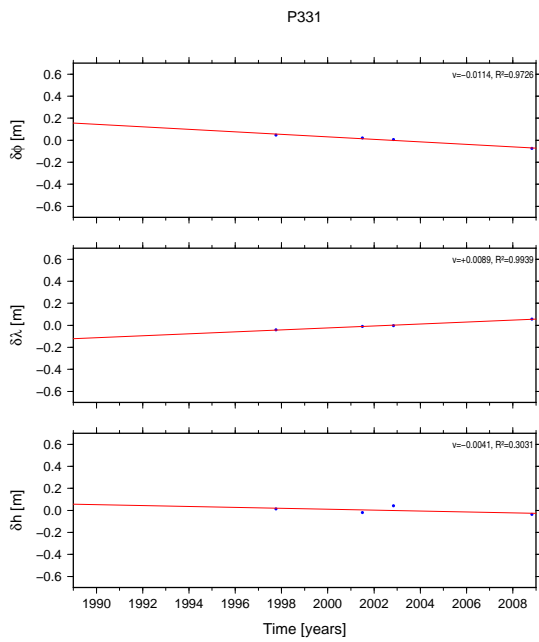
Σχήμα Β'.44: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο KRKR
 Figure Β'.44: Tectonic displacement of site KRKR



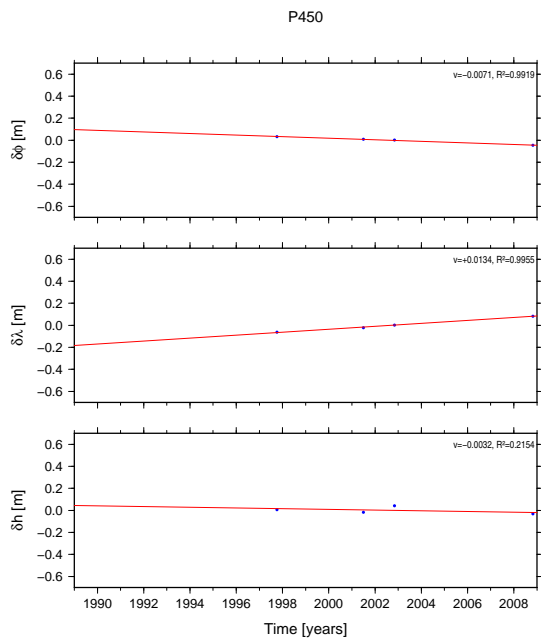
Σχήμα Β'.45: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P084
 Figure Β'.45: Tectonic displacement of site P084



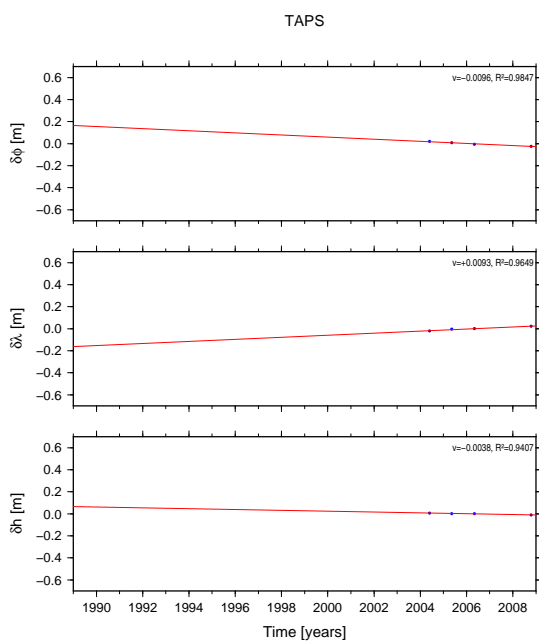
Σχήμα Β'.46: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P133
 Figure Β'.46: Tectonic displacement of site P133



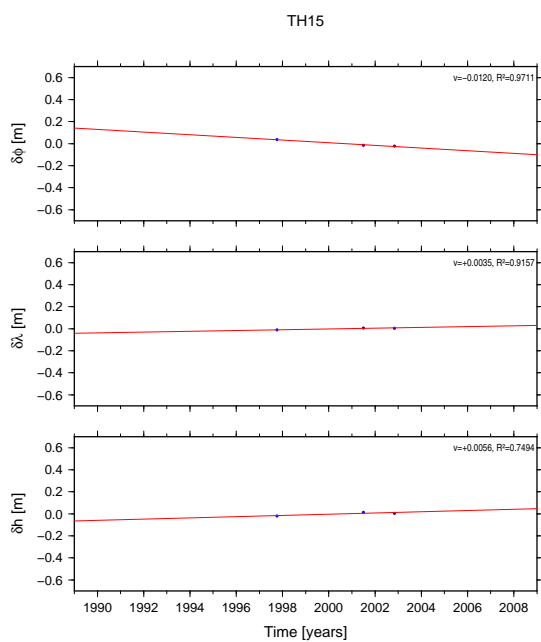
Σχήμα Β'.47: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P331
 Figure Β'.47: Tectonic displacement of site P331



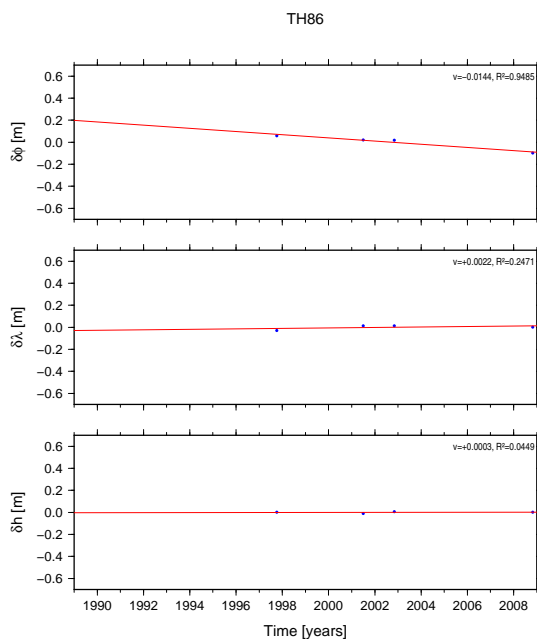
Σχήμα Β'.48: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο P450
 Figure Β'.48: Tectonic displacement of site P450



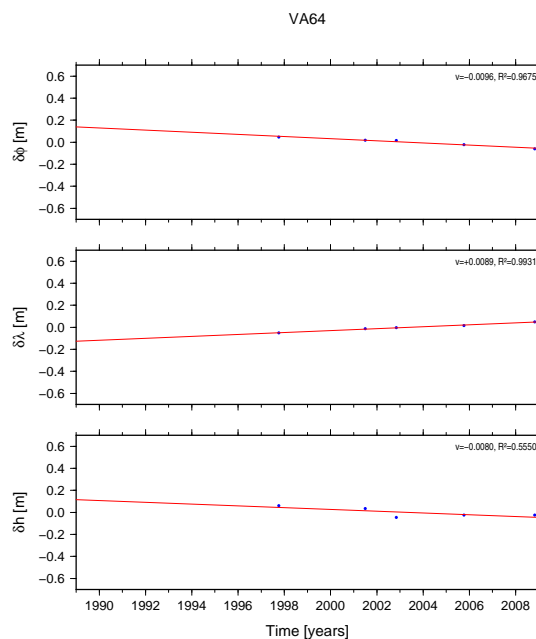
Σχήμα Β'.49: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TAPS
 Figure Β'.49: Tectonic displacement of site TAPS



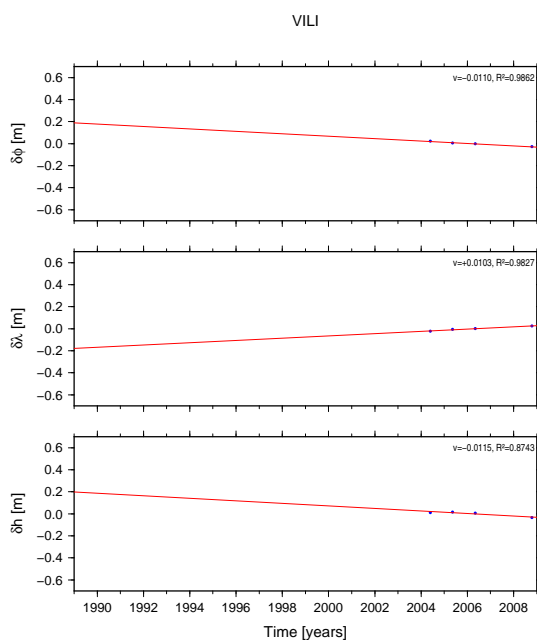
Σχήμα Β'.50: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TH15
 Figure Β'.50: Tectonic displacement of site TH15



Σχήμα Β'.51: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο TH86
 Figure Β'.51: Tectonic displacement of site TH86

