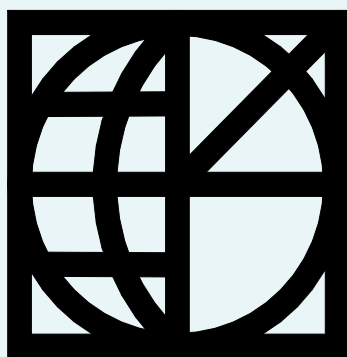


Δορυφορικές παρατηρήσεις GNSS για τον προσδιορισμό τεκτονικών μετατοπίσεων



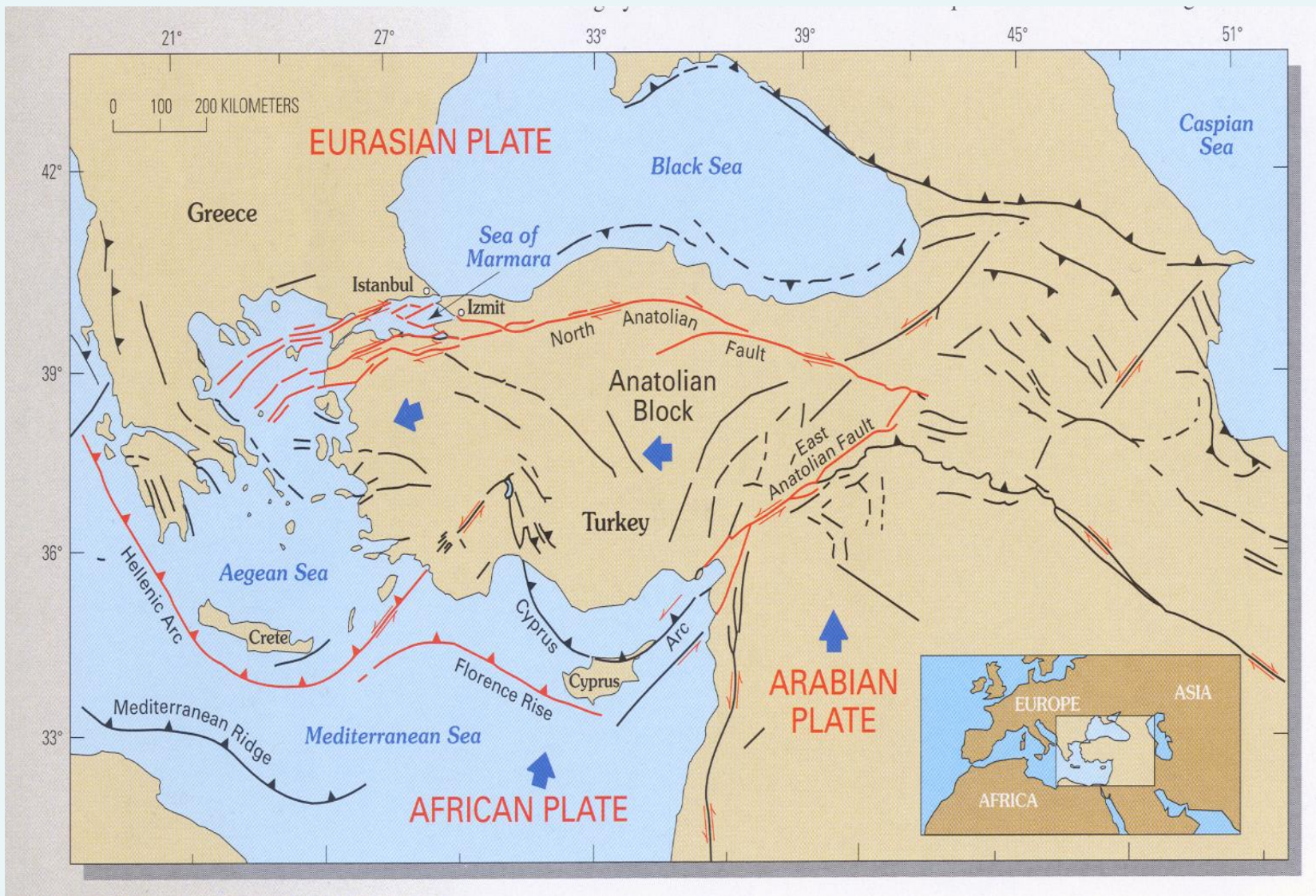
Δ. Παραδείσης, Κ. Ραπτάκης, Ι. Γαλάνης, Ξ. Παπανικολάου

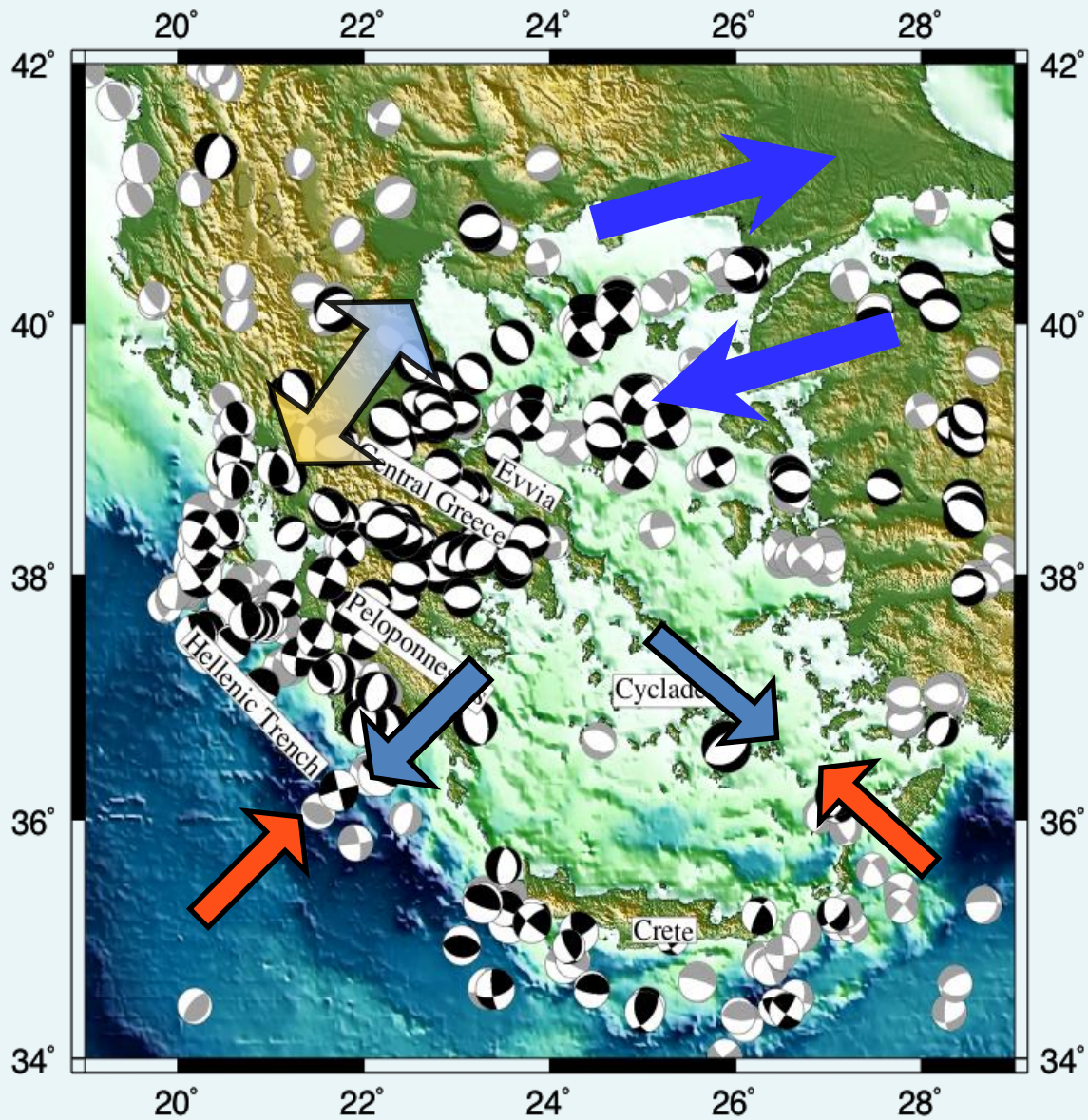
HELPOS - Ελληνικό Σύστημα Παρατήρησης Λιθόσφαιρας
Εκπαιδευτικό Σεμινάριο: Εφαρμογές GNSS και Δορυφορικών
Παρατηρήσεων στην Ανάλυση της Γης



- Η Ελλάδα είναι μια από τις πλέον γρήγορα παραμορφούμενες περιοχές στον κόσμο (40mm/yr στα 500χμ)
- Αυτή η παραμορφώση είναι πολύπλοκη και απρόβλεπτη
- Η ποσοτικοποίηση των κινδύνων απαιτεί γεωδαιτικές μετρήσεις πολύ υψηλής ακριβείας



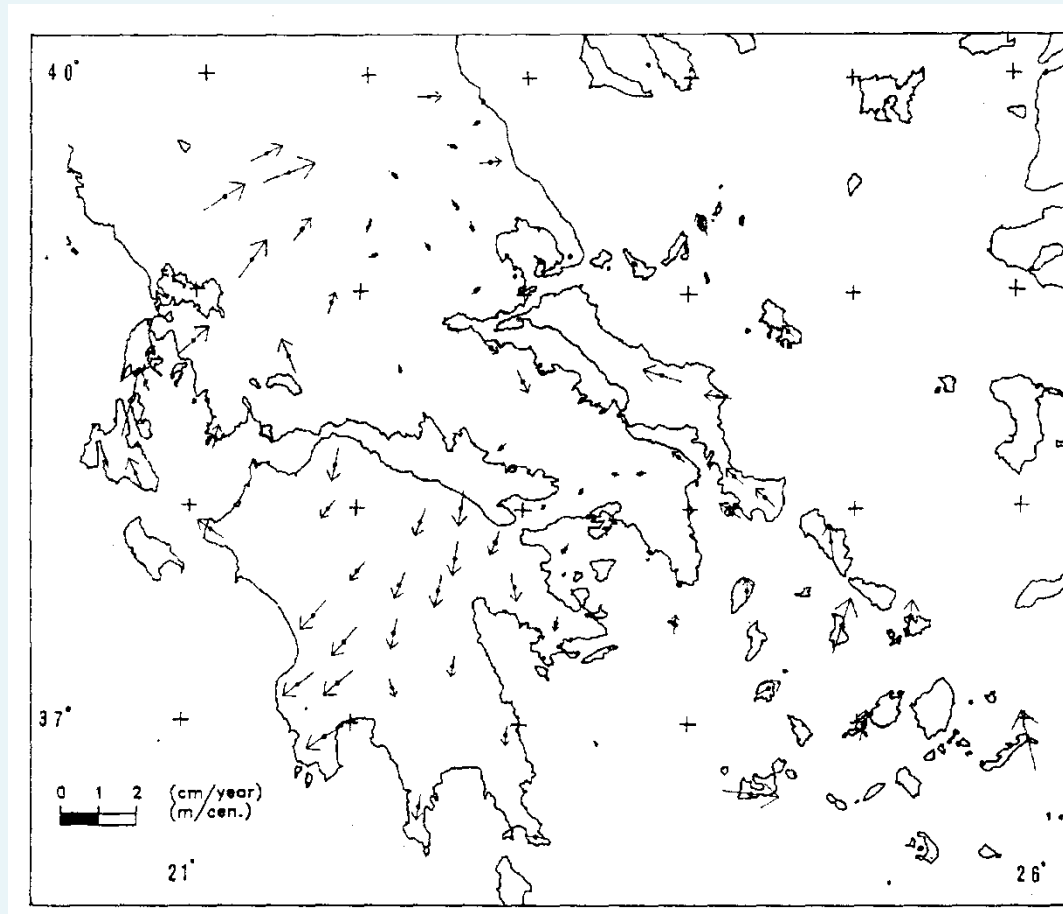




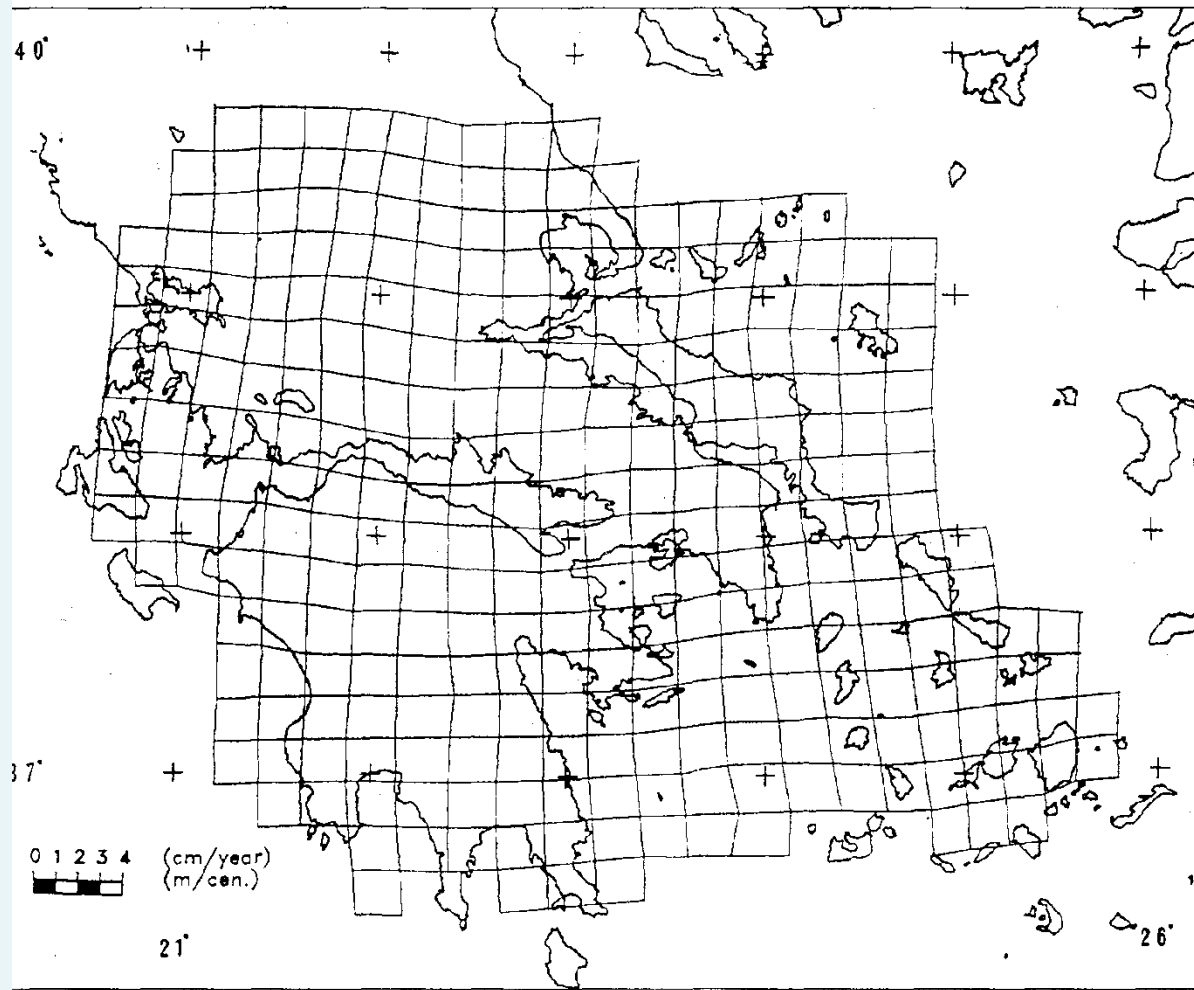
- Πως μπορούμε να περιγράψουμε την παραμόρφωση ;
- Μεγάλες τεκτονικές πλάκες ; (Ευρωπαϊκή, Αφρικανική , Αιγαίου, Ανατολίας ;)
- Λίγες μεσαίου μεγέθους ; (4, 6, 10; ;)
- Πολλές μικρές (30, 100, 300??)