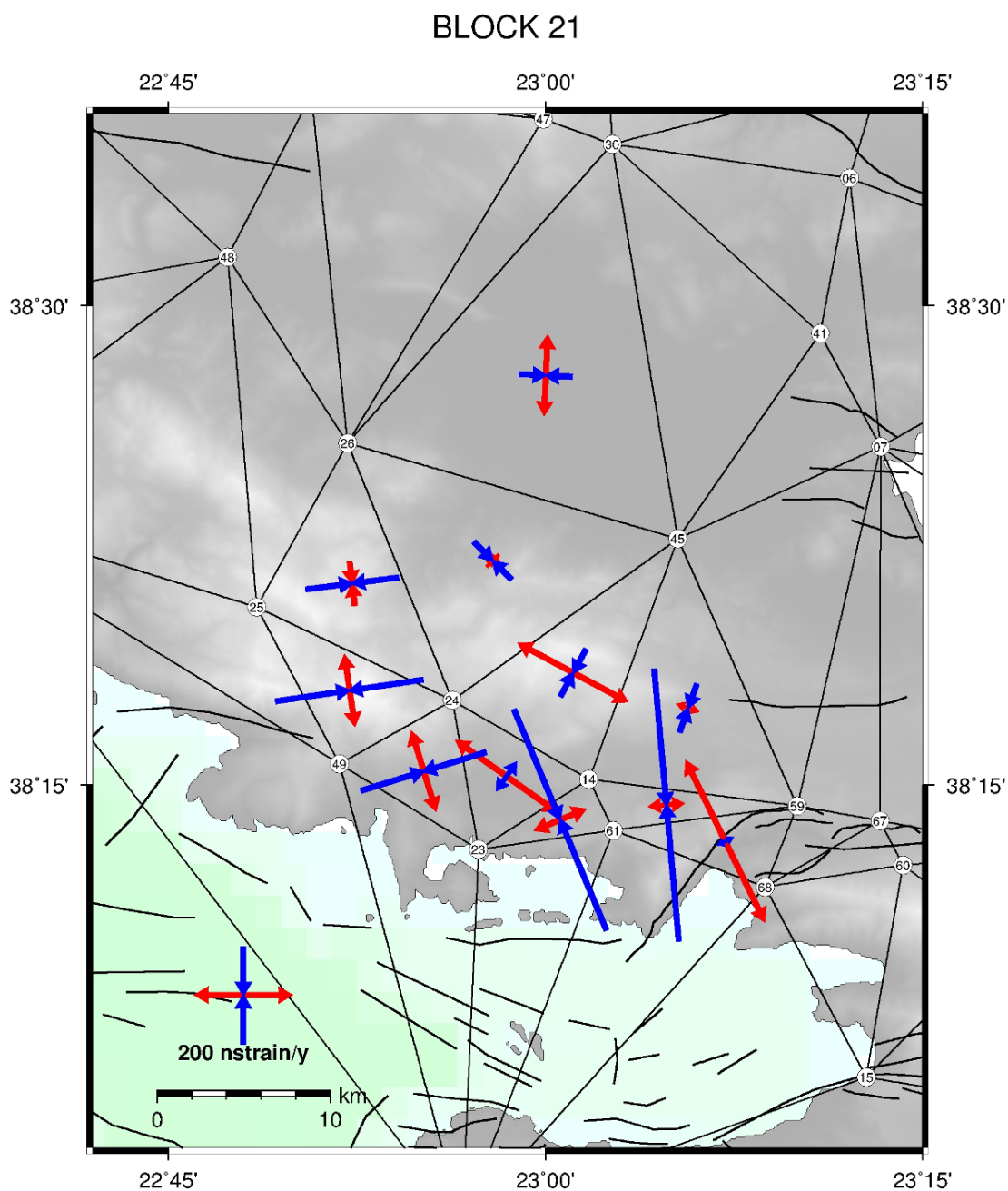



Σχήμα Β'.52: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο VA64
 Figure Β'.52: Tectonic displacement of site VA64



Σχήμα Β'.53: Τεκτονικές μετατοπίσεις στο σημείο VILI
 Figure Β'.53: Tectonic displacement of site VILI

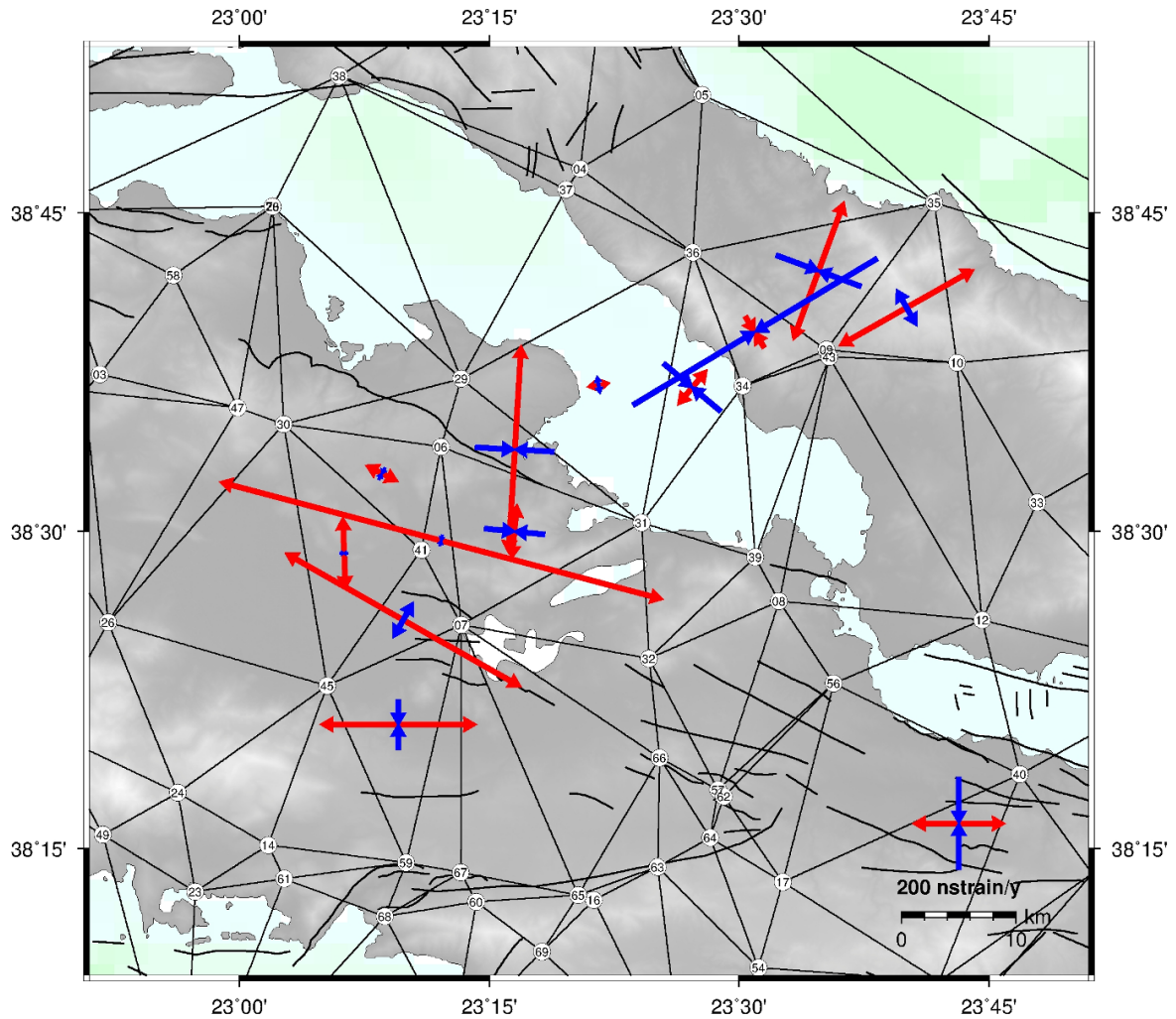
Γ΄ Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο επιλεγμένες περιοχές



 2013 Jun 17 15:27:51 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα Γ'.1: Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο για την περιοχή των Αλκυονίδων νήσων

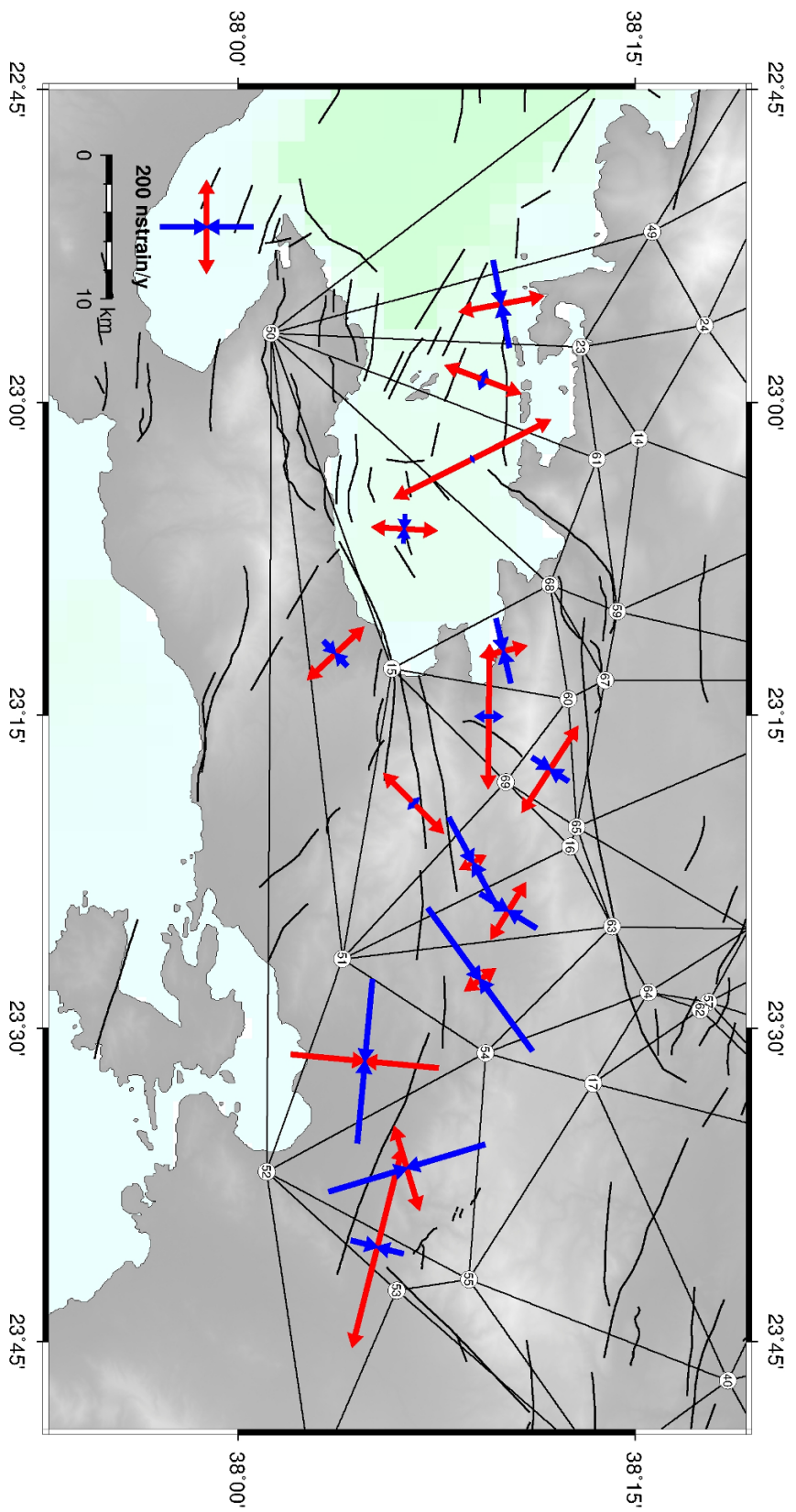
Figure Γ'.1: Strain Tensors per triangle for the area of Alcyonides islands



GM 2013 Jun 17 15:39:56 DSO-HGL/NTUA

Σχήμα Γ'.2: Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο στην Κεντρική Εύβοια και στην Νότια Στερεά Ελλάδα

Figure Γ'.2: Strain Tensors per triangle in Central Evia and South Sterea Hellas



ΕΜΥ 2013, 17 Μαΐου 15:53:02 ΔΕΟ-ΗΓΛΙΝΤΙΑ

Σχήμα Γ'.3: Τανυστές παραμόρφωσης ανά τρίγωνο στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής και των Αλκυονίδων νήσων

Figure Γ'.3: Strain Tensors per triangle in the wide area of Attica and Alcyonides islands

Δ´ Αποτελέσματα της εφαρμογής υπολογισμού πόλων στροφής

EulerPoles Report 2014-1-23 17:48:12.37

omega (deg/My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
5.62170965146	-159.201545776	-39.5205952598	0.246015269262	0.108376676219	0.0499761193097	1.15881243534	38
-5.62170965146	20.7984542241	39.5205952598					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vh (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CG21	38.7518	22.8064	-14.9	-8	1.3	0.4	0	1.9959	0.572266	1.33932	1.42287
CG24	38.6236	22.8608	-16	-9.5	2	7	0	1.35319	0.480796	0.586227	0.0592886
CG26	38.7848	23.3412	-20.7	-6.2	2	3	0	0.693157	2.12501	0.299934	0.612748
CG28	38.5665	23.2018	-21.1	-11.1	0.6	0.7	0	-0.878845	-0.426532	-1.30158	-0.538955
CG37	38.6324	23.7181	-21.8	-12.7	2	4	0	2.7614	-2.61961	1.19886	-0.565643
CG46	38.2529	23.0291	-19.5	-14.4	0.7	0.6	0	-0.731851	-0.344194	-0.924508	-0.511705
CG50	38.2095	23.3549	-22.5	-14.3	0.7	0.6	0	-0.991709	0.300337	-1.25253	0.448213
CG51	38.2237	23.5439	-23	-13.6	0.9	0.8	0	0.0973608	0.890762	0.095328	0.979991
CG53	38.2304	23.8536	-23.6	-14.2	1	0.5	0	2.10031	0.298757	1.87522	0.542816
CG33	38.4284	22.869	-18	-12	2	1	0	-0.578103	0.110917	-0.250428	0.0966502
ER07	38.3086	23.7813	-24	-15	0.9	1	0	1.09273	-1.37318	1.08626	-1.19748
P133	38.4856	23.1823	-20.5	-13.2	0.4	1	0	-0.443526	-1.64938	-1.02474	-1.43797
CG20	38.6506	22.6227	-14.1	-10.1	0.8	0.6	0	1.25078	-0.456288	1.41075	-0.684713
CG29	38.5255	22.7895	-16	-10.1	0.7	0.6	0	0.753665	0.937907	0.966964	1.39131
CG45	38.2609	22.8637	-17.7	-14.2	0.8	0.4	0	-0.322768	-0.264102	-0.357187	-0.615026
CG58	38.0178	23.6147	-22	-19	1	1.4	0	1.69229	-2.24755	1.48962	-1.40145
KRRK	38.1454	23.7006	-26.4	-13.6	2.2	2.5	0	-1.98563	1.78364	-0.782691	0.617193
P084	38.3803	23.595	-22.8	-12.3	0.5	2.6	0	0.726172	0.496512	1.35846	0.16503
P331	38.2965	23.4791	-22.8	-14.7	0.5	1.3	0	-0.247222	-1.01854	-0.454655	-0.680386
P450	38.7012	22.9342	-18.5	-10.2	0.6	0.5	0	-0.529284	-1.05136	-0.792171	-1.95236
ACIA	38.239	23.1671	-20	-14	1	1	0	-0.0707905	0.236081	-0.0617267	0.206196
AGTR	38.2081	23.2372	-22	-15	1	1	0	-1.48142	-0.411455	-1.29182	-0.359722
ALYK	38.2263	23.0453	-18	-15	1	1	0	0.904519	-0.650408	0.789615	-0.568295
ASOP	38.2913	23.4851	-21	-15	1	1	0	1.6026	-1.2613	1.40367	-1.10025
DAFN	38.2357	23.4187	-24	-14	1	1	0	-1.95523	0.329071	-1.70939	0.287445
DFNL	38.2587	23.4713	-22	-16	2	1	0	0.486333	-1.90842	0.210592	-1.66597
ERIT	38.2133	23.3393	-22	-14	1	1	0	-0.623339	0.554877	-0.544113	0.485027
KALI	38.3219	23.4206	-23	-15	1	3	0	-0.939421	-1.60988	-0.821345	-0.463606
KAPA	38.2313	23.2219	-21	-15	2	1	0	-0.610404	-0.667938	-0.264054	-0.58352
TAPS	38.1966	23.1459	-21	-14	1	1	0	-1.2496	0.693979	-1.0897	0.60697
B	38.4719	22.2629	-8	-8.2	2.1	1.6	0	4.32333	3.33892	1.7994	1.80784
C	38.324	22.184	-11.7	-10.6	2.4	1.6	0	-0.0406279	2.54151	-0.0147722	1.37624
C075	38.3558	22.2395	-14.2	-11.8	1.2	3	0	-2.07321	1.00219	-1.55467	0.288596
CM	38.2162	22.9559	-17.9	-14.6	0.6	1.7	0	0.252667	-0.158782	0.377523	-0.0809547
CT	38.3757	22.392	-11.5	-9	6.1	1.7	0	1.90945	3.60619	0.270444	1.83672
CU	38.3479	22.2848	-10.9	-12.7	4.1	5.7	0	1.60748	0.194484	0.339416	0.0294528

M	38.4098	22.016	-8.7	-10.4	4.5	0.8	0	1.54646	1.78566	0.297779	1.95564
S	38.4118	22.4119	-11.9	-9	1	2.7	0	1.67687	3.21491	1.51232	1.02888

Πίνακας Δ' .1: Παράμετροι πόλου στροφής της Στερεάς Ελλάδας και της Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table Δ' .1: Euler pole of rotation parameters for Sterea and Evia and estimated velocities with respect to a fixed Europe.

EulerPoles Report 2014-2-8 14:37:41.81

omega (deg/My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
3.24453739839	-162.55305458	-39.8942208005	0.270780614437	0.407487803234	0.146150072072	0.840088190547	12
-3.24453739839	17.4469454199	39.8942208005					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CG64	37.7947	22.9401	-24.8	-15.1	1.5	1.1	0	1.69697	-1.10362	1.40028	-1.25107
CB	38.0051	22.444	-23.7	-12.2	0.8	1.3	0	0.410215	0.340981	0.634114	0.319261
CD	37.8497	22.4303	-25.1	-7.5	1.3	3.9	0	-1.05554	6.01301	-0.979744	1.84103
CE	38.0791	22.561	-24.7	-14.8	0.3	2.5	0	-0.0266574	-2.6928	-0.200673	-1.28943
D	38.2373	22.1344	-22.9	-7.6	2.2	2.6	0	-0.279853	3.40456	-0.151917	1.56772
D004	38.2762	22.0573	-18.6	-8.4	5.8	2.6	0	3.64862	2.34188	0.749208	1.07877
F	38.1543	22.0651	-20.1	-12	1.9	0.9	0	2.18634	-0.490749	1.37635	-0.679679
G	38.0656	21.9502	-21.8	-12.2	0.6	0.7	0	-0.0669371	-0.161032	-0.141882	-0.295995
K	38.257	21.8893	-21.6	-9.4	1.3	2.1	0	-0.160418	1.42252	-0.149227	0.813726
L	38.1046	21.8079	-21	-11.5	0.3	0.4	0	0.0476967	0.261403	0.366315	1.03812
Q	38.2276	21.9728	-22.2	-12.4	0.8	1	0	-0.358191	-1.37318	-0.551431	-1.70095
X	38.1428	22.3802	-24.2	-11.5	0.7	0.8	0	-0.396606	0.159648	-0.703793	0.251902

Πίνακας Δ'.2: Παράμετροι πόλου στροφής της Πελοποννήσου και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.
Table Δ'.2: Euler pole of rotation parameters for Peloponnisos and estimated velocities with respect to a fixed Europe.