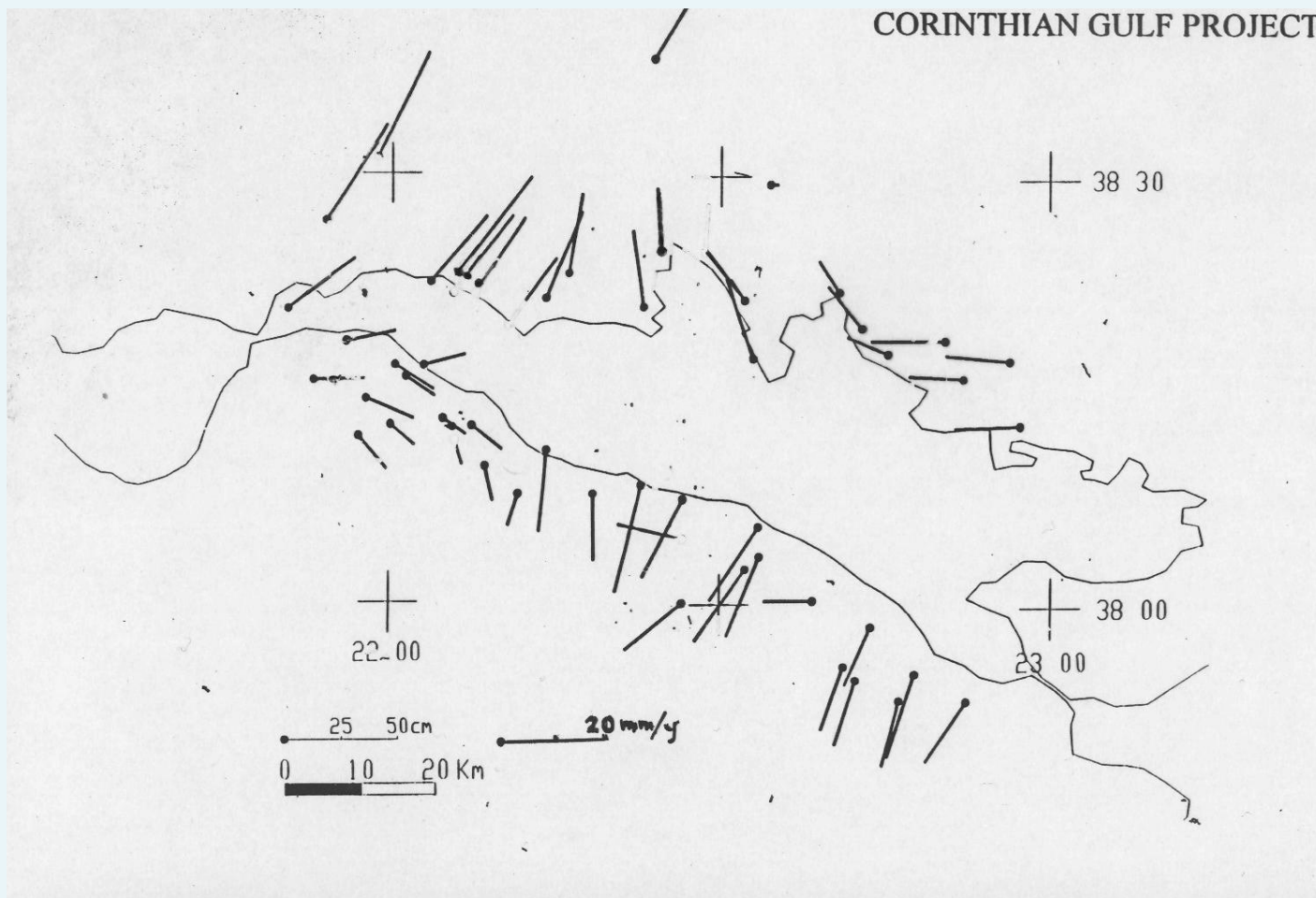
Τεκτονικές ταχύτητες στην κεντρική Ελλάδα και στην Πελοπόννησο

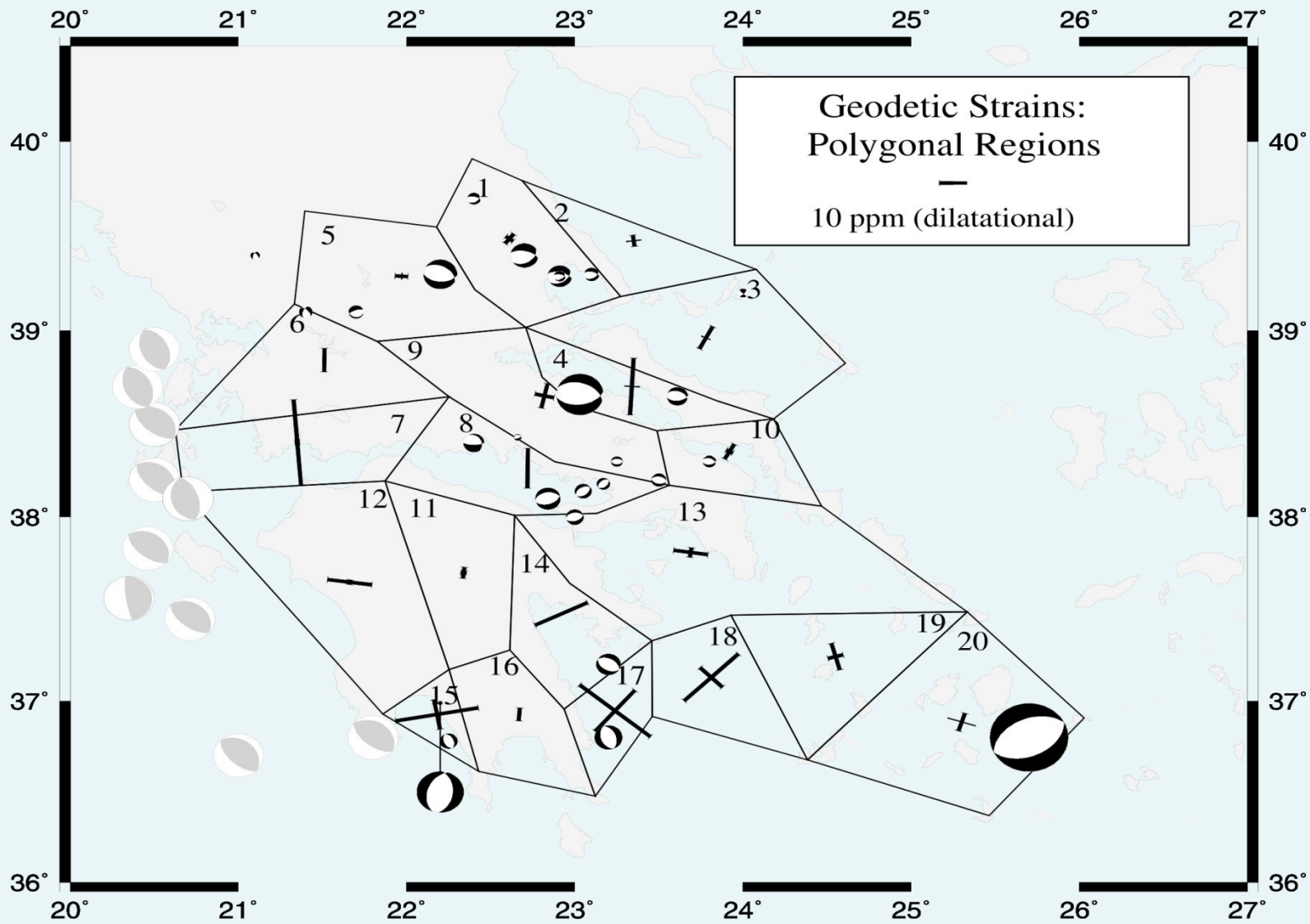


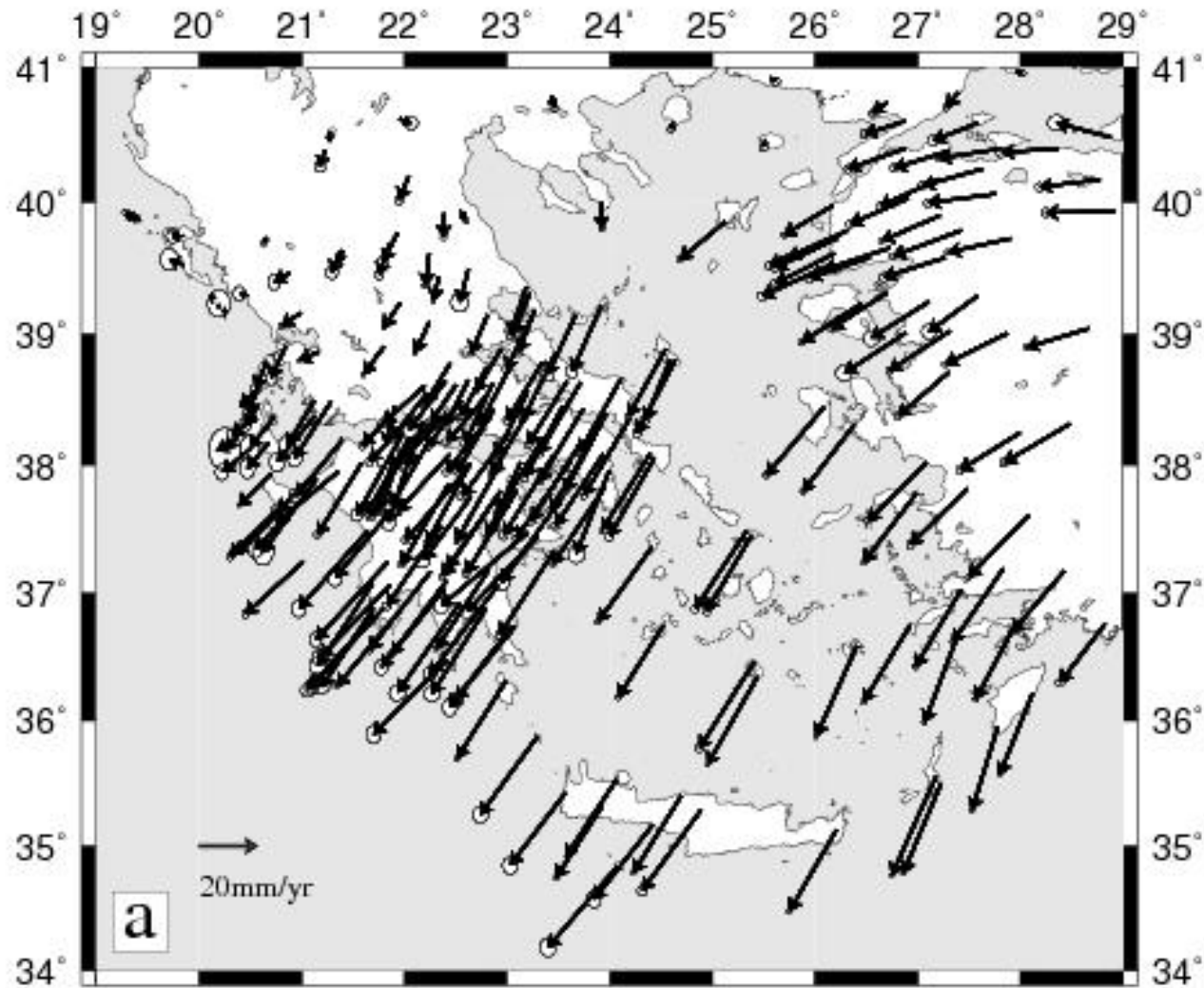
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ

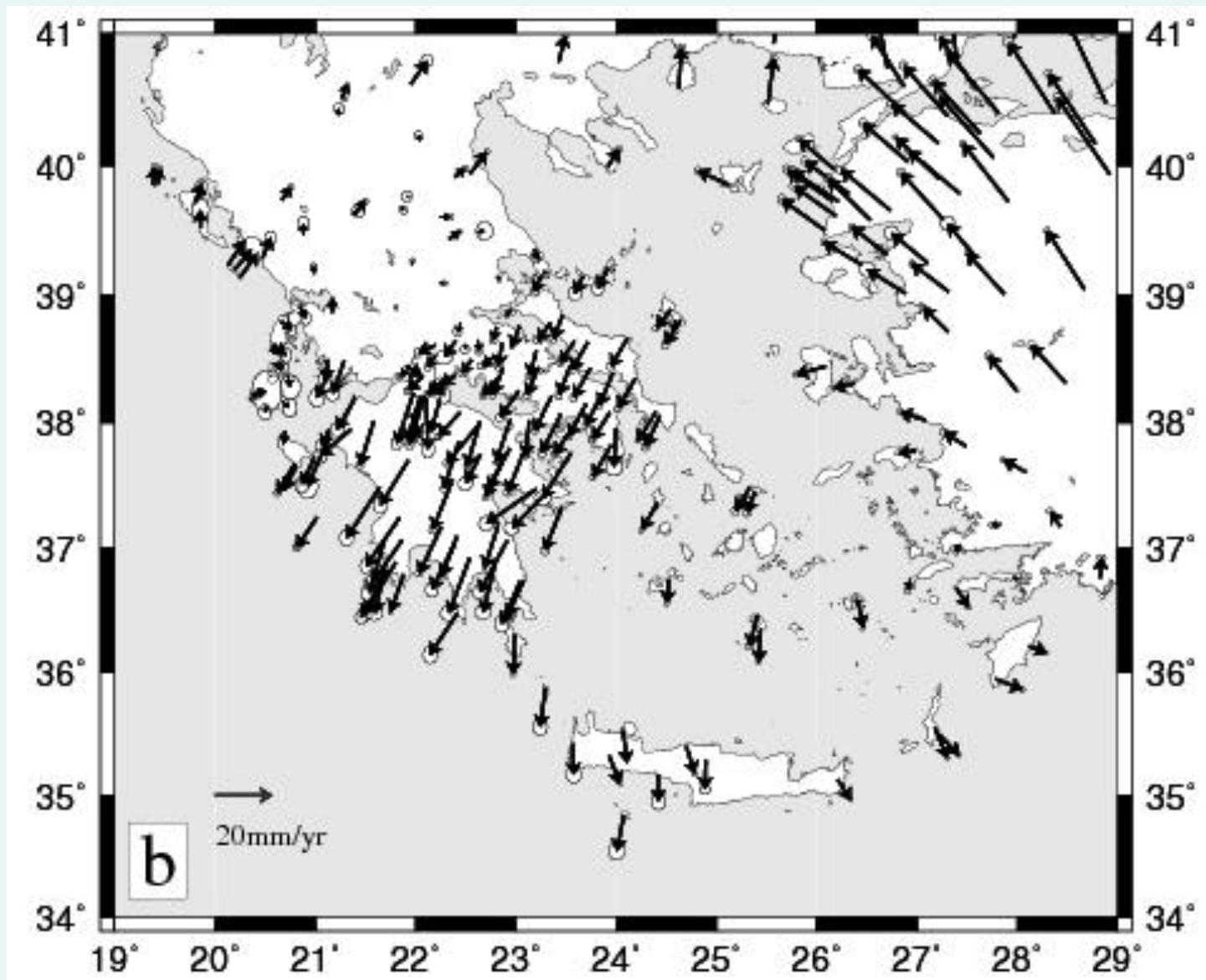


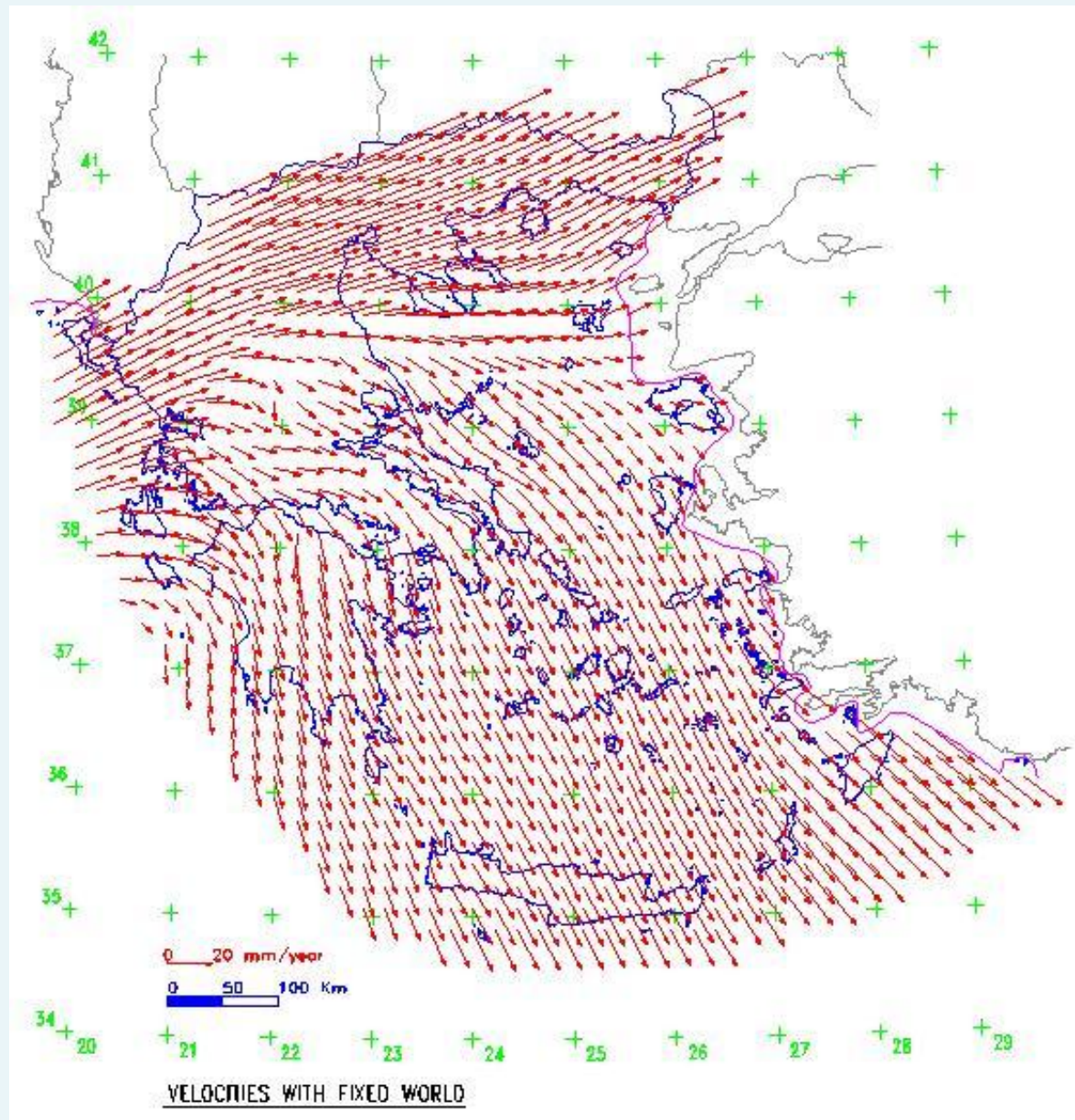
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟ ΚΟΛΠΟ

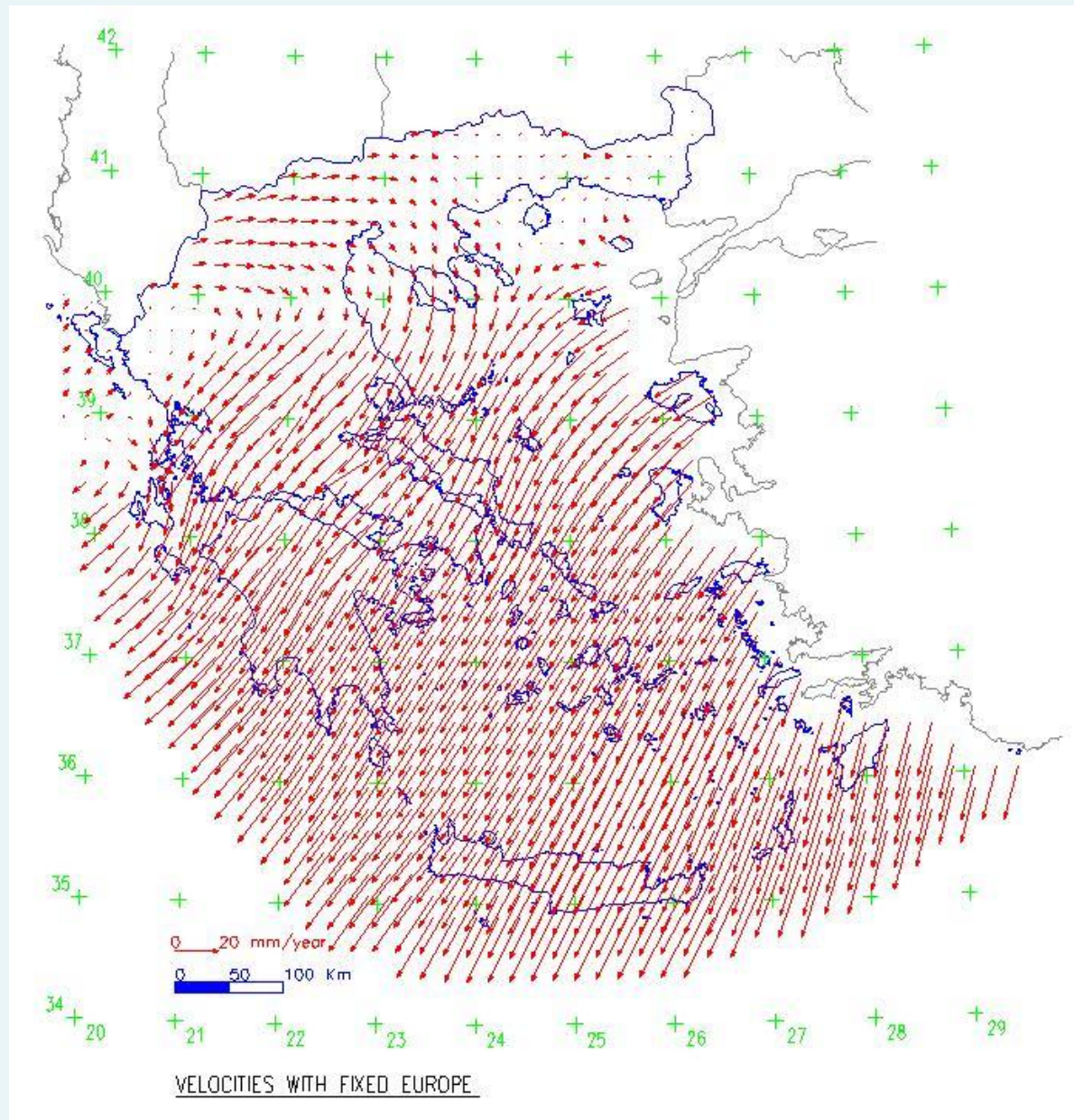












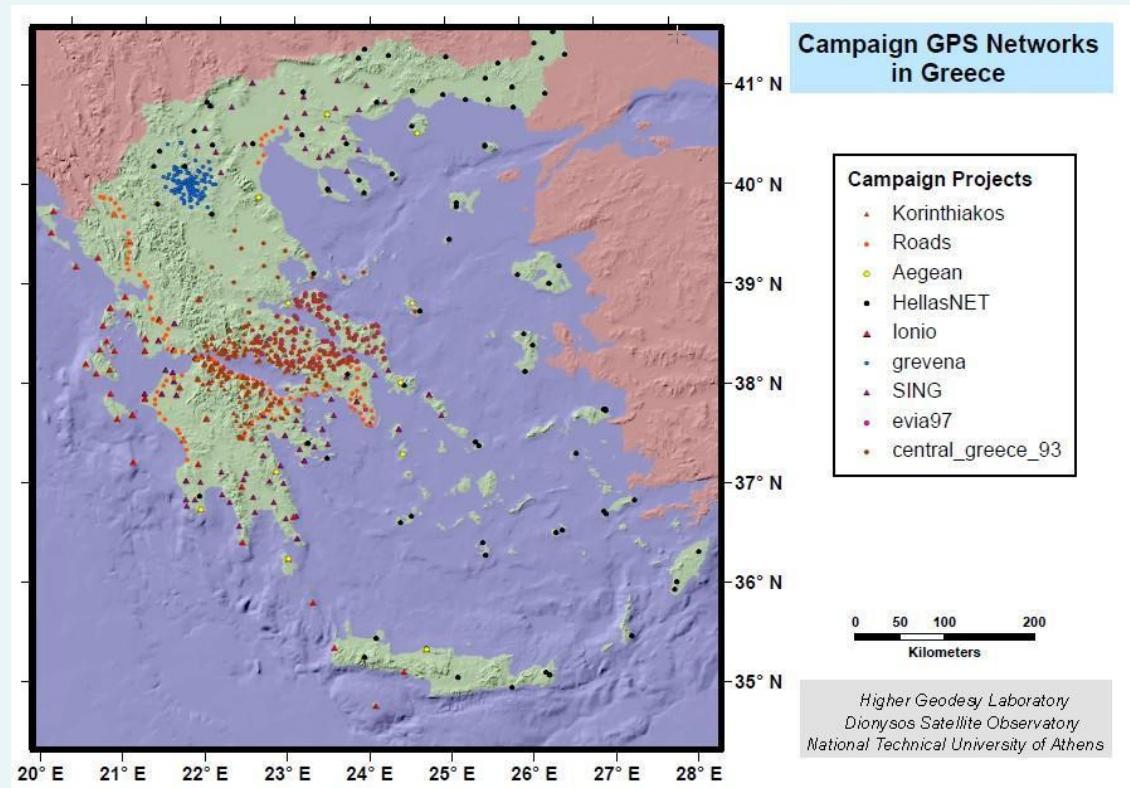


Η υλοποίηση ενός Παγκόσμιου Συστήματος Αναφοράς πραγματοποιείται με χρήση Ευρωπαϊκών Σταθμών πχ:

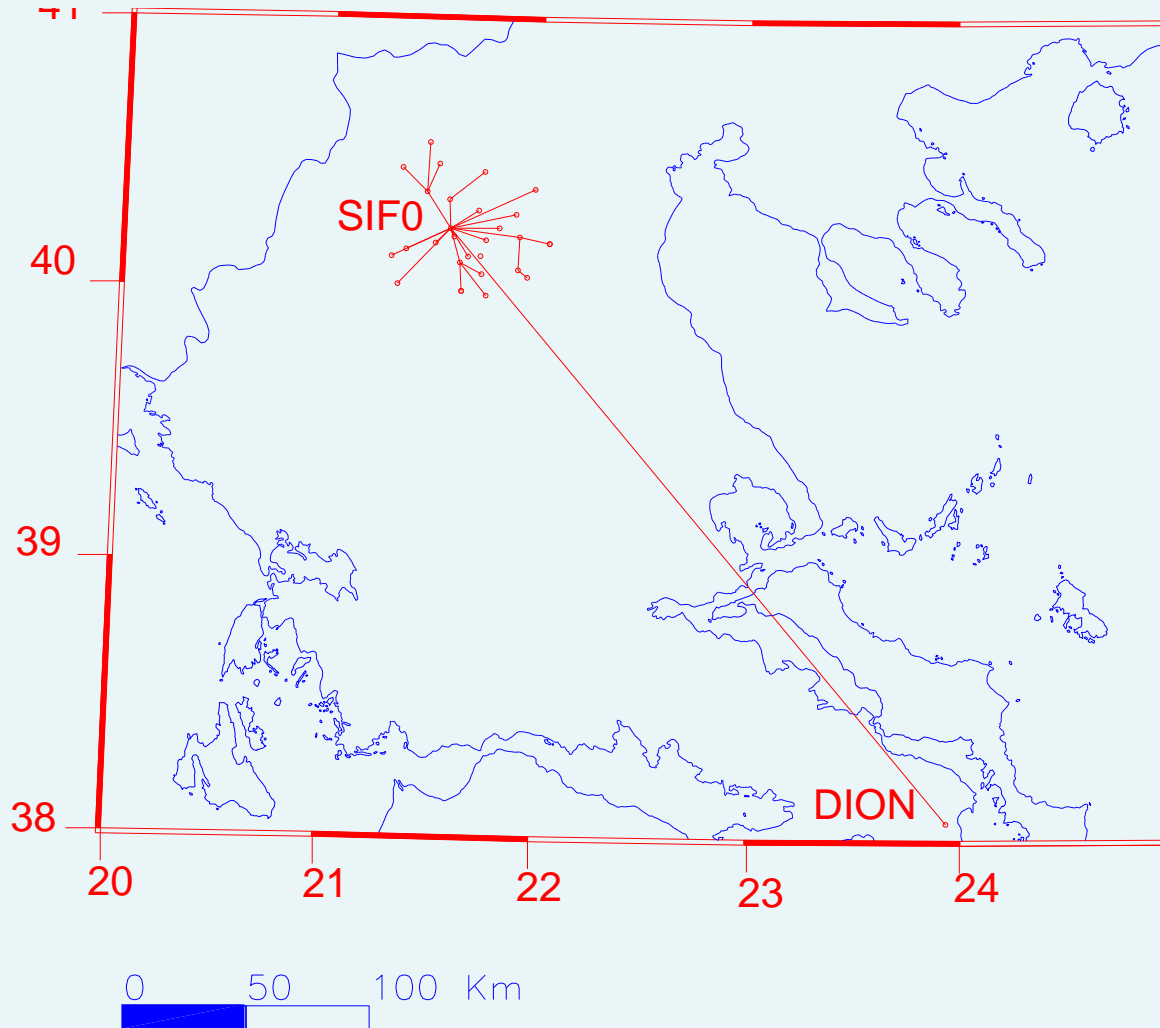
GRAZ
MATERA
WETTZELL

GPS/GNSS στην Ελλάδα – Καμπάνιες

Περισσότερα από 1000 σημεία έχουν μετρηθεί περιοδικά στον Ελλαδικό χώρο (1985–2011) με σκοπό τον προσδιορισμό των τεκτονικών ταχυτήτων και τη συσχέτισή τους με σεισμολογικά δεδομένα