EulerPoles Report 2014-2-8 14:44:4.32

omega (deg/My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
1.49635716134	-167.247092081	-42.5591431182	0.308802877293	2.3782640756	0.7757397045	0.808642921971	19
-1.49635716134	12.7529079192	42.5591431182					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CG38	38.661	24.1093	-23.3	-12.4	1	1	0	0.833006	0.410474	1.13057	0.531898
CG41	38.4303	23.7433	-21.4	-13	1.3	0.3	0	1.9649	0.377065	1.90275	1.91322
CG49	38.097	23.2128	-22.8	-15.1	0.6	0.8	0	-0.549969	-0.898519	-1.2499	-1.44792
CG50	38.2095	23.3549	-22.5	-14.3	0.7	0.6	0	0.0488974	-0.386489	0.0904941	-0.832194
CG51	38.2237	23.5439	-23	-13.6	0.9	0.8	0	-0.0538154	0.31915	-0.0757462	0.504716
CG52	38.3877	23.9632	-23	-13.4	0.9	0.3	0	0.826446	0.155289	1.22548	0.760212
CG53	38.2304	23.8536	-23.6	-14.2	1	0.5	0	-0.00344838	-0.222369	-0.00445261	-0.583479
ER07	38.3086	23.7813	-24	-15	0.9	1	0	-0.55213	-1.26472	-0.796201	-1.58277
CG47	38.0207	22.9449	-22.9	-14.2	1.1	0.8	0	-1.21376	0.157241	-1.4514	0.258405
CG57	38.0658	23.4447	-23.3	-13.5	0.8	1.1	0	-0.562305	0.847097	-0.896099	0.976563
KRRR	38.1454	23.7006	-26.4	-13.6	2.2	2.5	0	-3.12469	0.582397	-1.76599	0.28902
P084	38.3803	23.595	-22.8	-12.3	0.5	2.6	0	0.253361	1.18295	0.685103	0.563721
P331	38.2965	23.4791	-22.8	-14.7	0.5	1.3	0	0.0092832	-1.00549	0.0266117	-0.963285
AGTR	38.2081	23.2372	-22	-15	1	1	0	0.301363	-1.11106	0.384267	-1.39532
DAFN	38.2357	23.4187	-24	-14	1	1	0	-1.31695	-0.146194	-1.66123	-0.183311
ERIT	38.2133	23.3393	-22	-14	1	1	0	0.51598	-0.101301	0.652964	-0.127175
KALI	38.3219	23.4206	-23	-15	1	3	0	-0.313003	-1.3928	-0.394808	-0.574881
KAPA	38.2313	23.2219	-21	-15	2	1	0	1.2691	-1.18133	0.790881	-1.4816
TAPS	38.1966	23.1459	-21	-14	1	1	0	1.10918	-0.100001	1.42881	-0.125684

Πίνακας Δ'.3: Παράμετροι πόλου στροφής της Νότιας Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.
Table Δ'.3: Euler pole of rotation parameters for South Sterea and Evia and estimated velocities with respect to a fixed Europe.

EulerPoles Report 2014-2-8 14:48:12.51

omega (deg/My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
7.12945368689	-15.8717185051	-39.2910017129	0.264141541872	0.0645016421865	0.0310254597253	0.716353685755	15
-7.12945368689	21.2828149485	39.2910017129					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CG21	38.7518	22.8064	-14.9	-8	1.3	0.4	0	1.41377	-0.404429	1.5497	-2.04222
CG24	38.6236	22.8608	-16	-9.5	2	7	0	0.895775	-0.420791	0.630321	-0.0241032
CG26	38.7848	23.3412	-20.7	-6.2	2	3	0	1.33772	1.05207	0.946947	0.492076
CG28	38.5665	23.2018	-21.1	-11.1	0.6	0.7	0	-0.554004	-0.861116	-1.46841	-1.82132
CG46	38.2529	23.0291	-19.5	-14.4	0.7	0.6	0	-0.803349	0.139024	-1.71865	0.370219
CG33	38.4284	22.869	-18	-12	2	1	0	-1.01678	0.080777	-0.71543	0.11603
CG29	38.5255	22.7895	-16	-10.1	0.7	0.6	0	0.13275	0.624097	0.28585	1.57161
ACIA	38.239	23.1671	-20	-14	1	1	0	0.174412	0.760089	0.253482	1.11164
ALYK	38.2263	23.0453	-18	-15	1	1	0	0.870217	-0.0891948	1.25641	-0.13702
KALI	38.3219	23.4206	-23	-15	1	3	0	-0.112769	-1.32704	-0.169044	-0.619912
KAPA	38.2313	23.2219	-21	-15	2	1	0	-0.239614	-0.121175	-0.169072	-0.177432
CM	38.2162	22.9559	-17.9	-14.6	0.6	1.7	0	0.0132968	0.43197	0.0340074	0.360716
CU	38.3479	22.2848	-10.9	-12.7	4.1	5.7	0	-0.171219	0.407161	-0.0586447	0.0998165
I	38.4447	21.9029	-5.8	-9.6	1.1	1.5	0	0.840214	2.13147	1.30593	2.00819
S	38.4118	22.4119	-11.9	-9	1	2.7	0	0.189723	3.2381	0.287524	1.68076

Πίνακας Δ'.4: Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας και Δυτικής Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table Δ'.4: Euler pole of rotation parameters for North and West Sterea and Evia and estimated velocities with respect to a fixed Europe.

EulerPoles Report 2014-2-8 14:55:8.92

omega (deg/My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
6.5456516753	-158.890429068	-39.3788382263	0.406475571274	0.123309884233	0.0557990526717	0.973587421349	11
-6.5456516753	21.1095709325	39.3788382263					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CG21	38.7518	22.8064	-14.9	-8	1.3	0.4	0	1.75955	0.11912	1.42302	0.43755
CG24	38.6236	22.8608	-16	-9.5	2	7	0	1.19318	0.257587	0.618067	0.0378158
CG26	38.7848	23.3412	-20.7	-6.2	2	3	0	1.20767	1.61358	0.627633	0.55341
CG28	38.5665	23.2018	-21.1	-11.1	0.6	0.7	0	-0.560036	-0.546957	-1.06338	-0.840158
CG37	38.6324	23.7181	-21.8	-12.7	2	4	0	3.80504	-2.85452	2.01667	-0.734166
CG46	38.2529	23.0291	-19.5	-14.4	0.7	0.6	0	-0.655643	0.0975784	-1.02236	0.18931
CG33	38.4284	22.869	-18	-12	2	1	0	-0.726647	0.237899	-0.376351	0.249806
P133	38.4856	23.1823	-20.5	-13.2	0.4	1	0	-0.152215	-1.62483	-0.50697	-1.70333
CG20	38.6506	22.6227	-14.1	-10.1	0.8	0.6	0	0.756519	-0.727125	1.08205	-1.35199
CG29	38.5255	22.7895	-16	-10.1	0.7	0.6	0	0.493572	0.890954	0.791965	1.61859
CG45	38.2609	22.8637	-17.7	-14.2	0.8	0.4	0	-0.478768	0.163327	-0.650111	0.582959

Πίνακας Δ'5: Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη (δεν συμπεριλαμβάνονται οι σταθμοί του Κορινθιακού Κόλπου).

Table Δ'5: Euler pole of rotation parameters for North Sterea and Evia and estimated velocities with respect to a fixed Europe (Corinth Gulf stations not included).

EulerPoles Report 2014-2-8 15:0:30.57

omega (deg /My)	lambda (deg)	phi (deg)	somega	slambda	sphi	so	sites
2.89492230201	-160.957039944	-40.2189445304	1.15124643744	1.58398840678	0.57222012998	1.7562255505	9
-2.89492230201	19.0429600555	40.2189445304					

Used Sites

Name	Lat (deg)	Lon (deg)	Vn (mm/y)	Ve (mm/y)	Svn	Sve	Sne	DVn	DVe	SRn	SRe
CC17	38.986	23.3724	-17.9	-6.4	1.1	1.5	0	0.655579	0.967645	0.393488	0.380361
CG21	38.7518	22.8064	-14.9	-8	1.3	0.4	0	1.23369	0.573392	0.561394	0.95471
CG24	38.6236	22.8608	-16	-9.5	2	7	0	0.366422	-0.197719	0.105849	-0.0160927
CG26	38.7848	23.3412	-20.7	-6.2	2	3	0	-2.27776	2.28966	-0.672744	0.435731
CG27	38.8426	23.4634	-14.9	-8	1.3	0.4	0	4.04485	0.190579	2.02702	0.349887
CG20	38.6506	22.6227	-14.1	-10.1	0.8	0.6	0	1.24726	-0.990418	1.07078	-1.01455
CG25	38.5973	22.9987	-18.6	-6.8	2.7	0.9	0	-1.64343	2.67497	-0.349384	1.7688
CG29	38.5255	22.7895	-16	-10.1	0.7	0.6	0	0.0612958	-0.259781	0.0580471	-0.293928
P450	38.7012	22.9342	-18.5	-10.2	0.6	0.5	0	-1.8193	-1.31977	-2.07549	-1.65104

Πίνακας Δ'6: Παράμετροι πόλου στροφής της Βόρειας και Ανατολικής Στερεάς και Εύβοιας και εκτιμώμενες ταχύτητες ως προς σταθερή Ευρώπη.

Table Δ'6: Euler pole of rotation parameters for North and East Sterea and Evia and estimated velocities with respect to a fixed Europe.

Βιβλιογραφία

- Agatza-Balodimou A-M., P. Briole, C. Mitsakaki, and K. Papazissi. Crustal deformations from sparse geodetic data. *Survey Review*, 36(283):367–379, 2002.
- Altamimi Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, and C. Boucher. Itrf2005: A new release of the international terrestrial reference frame based on time series of station positions and earth orientation parameters. *Journal of Geophysical Research*, 112(B09401), 2007.
- Altamimi Z., X. Collilieux, and L. Metivier. Itrf2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. *Journal of Geodesy*, 85(8):457–473, 2011.
- Altamini Z., P. Sillard, and C. Boucher. Itrf2000: A new release of the international terrestrial reference frame for earth science applications. *Journal of Geophysical Research*, B10(107):2214, 2001.
- Ambraseys N. N. and J. Jackson. Seismicity and strain in the Gulf of Corinth (Greece) since 1694. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(3):433–474, 1997.
- Ambraseys N. N. and J. Jackson. Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. *Geophysical Journal International*, 101(3):663–708, 1990.
- Andrianakis V., M. Dandulaki, and N. Papadopoulos. Disaster response and reconstruction measures after the Athens earthquake of September 7, 1999 (m= 5.9). *Newsletter of the European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes (Council of Europe)*, Issue, 3:40–44, 1999.
- Armijo R., B. Meyer, G.C.P. King, A. Rigo, and D. Papanastassiou. Quaternary evolution of the Corinth rift and its implications for the late cenozoic evolution of the Aegean. *Geophysical Journal International*, 126(1):11–53, 1996.
- Avallone A. *Analyse de dix ans de deformation du rift de Corinthe (Grece) par geodesie spatiale*. PhD thesis, IPGP, 2003.
- Avallone A., P. Briole, A-M. Agatza-Balodimou, H. Billiris, O. Charade, C. Mitsakaki, A. Nercessian, K. Papazissi, D. Paradissis, and G. Veis. Analysis of eleven years of

- deformation measured by GPS in the Corinth rift laboratory area. *Comptes Rendus Geoscience*, 336(4):301–311, 2004.
- Benedetti L., R. Finkel, G. King, R. Armijo, D. Papanastassiou, F. J. Ryerson, F. Flerit, D. Farber, and G. Stavrakakis. Motion on the Kaparelli fault (Greece) prior to the 1981 earthquake sequence determined from ³⁶Cl cosmogenic dating. *Terra Nova*, 15 (2):118–124, 2003.
- Bomford G. *Geodesy*. Clarendon Press, Oxford, 1980.
- Boucher C., Z. Altamini, and P. Sillard. *Results and Analysis of the ITRF96*. Paris: Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, 1998. IERS Technical Note No. 24.
- Briole P., A. Rigo, H. Lyon-Caen, J. C. Ruegg, K. Papazissi, C. Mitsakaki, A. Balodimou, G. Veis, D. Hatzfeld, and A. Deschamps. Active deformation of the Corinth rift, Greece: results from repeated global positioning system surveys between 1990 and 1995. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 105(B11):25605–25625, 2000.
- Clarke P. J., R. R. Davies, P. C. England, B. Parsons, H. Billiris, D. Paradissis, G. Veis, P.A. Cross, P.H. Denys, V. Ashkenazi, et al. Crustal strain in central Greece from repeated GPS measurements in the interval 1989–1997. *Geophysical Journal International*, 135 (1):195–214, 1998.
- Dach R., U. Hugentobler, P. Fridez, and M. Meindl. Bernese GPS software version 5.0. *Astronomical Institute, University of Bern*, 640, 2007.
- Davies R. R., P. C. England, B. E. Parsons, H. Billiris, D. Paradissis, and G. Veis. Geodetic strain of Greece in the interval 1892–1992. *Journal of Geophysical Research*, 102(B11): 571–588, 1997.
- Davies R. R. *Geodetic and morphometric studies of crustal strain and active faulting in central and southern Greece*. PhD thesis, University of Oxford, 1996.
- Drewes H. and C. Rizos. Geodynamic implications for geodesy in the Mediterranean region. *3rd Int. Symp. on Use of Sattelites for Geodesy & Geodynamics, Ermioni, Greece*, pages 372–389, 20–25 September 1982.
- Euler L. Formulae generales pro translatione quacunque corporum rigidorum. *Novi Acad. Sci. Petrop*, 20:189–207, 1775.
- Fey A., C. Ma, E. F. Arias, P. Charlot, M. Feissel-Vernier, A.-M. Gontier, C.S. Jacobs, J. Li, and D.S. MacMillan. The second extension of the international celestial reference

- frame: Icrf-ext. 1. *The Astronomical Journal*, 127:3587–3608, 2004.
- Floyd M. A., H. Billiris, D. Paradissis, G. Veis, A. Avallone, P. Briole, S. McClusky, J.-M. Nocquet, K. Palamartchouk, B. Parsons, et al. A new velocity field for Greece: Implications for the kinematics and dynamics of the Aegean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 115(B10), 2010.
- Foumelis M., I. Fountoulis, and E. Lagios. Crustal deformation of broader Athens (Greece) by GPS measurements. *WEGENER 2010, 15th General Assembly of Wegener, September 14-17, 2010, Istanbul, Turkey. Programme and Book of Abstracts*, page 97, 2010.
- Gambis D. First extension of the ICRF, ICRF-Ext. 1. *IERS 1998 Annual Report*, pages 87–114, 1999.
- Ganas A., G.P. Roberts, and T. Memou. Segment boundaries, the 1894 ruptures and strain patterns along the Atalanti fault, central Greece. *Journal of Geodynamics*, 26(2):461–486, 1998.
- Ganas A., S. Pavlides, S. Sboras, S. Valkaniotis, S. Papaioannou, G.A. Alexandris, A. Plessa, and G.A. Papadopoulos. Active fault geometry and kinematics in Parnitha mountain, Attica, Greece. *Journal of Structural Geology*, 26(11):2103–2118, 2004.
- Ganas A., G. Drakatos, J. Bosy, L. Petro, B. Kotny, M. Stercz, N. S. Melis, S. Cacon, M. Papanikolaou, and A. Kiratzi. 2007. COST Action 625 results: Monitoring of the Kaparelli active fault. *2003–2006 Geophysical Research Abstracts*, 9, 2007.
- Goldsworthy M. and J. Jackson. Migration of activity within normal fault systems: examples from the quaternary of mainland Greece. *Journal of Structural Geology*, 23(2):489–506, 2001.
- Goldsworthy M., J. Jackson, and J. Haines. The continuity of active fault systems in Greece. *Geophysical Journal International*, 148(3):596–618, 2002.
- Hollenstein C. *GPS deformation field and geodynamic implications for the Hellenic plate boundary region*. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2007.
- Hubert A., G. King, R. Armijo, B. Meyer, and D. Papanastasiou. Fault re-activation, stress interaction and rupture propagation of the 1981 Corinth earthquake sequence. *Earth and Planetary Science Letters*, 142(3):573–585, 1996.
- Hugentobler U., S. Schär, P. Fridez, and E. Beutler. *Bernese GPS Software: Version 4.2*. University of Berne, 2001.

- Jackson J. Active tectonics of the aegean region. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22:239–271, 1994.
- Jackson J., J. Gagnepain, G. Houseman, G.C.P. King, P. Papadimitriou, Ch. Soufleris, and J. Virieux. Seismicity, normal faulting, and the geomorphological development of the gulf of corinth (greece): The Corinth earthquakes of February and March 1981. *Earth and Planetary Science Letters*, 57(2):377–397, 1982.
- Karastathis V. K., A. Ganas, J. Makris, J. Papoulia, P. Dafnis, E. Gerolymatou, and G. Drakatos. The application of shallow seismic techniques in the study of active faults: The Atalanti normal fault, central Greece. *Journal of applied geophysics*, 62(3): 215–233, 2007.
- Katsikaros G., M. Migiros, and A. Mettos. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly–SW Macedonia, Euboea–Attica–northern Cyclades islands and Lesvos). *Geological and Geophysical Research, Special Issue*, pages 191–212, 1986.
- Kovalevsky J. First results from hipparcos. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 36(1):99–129, 1998.
- Le Pichon X., N. Chamot-Rooke, S. Lallemand, R. Noomen, and G. Veis. Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 100(B7):12675–12690, 1995.
- Levallois J. J. *Geodesie Generale Tome 1,2,3*. Collection Scientifique de l’Institut Geographique National, Eyrolles Paris, 1970.
- IGS Mailing List. <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2005/>, 2005.
- Louvari E. and A. Kiratzi. Source parameters of the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake based on teleseismic data. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 4 (3):51–60, 2001.
- Lyon-Caen H., P. Papadimitriou, A. Deschamps, P. Bernard, K. Makropoulos, F. Pacchiani, and G. Patau. First results of the CRLN seismic network in the western Corinth rift: evidence for old-fault reactivation. *Comptes Rendus Geoscience*, 336(4):343–351, 2004.
- Ma C. and M. Feissel. *Definition and realization of the International Celestial Reference System by VLBI astrometry of extragalactic objects*. Paris: Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, 1997. IERS Technical Note No. 23.

- Ma C., E. F. Arias, T.M. Eubanks, A. L. Fey, A.-M. Gontier, C. S. Jacobs, O. J. Sovers, B. A. Archinal, and P. Charlot. The international celestial reference frame as realized by very long baseline interferometry. *The Astronomical Journal*, 116:516–546, 1998.
- Makris J., J. Papoulia, D. Papanikolaou, and G. Stavrakakis. Thinned continental crust below northern Evoikos gulf, central Greece, detected from deep seismic soundings. *Tectonophysics*, 341(1):225–236, 2001.
- Makropoulos K. C. and V. Kouskouna. The 1894 April 20 and 27 Atalanti earthquakes: 100 years after—lessons learnt. *Proc. and Activity Report of the 1992-94 XXIV European Seismological Commission*, 1:61–71, 1994.
- Marinou A., H. Billiris, K. Papazissi, D. Paradissis, and G. Veis. Crustal deformation along the Aegean sea from GPS observations. *XIII Assembly of Wegener Nice*, 4–7 September 2006.
- Marinou A., A. Ganas, J. Bosy, D. Paradissis, G. Drakatos, B. Kontny, Cacon S., and Papazissi K. Preliminary results from GPS measurements along the Kaparelli fault, central Greece, A., a114th General Assembly of Wegener. *WEGENER 2008 September 15–18, Darmstadt Germany*, 2008.
- Marinou A., A. Ganas, X. Papanikolaou, J. Bosy, K. Papazissi, D. Anastasiou, D. Paradissis, G. Drakatos, B. Kontny, S. Cacon, and M. Papanikolaou. Deformation studies in the Kaparelli area, central Greece. *15th General Assembly of WEGENER 2010, September 14–17, Bogazici University, Istanbul, Turkey*, 2010.
- Marinou A., X. Papanikolaou, D. Paradissis, D. Anastasiou, P. Tzavaras, V. Zacharis, K. Papazissi, and C. Mistakaki. Estimating tectonic velocities in the Ionian region. *EGU General Assembly 2011*, 3-8 April 2011.
- Marinou A., A. Ganas, K. Papazissi, and D. Paradissis. Geodetic evidence for E-W crustal block boundary along the Kaparelli fault (south Viotia region, central Greece). *Annals of Geophysics*, submitted, under review, 2013.
- McCarthy D. D. and G. Petit. IERS Conventions, 2003.
- McClusky S., S. Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, et al. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 105(B3):5695–5719, 2000.
- McKenzie D. Active tectonics of the mediterranean region. *Geophysical Journal of the*