υλοποίηση συστήματος αναφοράς με τοπικό σταθμό

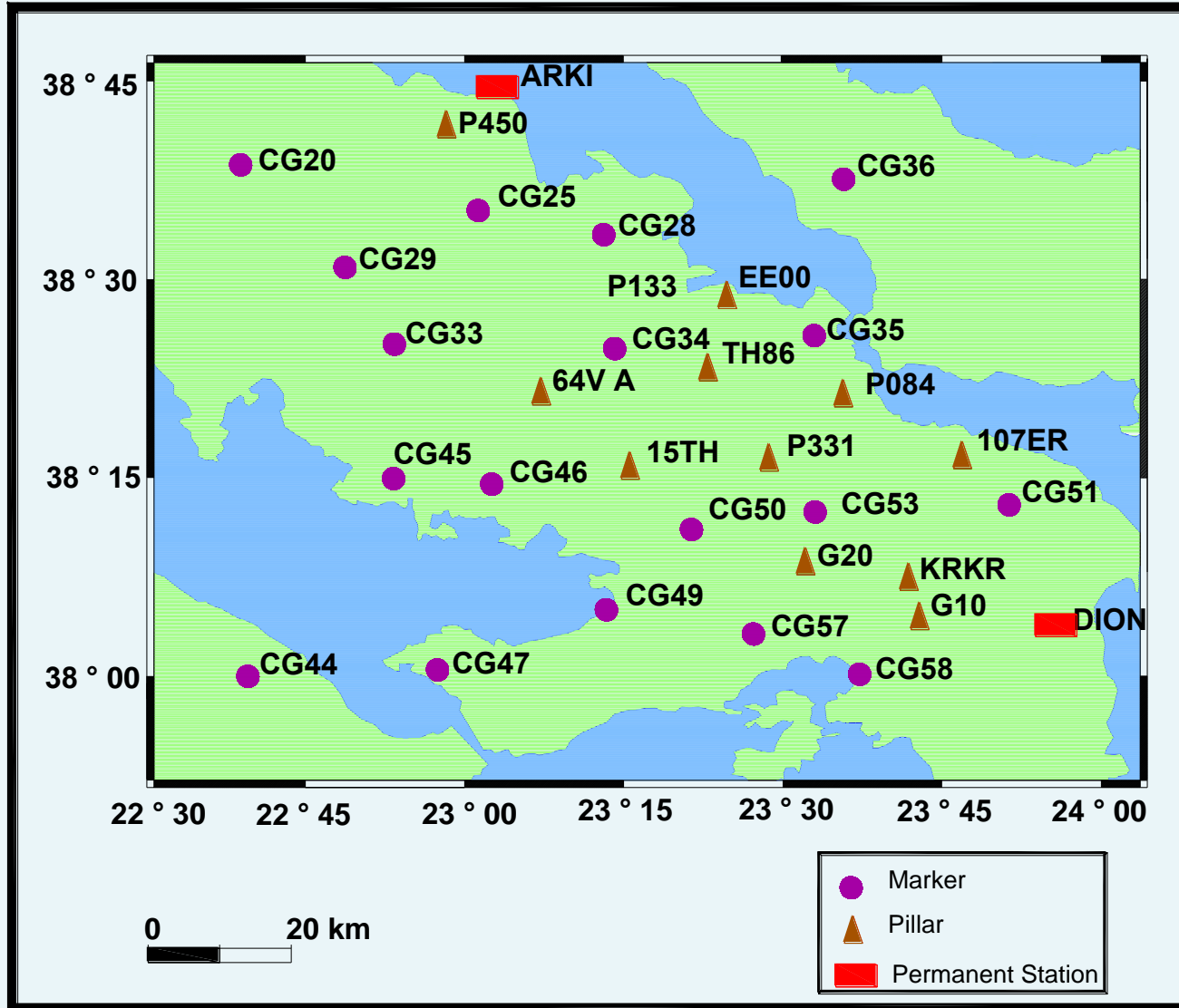


Χρήση του επιστημονικού πακέτου επεξεργασίας Bernese V5.2 για την επίλυση ενός δικτύου ακολουθώντας τις παρακάτω προδιαγραφές :

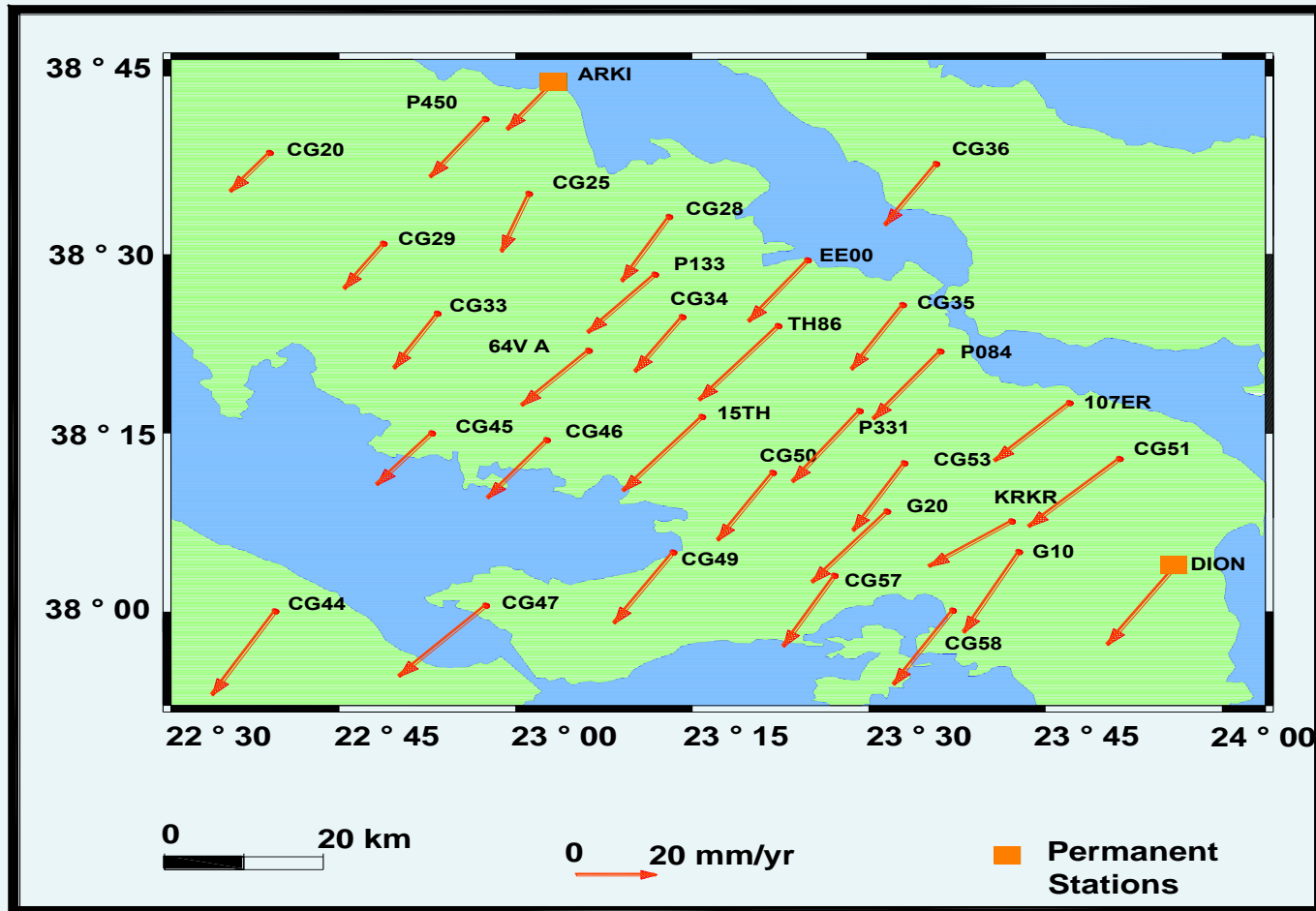
- Χρήση εφημερίδων ακριβείας καθώς και αντίστοιχου πόλου (IGS International Geodetic Service)
- Χρήση αρχείου εκκεντρότητας φάσης από το IGS (International Geodetic Service)
- Αυτόματος έλεγχος απωλειών κύκλων
- Δημιουργία τοπικού μοντέλου τροπόσφαιρας για κάθε ημέρα επίλυσης
- Επίλυση ασαφειών φάσης με την μέθοδο QIF(Quasi Ionosphere Free) .Αποδεκτές βάσεις, με ποσοστό επιλυμένων ασαφειών πάνω από 70%
- Χρήση τοπικού μοντέλου Ιονόσφαιρας για βάσεις μεγαλύτερες από 400 km
- Δημιουργία κανονικών εξισώσεων για κάθε ημέρα (χωρίς δεσμεύσεις)
- Συνδυασμένες λύσεις με την χρήση των ημερήσιων κανονικών εξισώσεων



γεωδυναμική μελέτη σε ένα τοπικό δίκτυο



ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΥΡΩΠΗ



υπολογισμός τανυστών παραμόρφωσης

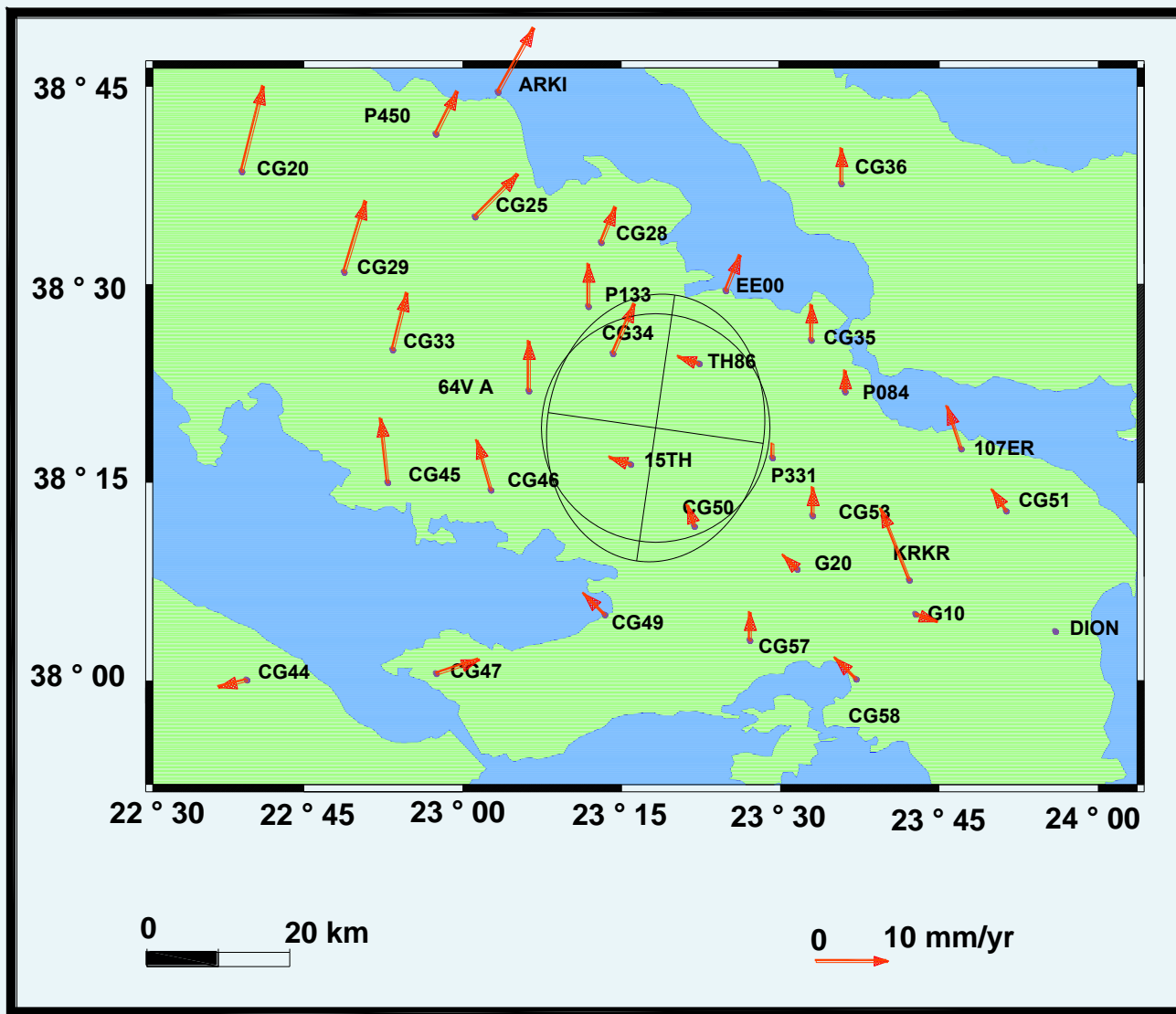
Υποθέσεις:

- Ο φλοιός της γης παραμορφώνεται σε δύο διαστάσεις σε συνάρτηση με τον χρόνο
- Ο φλοιός θεωρείται μια λεπτή θολωτή επιφάνεια πάνω σε μια σφαιρική γη
- Οι χαρτογραφικές παραμορφώσεις θεωρούνται αμελητέες για περιοχές ακτίνας μικρότερης των 5°
- Χρονικές (σεισμοί) και χωρικές (ρήγματα) ασυνέχειες δεν συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς

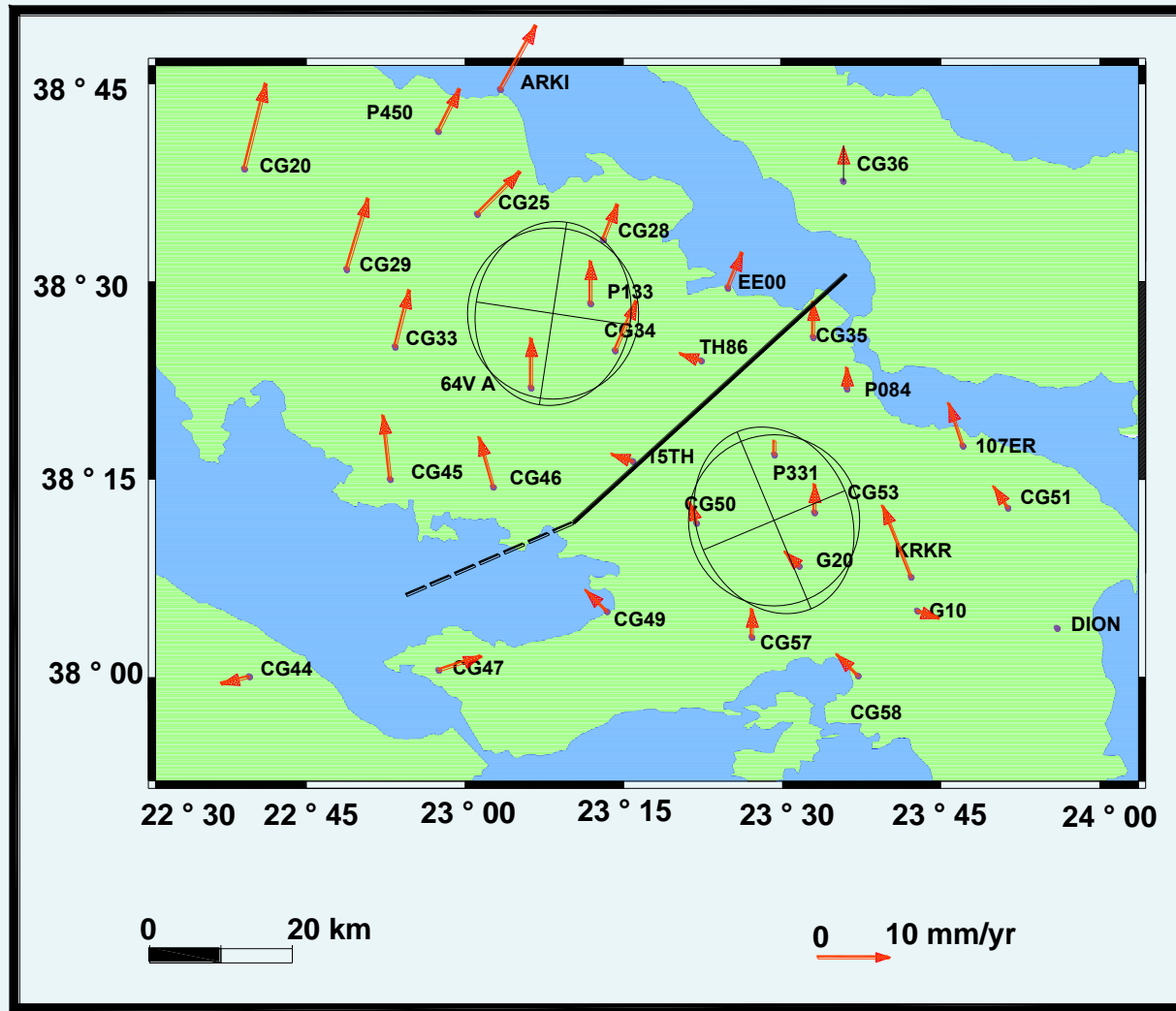
	$X_c(m)$	$Y_c(m)$	$S_x(cm)$	$S_y(cm)$	$K_{max}(ppm)$	$K_{min}(ppm)$	Az(deg)	$\gamma(ppm)$
North Section	423375	4258713	-0.035	0.029	0.031	-0.037	8.529	0.067
South Section	454358	4229715	-0.028	0.035	0.048	-0.041	-22.687	0.089



ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΔΙΟΝΥΣΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΚΑΙ ΤΑΝΥΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



Τεκτονικές ταχύτητες ως προς το Διόνυσο σταθερό και ταυιστές παραμόρφωσης στο βόρειο και νότιο τμήμα

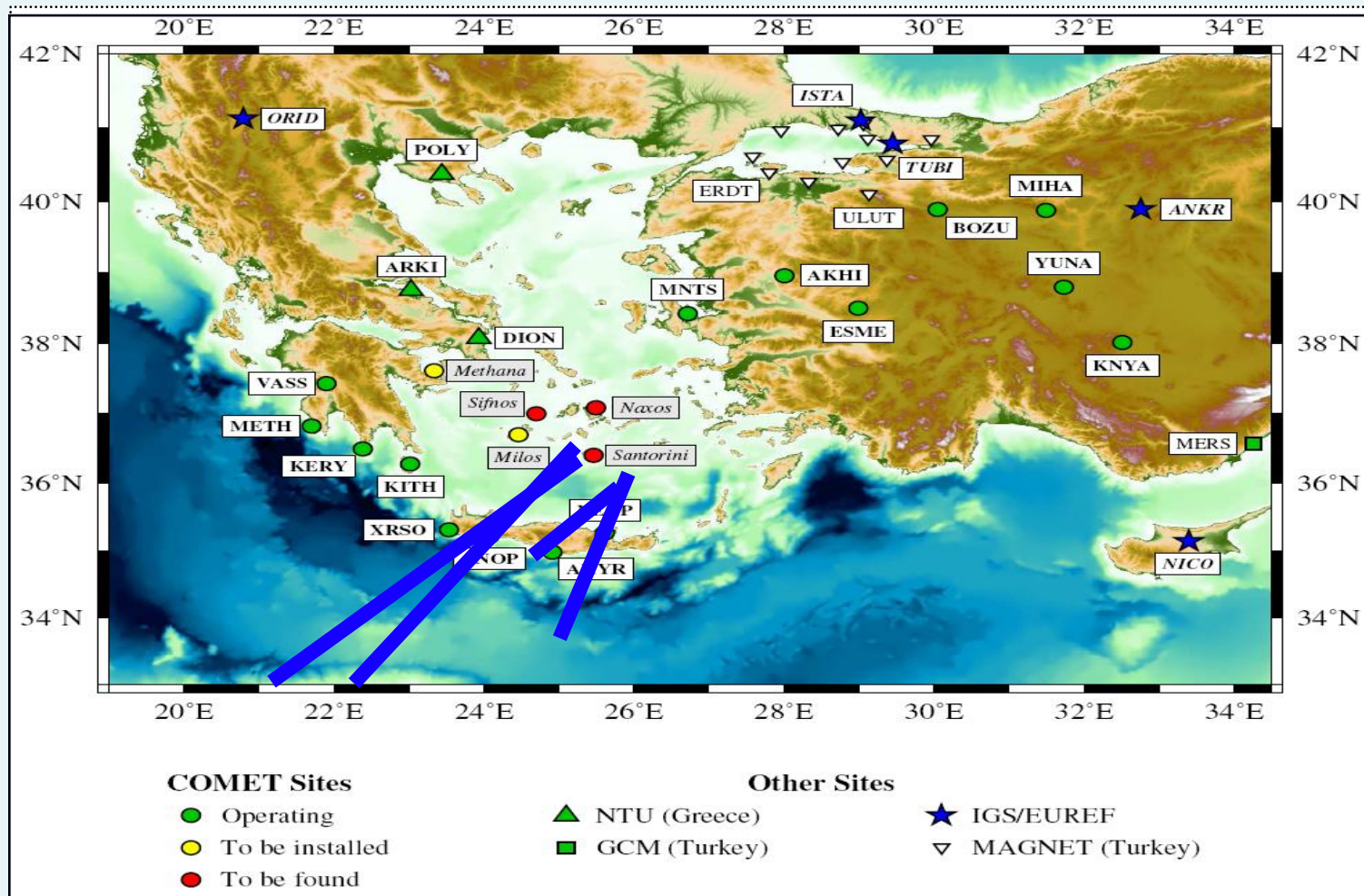


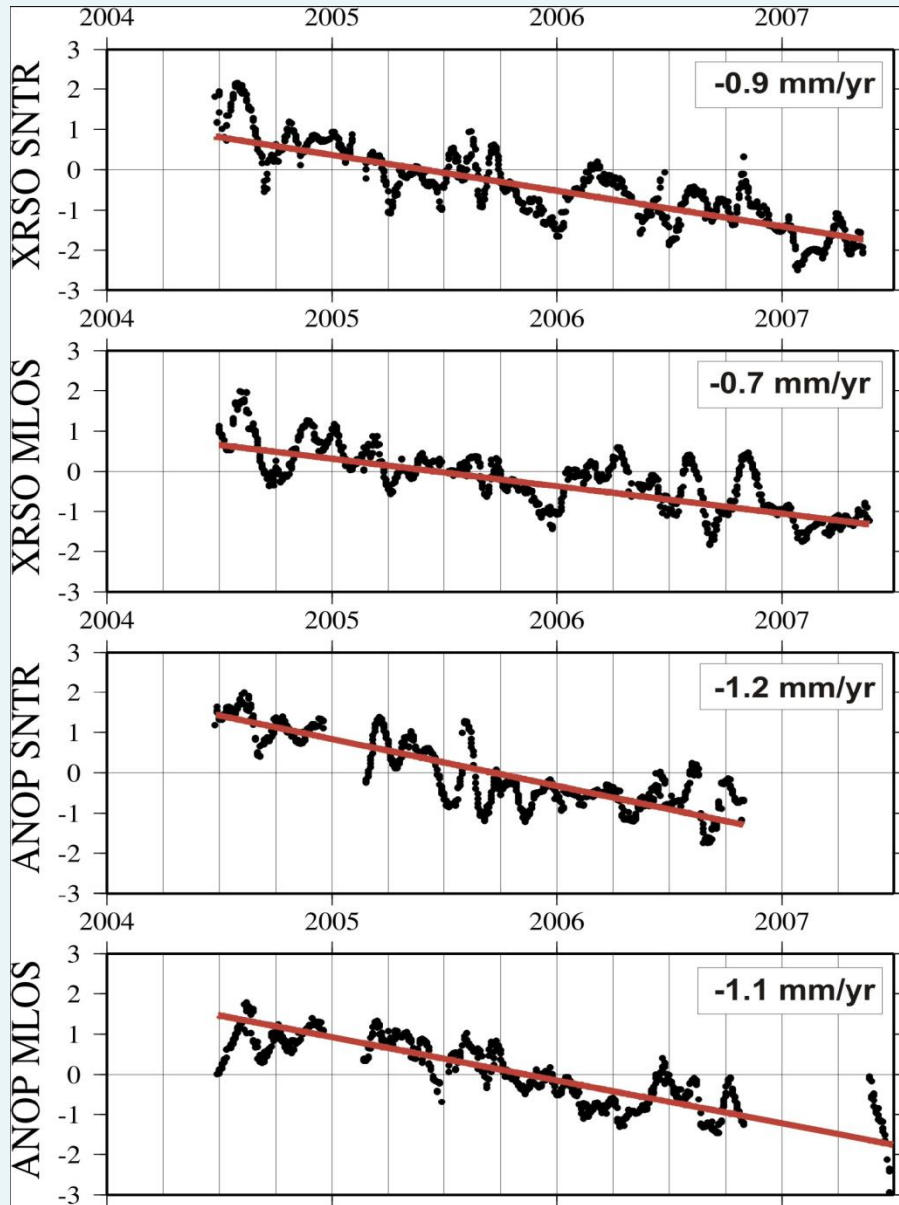
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

ITRF							FIXED EUROPE	
	NORTH		EAST		HEIGHT		NORTH	EAST
STATION	V_n (mm/y)	R^2	V_e (mm/y)	R^2	V_u (mm/y)	R^2	V_n (mm/y)	V_e (mm/y)
POLY	8.0	0.85	21.5	0.89	-4.6	0.34	-3.4	-2.1
NEOH	-1.9	0.27	18.4	0.96	4.2	0.21	-13.3	-5.2
ARKI	-5.1	0.96	13.2	0.98	7.0	0.01	-16.5	-10.4
DION	-12.0	0.95	7.4	0.93	-2.1	0.09	-23.4	-16.2
NEAP	-9.2	0.73	5.6	0.61	6.4	0.12	-20.6	-18.0



σταθμοί συνεχούς παρατήρησης GPS στο Αιγαίο



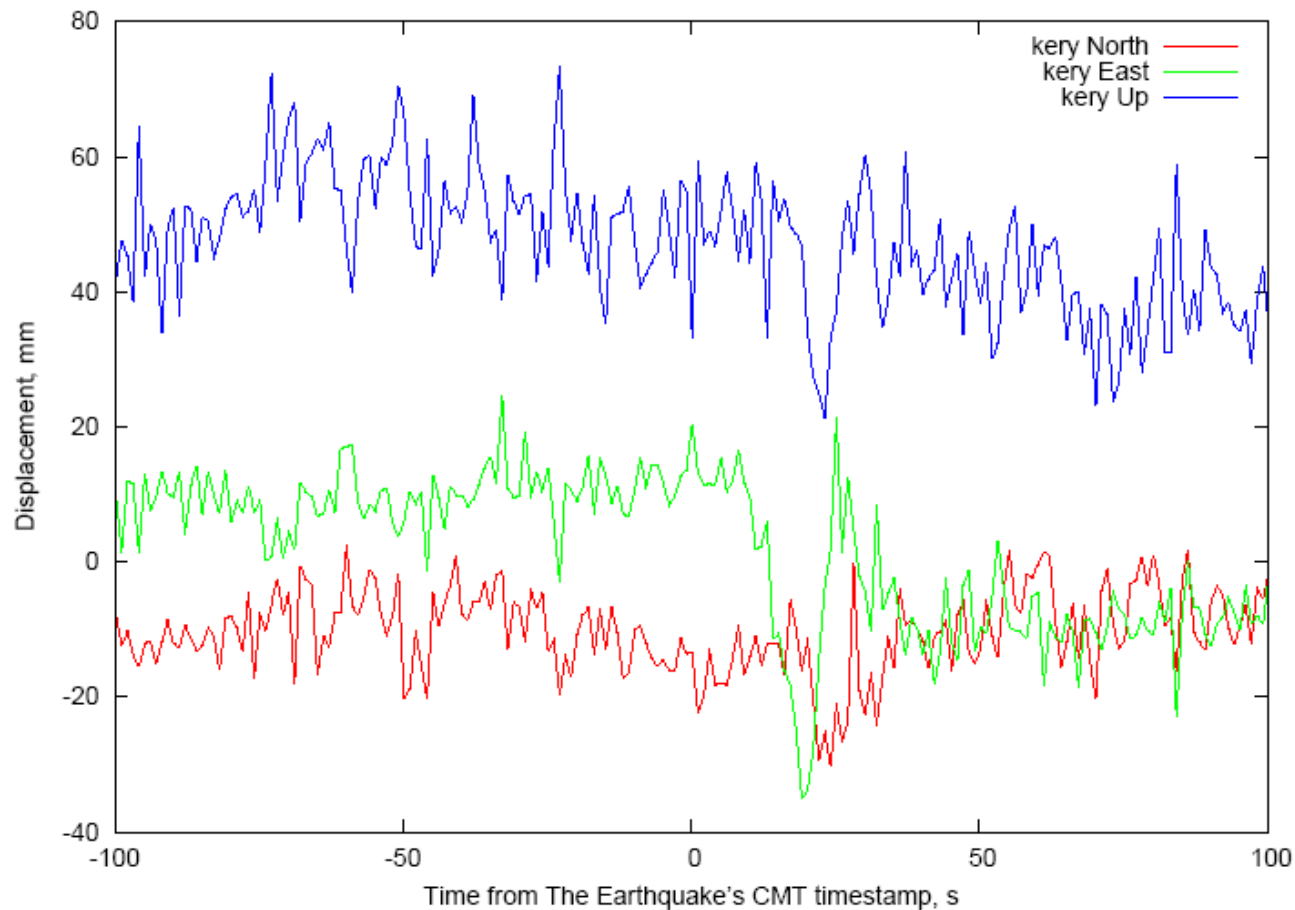


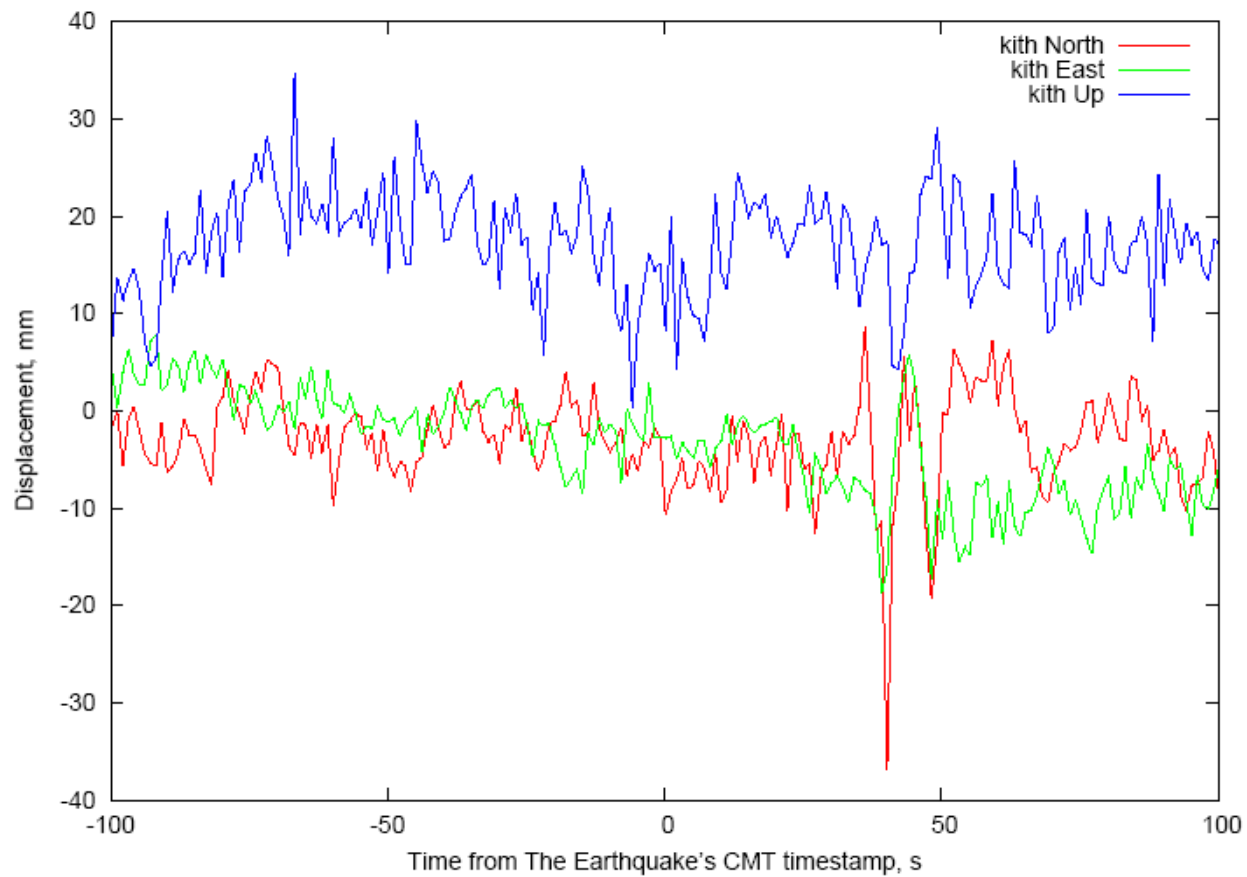
Shortening rates imply
a repeat time of
~5000 years for W Crete.