- Royal Astronomical Society*, 30(2):109–185, 1972.
- Metaxas Ch. P. Active faults hazard on offshore pipelines: Case of the submarine gas pipeline route across the south Evoikos gulf, central Greece, 2008.
- Mikhail E. M. and G. Gracie. *Analysis and adjustment of survey measurements*. Van Nostrand Reinhold New York, 1981.
- Mitsakaki C., K. Papazisi, M. Sakellariou, A. Marinou, and D. Tsinas. Coulomb stress in the gulf of Corinth (Greece) for the 1992–1995 period. *3rd IAG/ 12th FIG symposium, Baden*, May 22–24 2006.
- Mitsopoulos K. *The Mega-earthquake of Lokris in April 1894*. Ethnikon Typografeion, Athens, Greece, 1895. (in Greek).
- Moretti I., D. Sakellariou, V. Lykousis, and L. Micarelli. The gulf of Corinth: an active half graben? *Journal of Geodynamics*, 36(1):323–340, 2003.
- Muller M. D., A. Geiger, H. G. Kahle, G. Veis, H. Billiris, D. Paradissis, and S. Felekis. Velocity and deformation fields in the North Aegean domain, Greece, and implications for fault kinematics, derived from GPS data 1993–2009. *Tectonophysics*, 597–598:34–49, June 19 2013.
- Niell A. E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 101(B1):3227–3246, 1996.
- Nikolaidis R. *Observation of Geodetic and Seismic Deformation with Global Positioning System*. PhD thesis, University of California, San Diego, 2002.
- Nyst M. and W. Thatcher. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 109(B11), 2004.
- Ostini L. *Analysis and Quality Assessment of GNSS-Derived Parameter Time Series*. PhD thesis, Astronomisches Institut der Universit at Bern, 2012.
- Palyvos N., I. Bantekas, and H. Kranis. Transverse fault zones of subtle geomorphic signature in northern Evia island (central Greece extensional province): An introduction to the quaternary Nileas graben. *Geomorphology*, 76(3):363–374, 2006.
- Pantosti D., P. M. De Martini, D. Papanastassiou, N. Palyvos, F. Lemeille, and G. Stavrakakis. A reappraisal of the 1894 Atalanti earthquake surface ruptures, central Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(4):760–780, 2001.
- Papadopoulos G. A., G. Drakatos, D. Papanastassiou, I. Kalogeras, and G. Stavrakakis. Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens,

- Greece. *Seismological Research Letters*, 71(3):318–329, 2000.
- Papadopoulos T. D., N. Gouly, N. S. Voulgaris, J. D. Alexopoulos, I. Fountoulis, P. Kambouris, V. Karastathis, C. Peirce, S. Chailas, J. Kassaras, et al. Tectonic structure of central-western Attica (Greece) based on geophysical investigations-preliminary results. *Bulletin of the Geological Society of Greece.*, 40(1):1207–1218, 2007.
- Papanikolaou D., Ch. Metaxas, I. Parcharidis, S. Vassilopoulou, and E. Basilakis. STRIM pilot project: Space technologies and G.I.S. for seismic risk monitoring on active tectonic structures. Synergy in application of space technics and G.I.S. to aid seismic risk managers in decision making. *News letter of the European Centre on Preventing and Forecasting of Earthquakes (E.C.P.F.E.)*, Issue No3, December 1999.
- Papanikolaou X., A. Marinou, C. Mitsakaki, K. Papazissi, D. Paradissis, V. Zacharis, and D. Anastasiou. An automated processing scheme designed for all available permanent GPS stations in Greece. *15th General Assembly of WEGENER 2010*, September 14-17 2010.
- Papazachos V. and K. Papazachou. *The earthquakes of Greece*. Editions Ziti, 1997.
- Papoulia J., J. Makris, and V. Drakopoulou. Local seismic array observations at north Evoikos, central Greece, delineate crustal deformation between the north Aegean trough and Corinthiakos rift. *Tectonophysics*, 423(1):97–106, 2006.
- Pavlidis S., G. Papadopoulos, and A. Ganas. The fault that caused the Athens September 1999 $m_s = 5.9$ earthquake: field observations. *Natural Hazards*, 27(1-2):61–84, 2002.
- Pavlidis S., I. Koukouvelas, A. Ganas, S. Kokkalas, I. Tsodoulos, L. Stamatopoulos, C. Goyntromichou, and S. Valkaniotis. Preliminary palaeoseismological results from the Kaparelli fault (central Greece). *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, 1:7069, 2003.
- Pavlidis S., S. Valkaniotis, A. Ganas, D. Keramydas, and S. Sboras. The Atalanti active fault: re-evaluation using new geological data. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36:1560–1567, 2004.
- Peter Y. F. *Present day crustal dynamics in the Adriatic - Aegean plate boundary zone inferred from continuous GPS measurements*. PhD thesis, Astronomisches Institut der Universit at Bern, 2000.
- Petit G. and B. Luzum. *IERS Conventions (2010)*. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesmats fur Kartographie und Geodasie, 2010. IERS Technical Note No. 36.
- Ray J., D. Dong, and Z. Altamimi. IGS reference frames: status and future improvements.

- GPS solutions*, 8(4):251–266, 2004.
- Reilinger R., S. McClusky, P. Vernant, S. Lawrence, S. Ergintav, R. Cakmak, H. Ozener, F. Kadirov, I. Guliev, R. Stepanyan, et al. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)*, 111 (B5), 2006.
- Reilinger R., S. McClusky, D. Paradissis, S. Ergintav, and P. Vernant. Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics*, 488(1):22–30, 2010.
- Rondoyanni T. 1984. Etude ueotectonique des rivages occidentaux du canal d’ Atalanti (Grece centrale). These 3e cycle, Universite de Paris -Sud, 1984.
- Rondoyanni T., D. Galanakis, Ch. Georgiou, and I. Baskoutas. Identifying fault activity in the central Evoikos gulf (Greece). *Bull. of the Geol. Soc. of Greece vol XXXX, Proceedings of the 11th International Congress, Athens*, 40(1):439–450, May 2007.
- Shaked Y., D. Avigad, and Z. Garfunkel. Alpine high-pressure metamorphism at the Almyropotamos window (southern Evia, Greece). *Geological Magazine*, 137(4):367–380, 2000.
- Stiros S. C., M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel, and S. Papageorgiou. Historical coseismic uplift on Euboea island, Greece. *Earth and Planetary Science Letters*, 108 (1):109–117, 1992.
- Stiros S. C., P. Psimoulis, and S. Pitharouli. Geodetic constraints to the kinematics of the Kapareli fault, reactivated during the 1981, gulf of Corinth earthquakes. *Tectonophysics*, 440(1):105–119, 2007.
- Taymaz T., J. Jackson, and D. McKenzie. Active tectonics of the north and central Aegean sea. *Geophysical Journal International*, 106(2):433–490, 1991.
- Thatcher W. How the continents deform: the evidence from tectonic geodesy. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37:237–262, 2009.
- Torge W. *Geodesy*. Walter de Gruyeter, 3rd edition, Berlin, New York, 2001.
- Veis G., H. Billiris, B. Nakos, and D. Paradissis. Tectonic strain in Greece from geodetic measurements. *Annales of the Academy of Athens*, 67:129–166, 1992.
- Αγατζά-Μπαλοδήμου Α-Μ. Θεωρία Σφαλμάτων και συνορθώσεις ΙΙ. Σημειώσεις μαθήματος, 2005.

- Αγατζά-Μπαλοδήμου Α-Μ., Γ. Βέης, Μητσακάκη Χ., and Παπαζήση Κ. Τεκτονικές Παραμορφώσεις στον Κορινθιακό Κόλπο από Γεωδαιτικά Δεδομένα. *Τεχν. Χρονικά*, 14, 1994.
- Αμπατζίδης Δ. Χ. *Μελέτη για τη βέλτιστη υλοποίηση ενός Σύγχρονου Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς στον Ελληνικό Χώρο*. PhD thesis, ΑΠΘ, 2011.
- Βέης Γ., Χ. Μπιλλήρης, Κ. Παπαζήση, Δ. Παραδείσης, and Α. Μαρίνου. Τεκτονικές μετατοπίσεις κατά μήκος του Αιγαίου και στο τρίγωνο Αλκυονίδες νήσοι – Πάρνηθα – Αταλάντη. *Τεχν. Χρονικά*, 3, 2007.
- Βέης Γ., Χ. Μπιλλήρης, and Κ. Παπαζήση. *Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας*. ΕΜΠ, 2008.
- Μητσακάκη Χ. *Ανάπτυξη μεθοδολογίας για μελέτες παραμορφώσεων σε διδιάστατο χώρο με γεωδαιτικά στοιχεία*. PhD thesis, ΕΜΠ, 1986.
- Μητσακάκη Χ. and Κ. Παπαζήση. *Εφαρμογές Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας. Σημειώσεις μαθήματος*, ΕΜΠ, 2004.
- Παπαζάχος Β. and Κ. Παπαζάχου. *Οι Σεισμοί της Ελλάδας*. ΖΗΤΗ ΠΕΛΑΓΙΑ & ΣΙΑ Ο.Ε., 2003.
- Παπανικολάου Ξ. *Διερεύνηση μεθόδων συνόρθωσης μεγάλων δικτύων GPS για την παρακολούθηση μετακινήσεων - εφαρμογή στην Εύβοια*. Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, 2009.
- Φουμέλης Μ. *Μελέτη Παραμόρφωσης ευρύτερης περιοχής Αθηνών βάσει διαφορετικών μετρήσεων GPS και Συμβολομετρίας Ρανταρ*. PhD thesis, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2010.

Βιογραφικό Σημείωμα

Γενικά

- Η Αγγελική Μαρίνου γεννήθηκε στην Αμαλιάδα στις 3 Ιανουαρίου του 1972.
- Αποφοίτησε από το 2ο Λύκειο Αμαλιάδας το 1989.
- Αποφοίτησε από την Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών το 1998.
- Είναι μέλος του ΤΕΕ.
- Είναι μέλος του Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών (ΠΣΔΑΤΜ).
- Εργάζεται στο Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου από το 1995 με συμβάσεις εργασίας και από το 2002 είναι ΙΔΑΧ.
- Μιλά Αγγλικά και Γαλλικά (First Certificate in English, Cambridge Univ., Certificat de langue Francaise).
- Διαθέτει πολύ καλή γνώση χρήσης και διαχείρισης υπολογιστών και δικτύων υπολογιστών και πλήθους λογισμικών στα πεδία επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και σχεδιασμού.

Επαγγελματική Εμπειρία

Φεβρ. 1995 - Σεπ. 1997

Συνεργασία με το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου Ε.Μ.Π.

Ιούν. 1999

Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου με σκοπό τον προσδιορισμό των τεκτονικών μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή της Πελοποννήσου με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (GPS).

Νοέμ. 1998 - Ιούλ. 1999	Συνεργάτης της ΠΡΙΣΜΑ Α.Τ.Ε. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας συμμετοχή στις εργασίες πεδίου και γραφείου που περιελάμβαναν ίδρυση δικτύου ελέγχου καθώς και χάραξη και αποτύπωση τμήματος του Βορείου οδικού άξονα Κρήτης επίσης συμμετοχή στις εργασίες πεδίου και γραφείου για τον προσδιορισμό φωτοσταθερών σημείων στα πλαίσια του Εθνικού Κτηματολογίου.
Νοέμ 2000	Συμμετοχή στη εκπόνηση προμελέτης οδοποιίας η οποία αφορά οδούς πρόσβασης σε Αιολικό Πάρκο στη περιοχή της Λακωνίας για λογαριασμό της WRE Ελλάς.
Ιαν. 2000	Συμμετοχή στην αποτύπωση τμήματος του αρχαιολογικού χώρου της Ακροπόλεως (Ωδείο του Περικλέους).
Ιούλ. 1999 - Μάιος 2001	Συνεργάτης της ΤΟΜΗ ΑΤΕ. Στα πλαίσια αυτής της συνεργασίας τοπογραφική υποστήριξη και επίβλεψη στο Έργο Αντιπλημμυρική Προστασία Ν. Περάμου.
Μάιος 2000 - Νοέμ. 2000	Συνεργασία με το Τεχνικό Γραφείο Ε. Δασκαλάκη & συνεργάτες.
Δεκ. 2000 - Μάρ. 2001	Συνεργασία με την εταιρεία Αμύντας στο έργο διαπλάτυνση επαρχιακής οδού Λιβαδερό - Σιδηρόνερο στο Ν. Δράμας.
Μάρτ. 2001 - Οκτ. 2001	Συνεργασία με την εταιρεία ΑΒΕΝ ως υπεύθυνη Πωλήσεων Οργάνων Δορυφορικού Εντοπισμού GPS.
Ιαν. 2002 - σήμερα	Υπάλληλος με σύμβαση Α.Χ. στο εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας του Ε.Μ.Π.

Διδακτικές Δραστηριότητες

1998 - 2001 & 2011 - σήμερα	Συμμετοχή στη διδασκαλία των ασκήσεων του μαθήματος Δορυφορική Γεωδαισία στη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Ε.Μ.Π.
-----------------------------	--

2000 - 2011	Συμμετοχή στη διδασκαλία των ασκήσεων του μαθήματος Ανώτερη Γεωδαισία στη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Ε.Μ.Π.
2007 - σήμερα	Συμμετοχή στη διδασκαλία του μαθήματος Μεγάλες ασκήσεις Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας.
2005 - σήμερα	Συμμετοχή στο Μάθημα Εφαρμογές Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας στη Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Ε.Μ.Π.

Συμμετοχή στην επίβλεψη Διπλωματικών εργασιών

1. Προσδιορισμός τεκτονικών μετατοπίσεων στην περιοχή της Χαλκιδικής από τρεις σειρές δορυφορικών μετρήσεων (Φυτάς 2002)
2. Πλοήγηση ρομποτικού μηχανισμού με χρήση τεχνολογιών GPS και τηλεμετρίας Laser (Δανέζης 2002)
3. Γεωδαιτικός προσδιορισμός μετατοπίσεων στον Πατραϊκό κόλπο (Μπίτης 2003)
4. Γεωδαιτικός Προσδιορισμός τεκτονικών μετατοπίσεων στη Νότια Πελοπόννησο (Αντζελέτος 2003)
5. Διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των τεκτονικών ρηγμάτων μέσω της μεταβολής των τάσεων Coulomb (Τσίνας 2004)
6. Γεωδαιτική παρακολούθηση της τεχνητής λίμνης του Μόρνου (Αλμπάνη 2004)
7. Γεωδαιτικός προσδιορισμός πιθανών τεκτονικών μετατοπίσεων (Αναγνώστου 2004)
8. Μοντέλα επίλυσης Δικτύων GPS με το πρόγραμμα BERNESE - Συγκρίσεις με το πρόγραμμα GAMIT (Κοκολέτσος 2005)
9. Μελέτη παραμορφώσεων στον κορινθιακό Κόλπο κατά το χρονικό διάστημα 1993 - 2001 (Πολυκρητη)
10. Επίδραση του σεισμού της Σουμάτρας το 2004 στη θέση των σταθμών GPS Διονύσου και Λευκάδας (Δάρας 2006)
11. Γεωδαιτικές μετρήσεις και υπολογισμοί στη Κεντρική και Νότια Ελλάδα (Κεμερίδης 2009)
12. Μελέτη των τεκτονικών μετατοπίσεων στο Ιόνιο με ανάλυση χρονοσειρών GPS (Αναστασίου 2009)

13. Διερεύνηση μεθόδων συνόρθωσης μεγάλων δικτύων GPS για την παρακολούθηση μετακινήσεων – Εφαρμογή στην Εύβοια (Παπανικολάου 2009)
14. Επεξεργασία παρατηρήσεων GPS και σύγκριση αποτελεσμάτων από δύο διαφορετικά πακέτα προγραμμάτων υψηλής ακριβείας (Τζαβάρας 2010)
15. Δορυφορικές γεωδαιτικές μετρήσεις για μελέτη μικρομετακινήσεων στην περιοχή της λίμνης Κάρλα (Πιτσικάλης 2011)
16. Τεκτονικές Μετακινήσεις Στην Περιοχή Κοζάνης Γρεβενών (Στρατάκης 2012)
17. Γεωδαιτικός προσδιορισμός δικτύου παρακολούθησης κατολίσθησης (Κανελλόπουλος 2012)
18. Αυτόματη Επεξεργασία Δορυφορικών Δεδομένων (Καβαλάρης 2013)
19. Γεωδαιτικός Προσδιορισμός Τεκτονικών Μετατοπίσεων στην Χαλκιδική (Αλατζά 2013)
20. Τάσεις Coulomb με δεδομένα από ιστορικούς σεισμούς (Γεροδήμος 2013)
21. Μελέτη της Ιονόσφαιρας στην Ελλάδα μέσω της επεξεργασίας παρατηρήσεων GPS (Φαρμακίδου 2013)

Ερευνητικές Δραστηριότητες

1. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Μετρήσεις GPS στο Ελληνικό Τόξο. Αναγνώριση, τοποθέτηση σημείων, Α φάση μετρήσεων και ανάλυσης, (1989), Β φάση μετρήσεων και ανάλυσης σε ένα υποσύνολο των σημείων (1990), Γ φάση μετρήσεων και ανάλυσης (1991), Δ φάση μετρήσεων και ανάλυσης (1993)”.
2. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Έλεγχος μετατοπίσεων με παρατηρήσεις GPS στην ευρύτερη περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου” (1993, 1994, 2006)
3. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου στο Ερευνητικό πρόγραμμα “Έλεγχου μετατοπίσεων με παρατηρήσεις GPS στην περιοχή Κοζάνης - Γρεβενών” (1995, 1998, Σεπτέμβριος 2000).
4. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου για τον προσδιορισμό των τεκτονικών μετατοπίσεων στην ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (GPS), 1997, 2005.
5. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Overall GPS Strain

- Determination and Assessment of Seismic Hazard in Greece (SING)” 1998, 2000.
6. Συμμετοχή στις εργασίες πεδίου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Demonstrating the Utility of SAR Differential Interferometry for the Assessment of Earthquake risk (SNAP)” 2000.
 7. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου και γραφείου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Τεκτονικές μετατοπίσεις κατά μήκος του Αιγαίου και στο τρίγωνο Αλκυονίδες - Αττάλанта - Πάρνηθα” 2002.
 8. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου για τον προσδιορισμό των τεκτονικών μετατοπίσεων στην ευρύτερη περιοχή του Πατραϊκού κόλπου με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (GPS), 2006.
 9. Συμμετοχή στις εργασίες γραφείου στον ερευνητικό πρόγραμμα “Παροχές συμβούλου στον υπολογισμό συντεταγμένων στο ITRF2006” Κτηματολόγιο.
 10. Συμμετοχή στις εργασίες γραφείου στον Ερευνητικό πρόγραμμα “Κοινοπραξίες Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης σε τομείς Εθνικής Προτεραιότητας”, Πρόγραμμα “Ανάπτυξη Δικτύου Σεισμολογικών και Γεωδαιτικών Παρατηρήσεων στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων – ΟΔΥΣΣΕΑΣ 2006”.
 11. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου και γραφείου στο ερευνητικό πρόγραμμα “Μετρήσεις εδαφικών παραμορφώσεων στην Νότια Θεσσαλία με χρήση διαστημικής γεωδαισίας (GPS)”, 2009.
 12. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου και γραφείου στο Ερευνητικό Πρόγραμμα “Ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της αστάθειας κλιτύων για την πρόληψη κατολισθήσεων και εκπαίδευση των τοπικών δημοσίων αρχών στην Περιφέρεια Πελοποννήσου” (Κωδικός ΕΟΧ: EL0071), 2011.
 13. Συμμετοχή στις εργασίες υπαίθρου και γραφείου στο Ερευνητικό Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ: Ανάπτυξη Μοντέλου Επικινδυνότητας Κατολισθήσεων με χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης και Συμβολομετρίας, 2013 - σήμερα.
 14. Συμμετοχή στις εργασίες γραφείου στο ερευνητικό πρόγραμμα ΘΑΛΗΣQ SEISMO FEAR HELLARC Integrated understanding of SEISmicity, using innovative Methodologies of Fracture mechanics along with EARthquake and non extensive statistical physics – Application to the geodynamic system of the HELLenic ARC, 2013 - σήμερα.