Therefore one tsunami earthquake
every
~800 year for the entire
Hellenic Trench

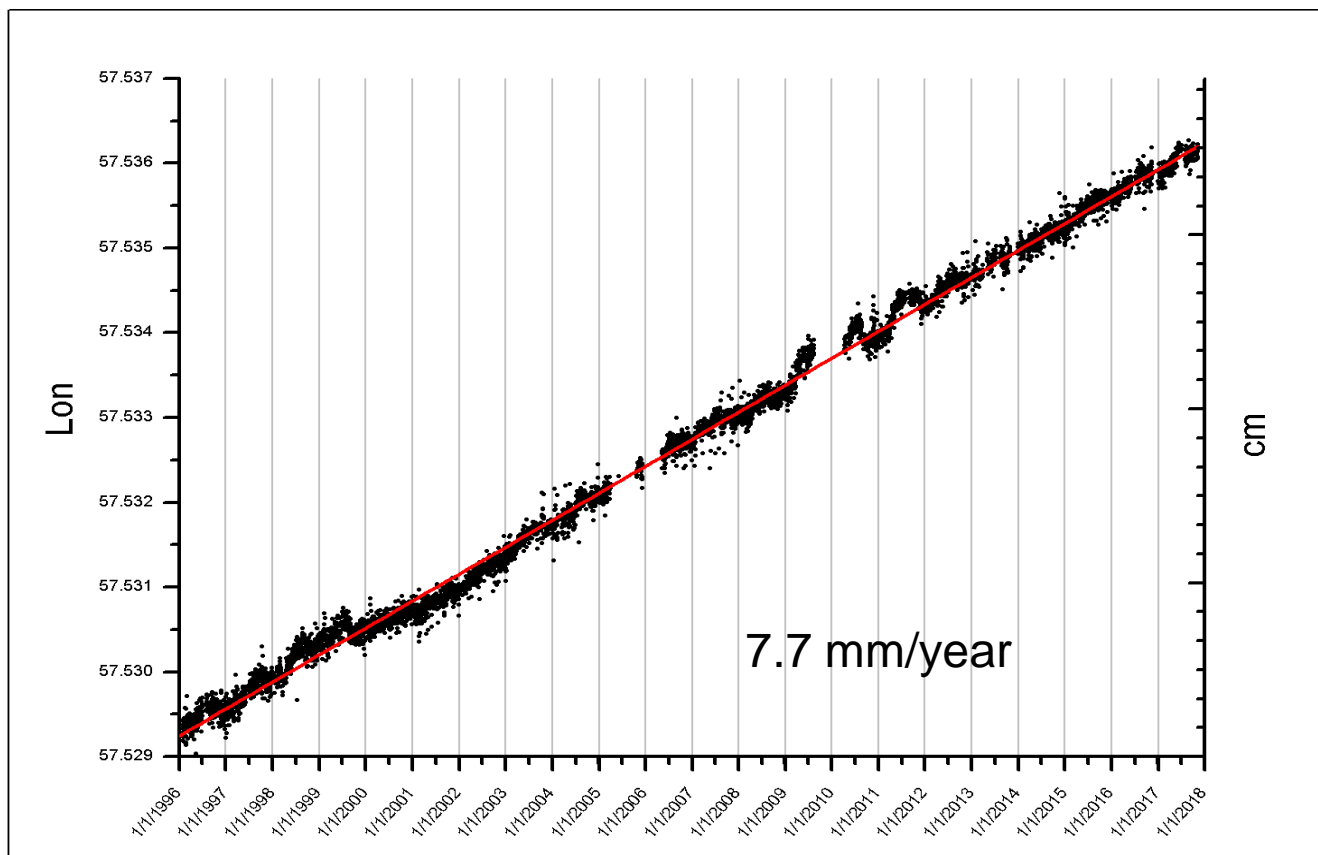
AD 365
AD 1303
AD ????



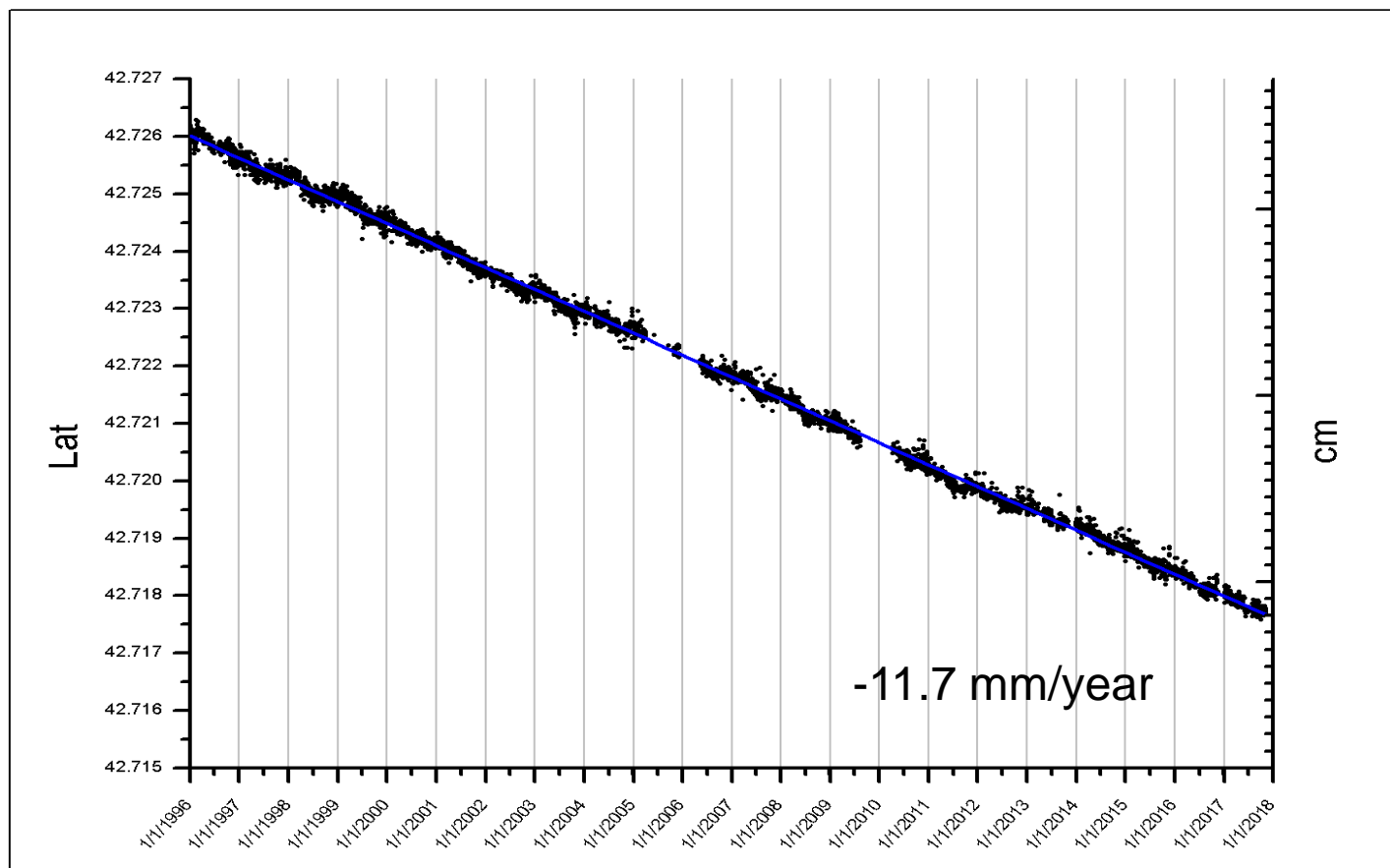




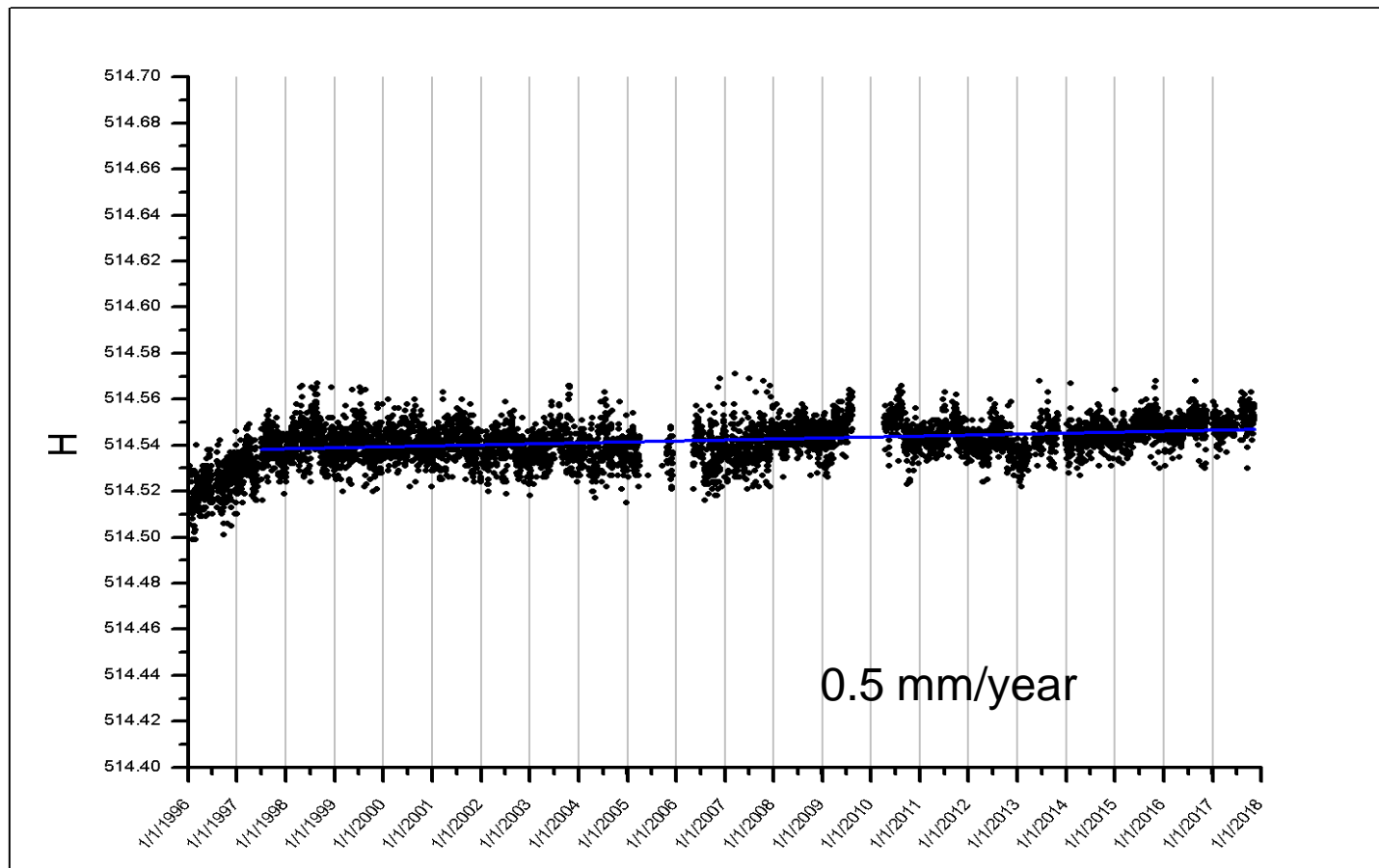
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ GPS ΣΤΟ ΚΔΔ



ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ GPS ΣΤΟ ΚΔΔ

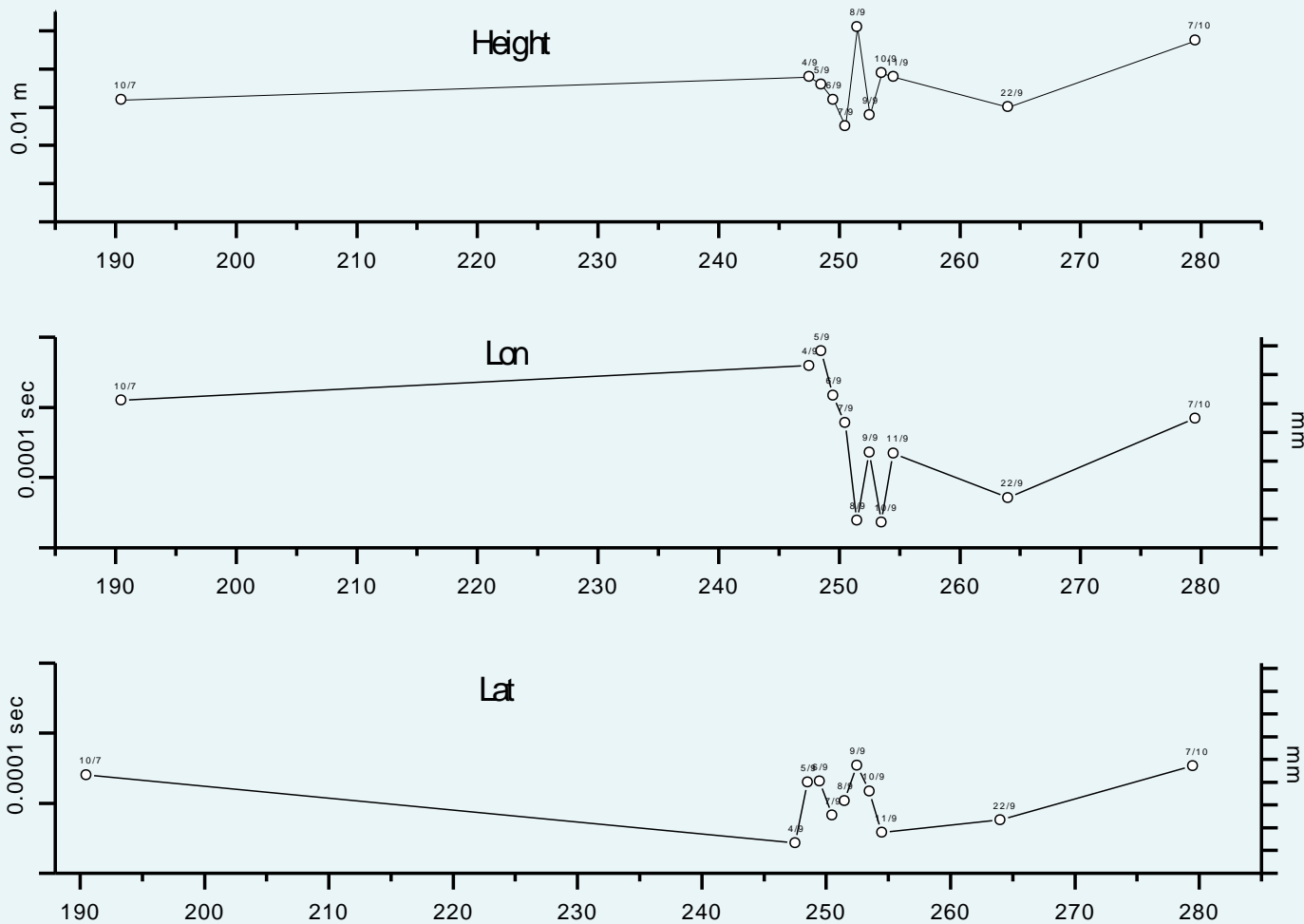


ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ GPS ΣΤΟ ΚΔΔ

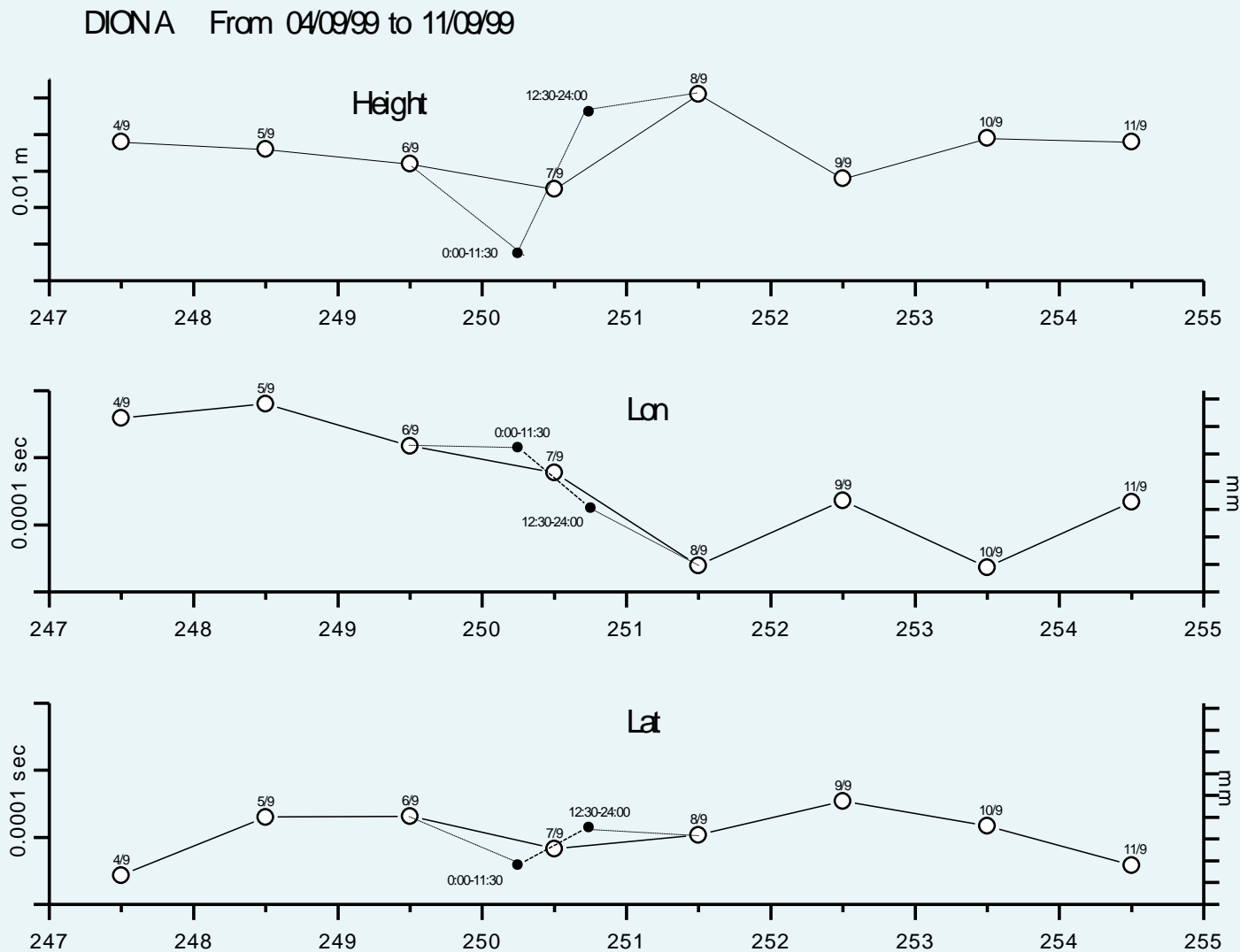


διαγράμματα υπολογισμού ταχυτήτων στο σταθμό του Διονύσου πριν και μετά το σεισμό της Αθήνας

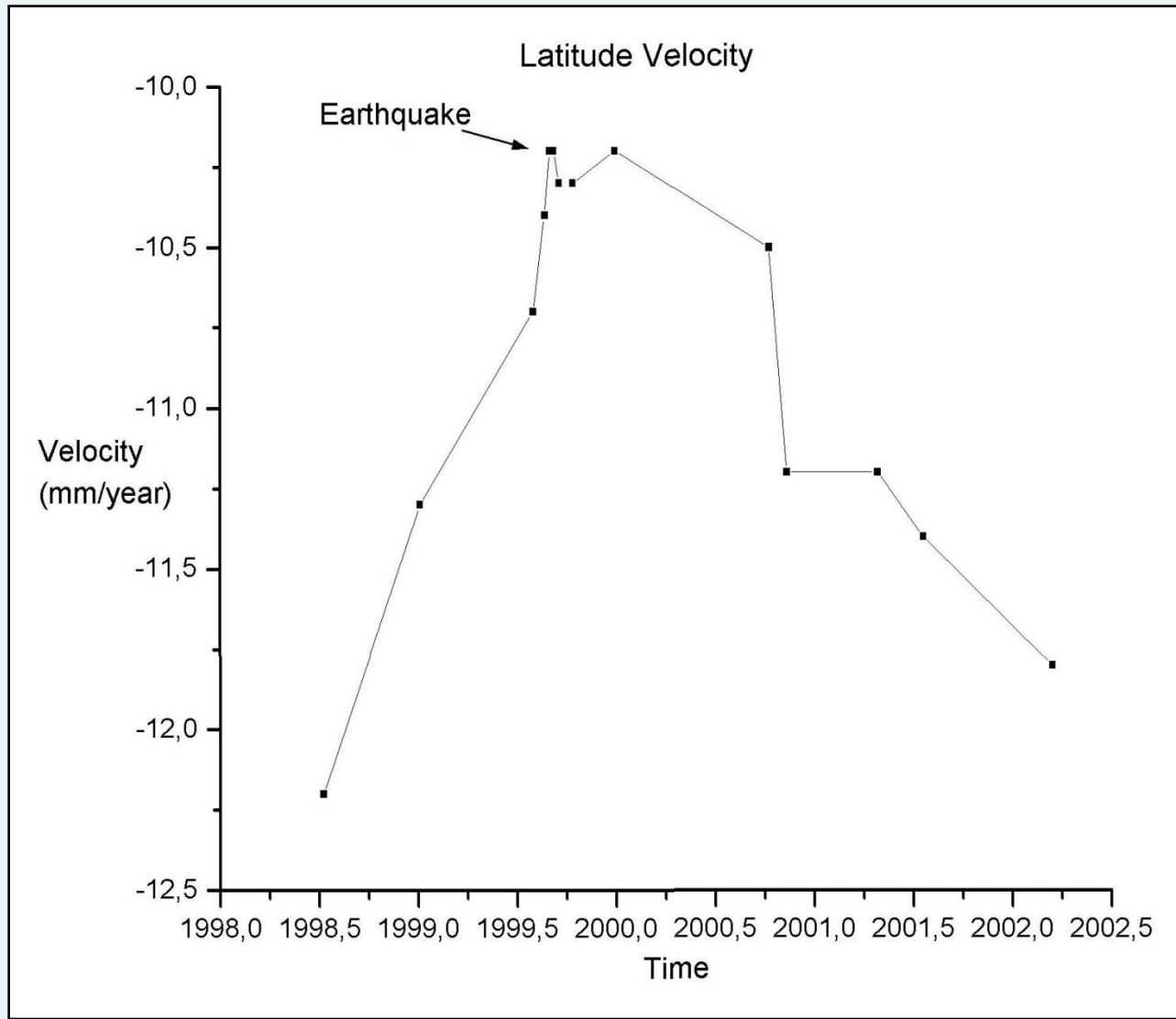
DIONA From 10/7/99 to 07/10/99



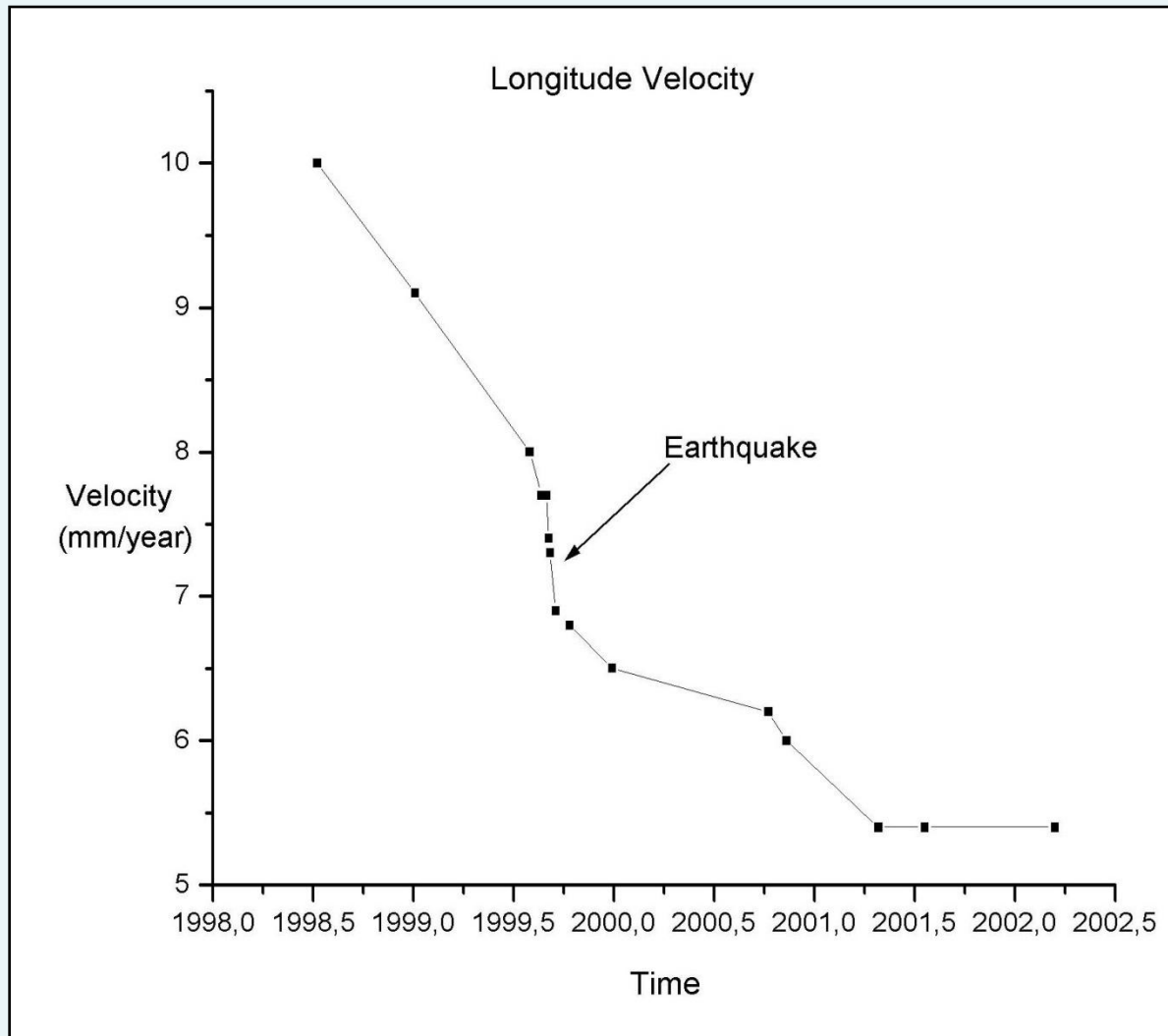
διαγράμματα υπολογισμού ταχυτήτων στο σταθμό του Διονύσου μέσω ημερησίων λύσεων πριν και μετά το σεισμό της Αθήνας



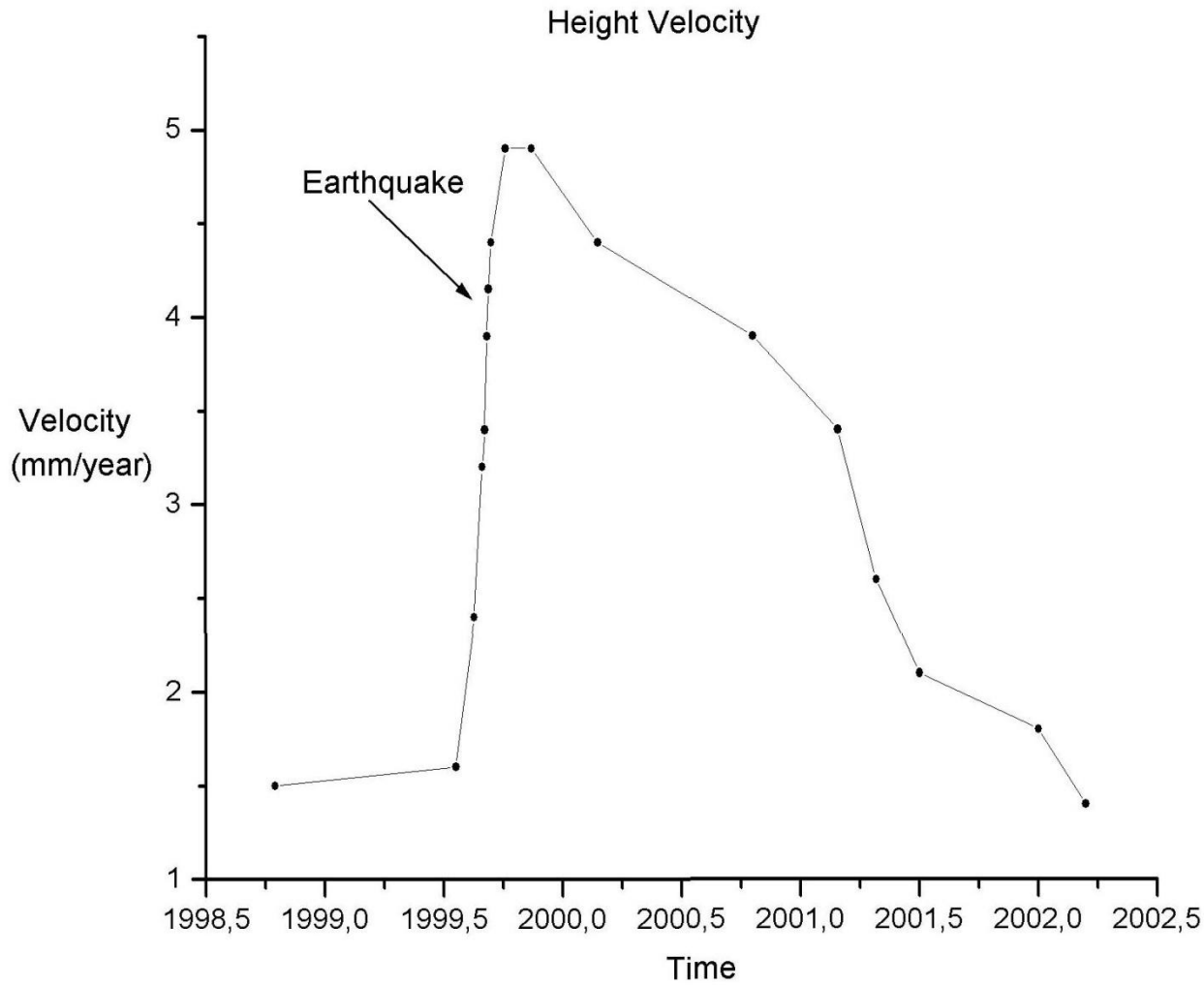
Διάγραμμα υπολογισμού επιτάχυνσης κατά το πλάτος στο σταθμό του Διονύσου 4 χρόνων, πριν και μετά το σεισμό της Αθήνας