Δημοσιεύσεις

(α) Σε επιστημονικά περιοδικά

1. “Τεκτονικές μετατοπίσεις κατά μήκους του Αιγαίου και στο τρίγωνο Αλκυονίδες νήσοι - Πάρνηθα - Αταλάντη”. Βέης , Μπιλλήρης, Παπαζήση , Παραδείσης, Μαρίνου. Τεχν. Χρονικά, Επιστ. Εκδόσεις ΤΕΕ, Ι . Τευχ. 3, 2007
2. Permanent Scatterer InSAR Analysis and Validation in the Gulf of Corinth. Panagiotis Elias, Charalabos Kontoes, Ioannis Papoutsis, Ioannis Kotsis, Aggeliki Marinou, Dimitris Paradissis and Dimitris Sakellariou. Sensors 2009, 9, 46-55, doi:10.3390/s90100046
3. GPS-derived estimates of crustal deformation in the central and North Ionian Sea, Greece: 3-yr results from NOANET continuous network. Ganas A. Marinou D. Anastasiou Paradissis K. Papazissi P Tzavaras G. Drakatos. Journal of Geodynamics 67 (2013) 62-71
4. Static stress changes and fault interactions in the Lefkada Island (Ionian Islands-Greece). C. Mitsakaki, Th. Rondoyanni, D. Anastasiou, K. Papazissi, A. Marinou, M. Sakellariou. Journal of Geodynamics 67 (2013) 53-61
5. Joint approach using satellite techniques for slope instability detection and monitoring. George Drakatos, Demetris Paradissis, Demitris Anastasiou, Panagiotis Elias, Aggeliki Marinou, Konstantinos Chousianitis, Xanthos Papanikolaou, Evangelos Zacharis, Panagiotis Argyrakisa, Kalliopi Papazissi, and Konstantinos Makropoulos. International Journal of Remote Sensing, Vol. 34, No. 6, 20 March 2013, 1879–1892
6. Συγκρίσεις αποτελεσμάτων από διαφορετικά λογισμικά επεξεργασίας μετρήσεων GPS. Μαρίνου Α., Παπανικολάου Ξ., Παραδείσης Δ., Αναστασίου Δ., Τζαβάρας Π., Ζαχαρής Β., Παπαζήση Κ., Μητσακάκη Χ. 2013 έχει υποβληθεί στα Τεχνικά Χρονικά
7. Geodetic evidence for E-W crustal block boundary along the Kaparelli fault (south Viotia region, central Greece). Aggeliki Marinou, Athanassios Ganas, Kalliopi Papazissi and Demitris Paradissis. Annals of Geophysics, 2013, submitted.

(β) Σε πρακτικά συνεδρίων

1. “Deformation Studies in the Corinthian Gulf via multi epoch Analysis of Geodetic Data”. A.M. Agatza-Balodimou, A. Avallone , P.Briole, S.Karamitsos, A. Marinou,

- C. Mitsakaki, K.Papazisi, G. Veis. 11th International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25-28 May 2003
2. "Assessment of Coulomb Stress Changes Associated with the 1995 Aigion Earthquake in the Gulf of Corinth (Greece)". C. Mitsakaki, M. Sakellariou, D. Tsinas, A. Marinou. International Symposium on geodetic Deformation monitoring: From Geophysical to engineering roles. Jaen, Spain. 17-19 March 2005
 3. "Coulomb stress in the gulf of Corinth (Greece) for the 1992-1995 period". C. Mitsakaki, K. Papazisi, M. Sakellariou, A. Marinou, D. Tsinas. 3rd IAG, 12th FIG symposium, Baden, May 22-24, 2006
 4. Evaluating large volume GPS data for deformation studies. C. Mitsakaki, A. Marinou, X. Papanikolaou, K. Papazissi. 7th FIG Regional Conference Spatial data serving people: Land Governance and the Environment - Building the Capacity, Hanoi, Vietnam, 19-22 October 2009

(γ) Τμητικοί τόμοι

1. "Tectonic Displacements along the Aegean and from the Alkyonides Islands to Par-nitha And Atalanti". H. Billiris, I. Galanis, A. Marinou, C.Papazissi, D. Paradissis, C. Raptakis, G. Veis. The eleventh general Assembly of Wegener, Athens. 12-14 Jun, 2002
2. A ten year analysis of deformation in the Corinthian Gulf via GPS and SAR Interferometry. Briole P., Avallone A., Agatza-Balodimou A.M., Billiris H., Charade O., Lyon-Caen H., Mitsakaki C., Papazissi K., Paradissis D., Veis G., Karamanou A., Marinou A. 11th International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25-28 May 2003.
3. "Deformation Studies in the Corinthian Gulf via multi epoch Analysis of Geodetic Data". A.M. Agatza-Balodimou, A. Avallone, P. Briole, S. Karamitsos, A. Marinou, C. Mitsakaki, K. Papazisi, G. Veis. 11th International Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Greece), 25-28 May 2003
4. "Assessment of Coulomb Stress Changes Associated with the 1995 Aigion Earthquake in the Gulf of Corinth (Greece)". C. Mitsakaki, M. Sakellariou, D. Tsinas, A. Marinou. International Symposium on geodetic Deformation monitoring: From Geophysical to engineering roles. Jaen, Spain. 17-19 March 2005
5. "Coulomb stress in the gulf of Corinth (Greece) for the 1992-1995 period". C. Mitsakaki, K. Papazisi, M. Sakellariou, A. Marinou, D. Tsinas. 3rd IAG, 12th FIG sym-

- posioum, Baden, May 22-24, 2006
6. "Crustal deformation along the Aegean Sea from GPS observations". A. Marinou, H. Billiris, K. Papazissi, D. Paradissis, G. Veis. XIII Assembly of Wegener, Nice, 4-7 September, 2006
 7. "Preliminary results from GPS measurements along the Kaparelli Fault, central Greece". A. Marinou, A. Ganas, J. Bosy, D. Paradissis, G. Drakatos, B. Kontny, S. Cacon, and K. Papazissi. 14th General Assembly of WEGENER - WEGENER 2008. September 15-18, 2008 Darmstadt, Germany
 8. "Evaluating large volume GPS data for deformation studies." C. Mitsakaki, A. Marinou, X. Papanikolaou, K. Papazissi. 7th FIG Regional Conference Spatial data serving people: Land Governance and the Environment - Building the Capacity, Hanoi, Vietnam, 19-22 October 2009
 9. "Crustal Deformation from GPS measurements at the Ionian Sea: Preliminary Results". D. Anastasiou, D. Paradissis, A. Ganas, A. Marinou, K. Papazissi, G. Drakatos, K. Makropoulos. 2009, International Technical Laser Workshop on SLR Tracking of GNSS Constellations, Metsovo, Greece, 14-19 September 2009.
 10. "Crustal Deformation from GPS measurements at the Ionian Sea: Results from 3 years of observations". D. Anastasiou, D. Paradissis, A. Ganas, A. Marinou, K. Papazissi, G. Drakatos, K. Makropoulos. 2009 2nd International Workshop "Advances in understanding crustal deformation in SE Europe using GNSSystems", Nevrokopi, Eastern Macedonia, Greece, 20-21 November 2009
 11. "Processing large volume GPS data via Bernese V4.2 software". Christiana Mitsakaki, Aggeliki Marinou, Xanthos Papanikolaou, Kalliope Papazissi. International Technical Laser Workshop on SLR Tracking of GNSS Constellations, Metsovo, Greece, 14-19 September 2009.
 12. "Statistical evaluation of the deformation pattern derived from GPS data for the Kaparelli area". Papanikolaou X, Papazissi K, Ganas A, Paradissis D, Mitsakaki C, Marinou A, Bosy J, Drakatos G, Kontny B, Cacon S. 2nd International Workshop "Advances in understanding crustal deformation in SE Europe using GNSSystems", Nevrokopi, Eastern Macedonia, Greece, 20-21 November 2009
 13. An automated processing scheme designed for all available permanent GPS stations in Greece. Xanthos Papanikolaou, Aggeliki Marinou, Christiana Mitsakaki, Kalliope Papazissi, Demitris Paradissis, Vangelis Zacharis, Demitris Anastasiou. 15th

- General Assembly of WEGENER 2010. September 14-17, 2010, Bogazici University, Istanbul, Turkey
14. Crustal deformation in the Patras Gulf, Greece, from GPS data analysis. Demitris Anastasiou, Aggeliki Marinou, Christiana Mitsakaki, Kalliope Papazissi, Xanthos Papanikolaou, Demitris Paradissis. 15th General Assembly of WEGENER 2010. September 14-17, 2010, Bogazici University, Istanbul, Turkey
 15. Deformation studies in the Kaparelli Area, Central Greece. Aggeliki Marinou, Athanasios Ganas, Xanthos Papanikolaou, Jaroslaw Bosy, Kalliope Papazissi, Demitris Anastasiou, Demitris Paradissis, George Drakatos, Bernard Kontny, Stefan Cacon, Marios Papanikolaou. 15th General Assembly of WEGENER 2010. September 14-17, 2010, Bogazici University, Istanbul, Turkey
 16. Static Stress Changes and Fault Interactions in the Lefkada Island (Ionian Islands-Western Greece). Christiana Mitsakaki, Demitris Anastasiou, Aggeliki Marinou, Kalliope Papazissi, Demitris Paradissis, Michalis Sakellariou (Greece), 15th General Assembly of WEGENER 2010. September 14-17, 2010, Bogazici University, Istanbul, Turkey
 17. "Estimating Tectonic Velocities in the Ionian Region." A. Marinou, X. Papanikolaou, D. Paradissis, D. Anastasiou, P. Tzavaras, V. Zacharis, K. Papazissi, C. Mitsakaki. EGU General Assembly 2011, Vienna Austria, 3-8 April 2011.
 18. A precise gravimetric geoid model for the Gulf of Corinth (KTH-COR12). I. Daras , K. Papazissi , R. Pail , A. Marinou and D. Fairhead. EGU General Assembly 2011, Vienna Austria, 22 – 27 April 2012
 19. Monitoring slope instability using a combined GPS and InSAR approach. Drakatos G., Paradissis D., D. Anastasiou D., Elias P., Marinou A., Chousianitis K., Papanikolaou X., Zacharis V., Argyrakis P., Papazisi K., and Makropoulos K.. 33rd General Assembly, European Seismological Commission, August 19-24, 2012, Moscow, Russia.
 20. Development of a monitoring platform for slope instability and sliding prevention: preliminary results. Drakatos G., Paradissis D., Anastasiou D., Elias P., Marinou A., Chousianitis K., Papanikolaou X., Zacharis V., Argyrakis P., Papazissi K., Makropoulos K.. EGU General Assembly 2011, Vienna Austria, 22 – 27 April 2012