διάγραμμα υπολογισμού επιτάχυνσης κατά το μήκος στο σταθμό του Διονύσου 4 χρόνων, πριν και μετά το σεισμό της Αθήνας

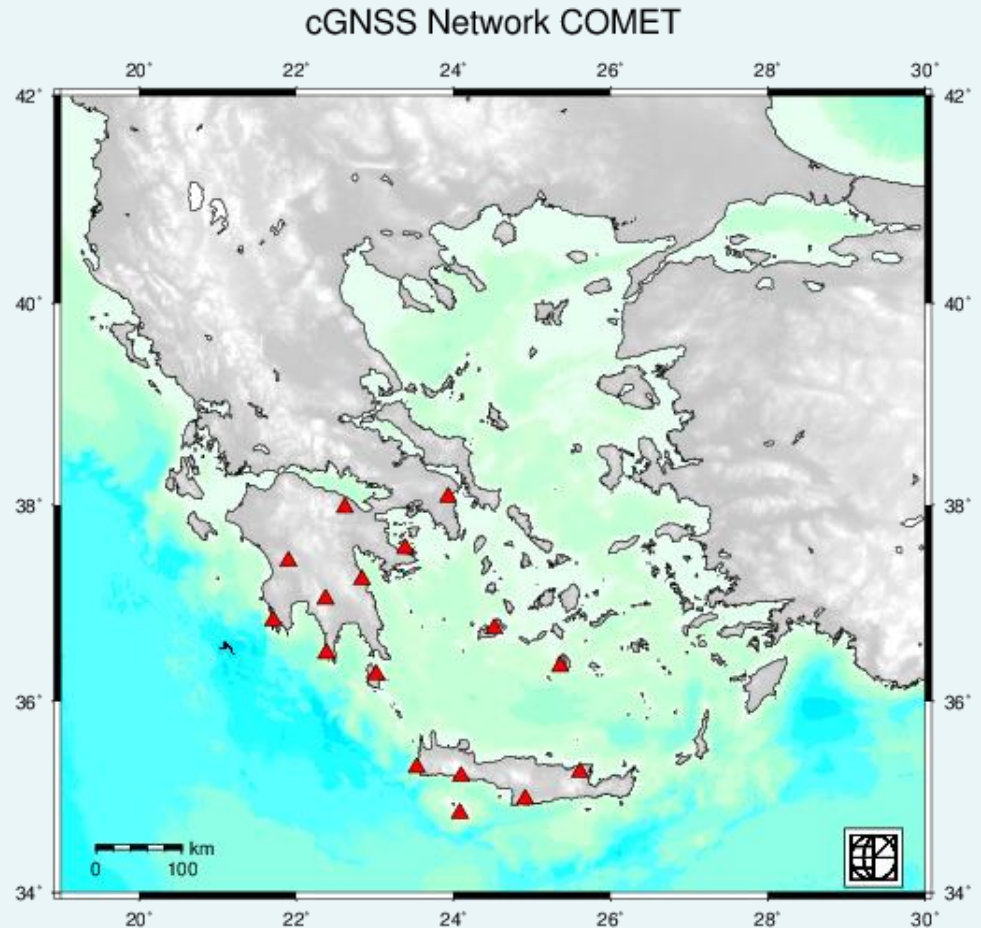


διάγραμμα υπολογισμού υψομετρικής επιτάχυνσης στο σταθμό του Διονύσου 4 χρόνων, πριν και μετά το σεισμό της Αθήνας



GPS/GNSS στην Ελλάδα – Δίκτυο COMET/ΕΜΠ

- Το δίκτυο COMET/ΕΜΠ ήταν από τα πρώτα δίκτυα μόνιμων σταθμών στην Ελλάδα και ιδρύθηκε από το COMET σε συνεργασία με το ΕΜΠ. Το κέντρο του ενδιαφέροντος ήταν η παρακολούθηση του τόξου του Νοτιο- Ανατολικού Αιγαίου.



GPS/GNSS στην Ελλάδα – μόνιμα δίκτυα

Διάφοροι φορείς διαθέτουν μόνιμους σταθμούς GPS/GNSS, μεταξύ των οποίων:

- το Εθνικό Κτηματολόγιο (HEPOS),
- το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών,
- το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
- το Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
- το ΤΕΙ Κρήτης
- το Πανεπιστήμιο της Κρήτης
- το Πανεπιστήμιο της Πάτρας
- το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει και Ευρωπαϊκός φορέας διαχείρισης και διάθεσης δεδομένων και προϊόντων GNSS, EPN/EUREF.

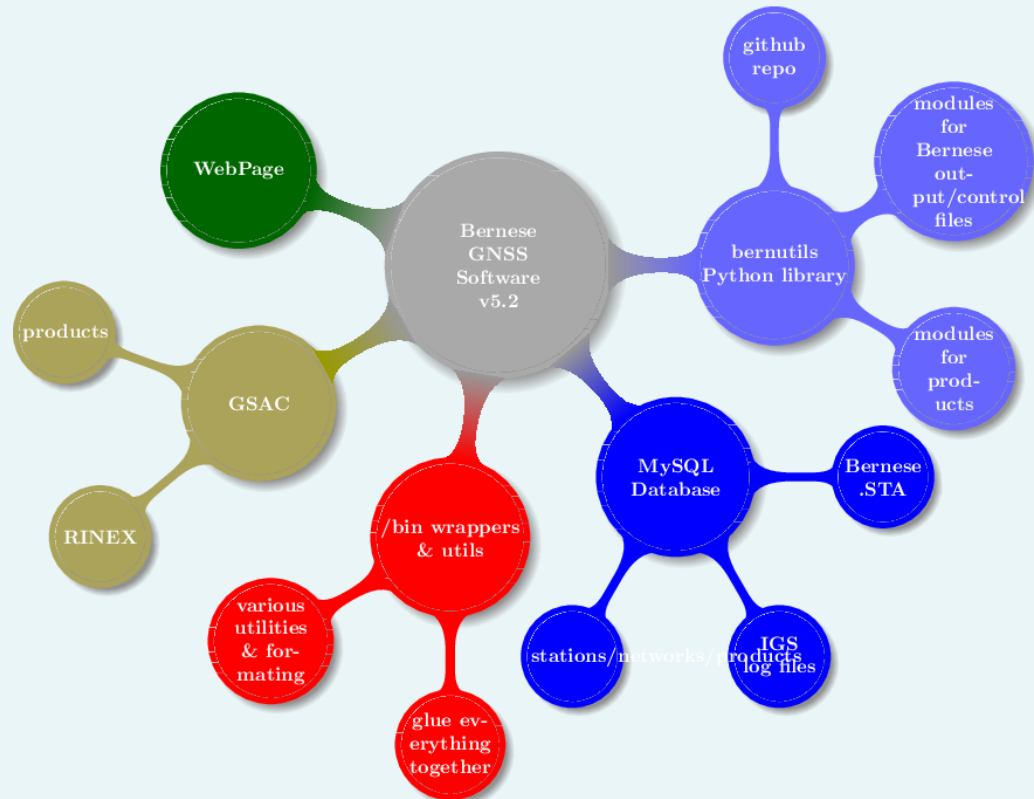
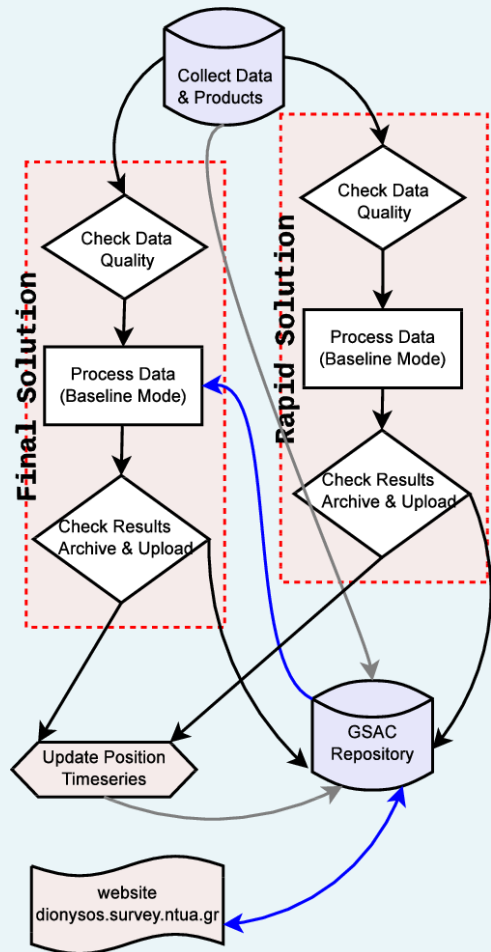


Επεξεργασία δεδομένων – Γενικά

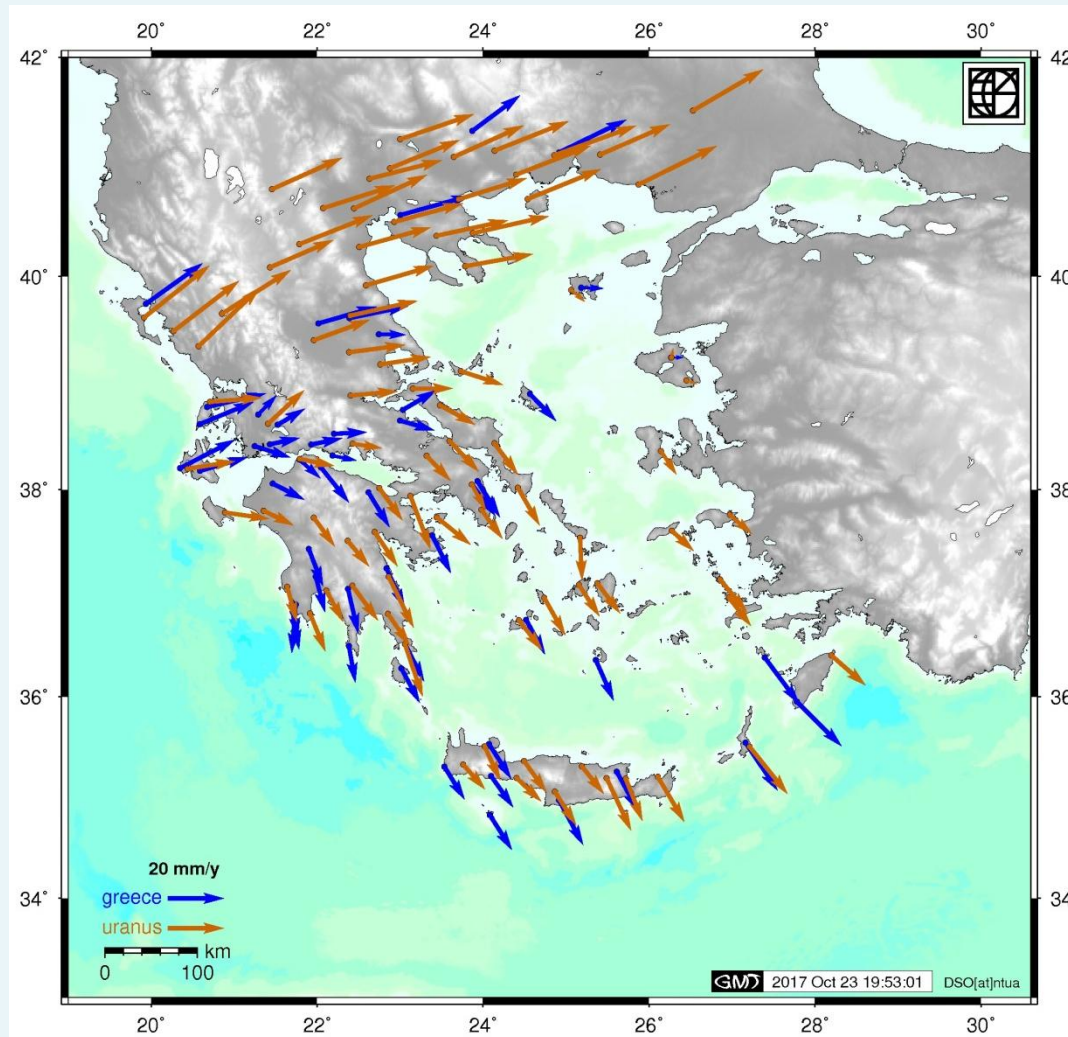
- Τα δεδομένα που συλλέγονται στους δέκτες, υπόκεινται σε επεξεργασία με ειδικά προγράμματα, ώστε να προκύψουν μετακινήσεις και τεκτονικές ταχύτητες. Η ανάλυση δορυφορικών δεδομένων για τεκτονικές και γεωφυσικές μελέτες απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και συνεπώς χρήση υψηλής ποιότητας δεδομένων, προϊόντων και αλγορίθμων.
- Η συνήθης πρακτική συνίσταται στην συλλογή ημερήσιων αρχείων (καταγραφές για όλη την ημέρα ενδιαφέροντος) και την επεξεργασία τους με τη μορφή δικτύου. Σε επόμενο βήμα, από τις (ημερήσιες) θέσεις των σταθμών προκύπτουν χρονοσειρές· αυτές αναλύονται εκ νέου, ώστε να εκτιμηθεί η κίνηση του εδάφους (τεκτονικές ταχύτητες και άλλοι παράγοντες).



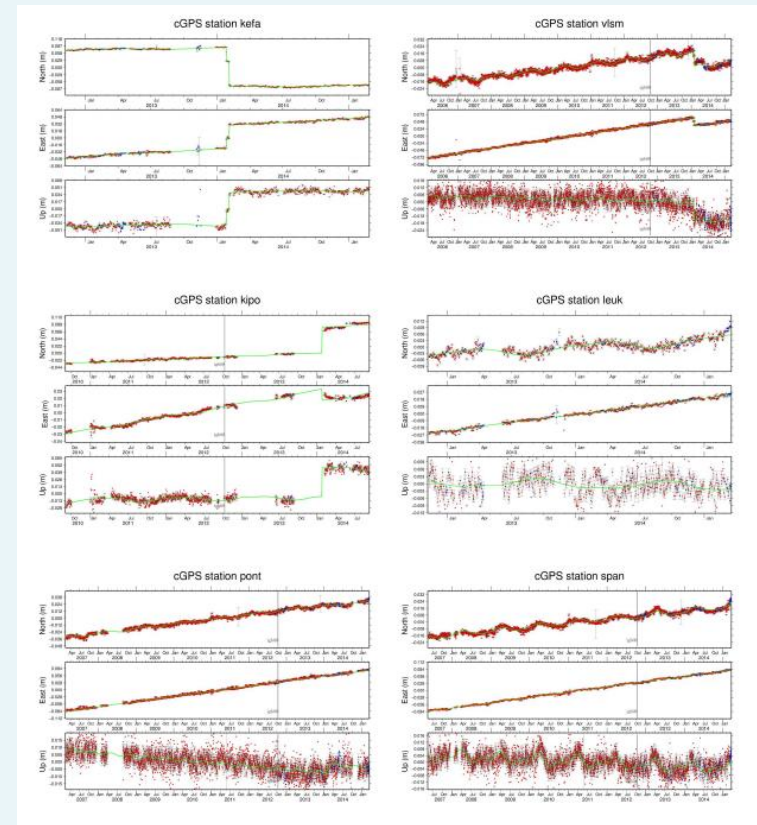
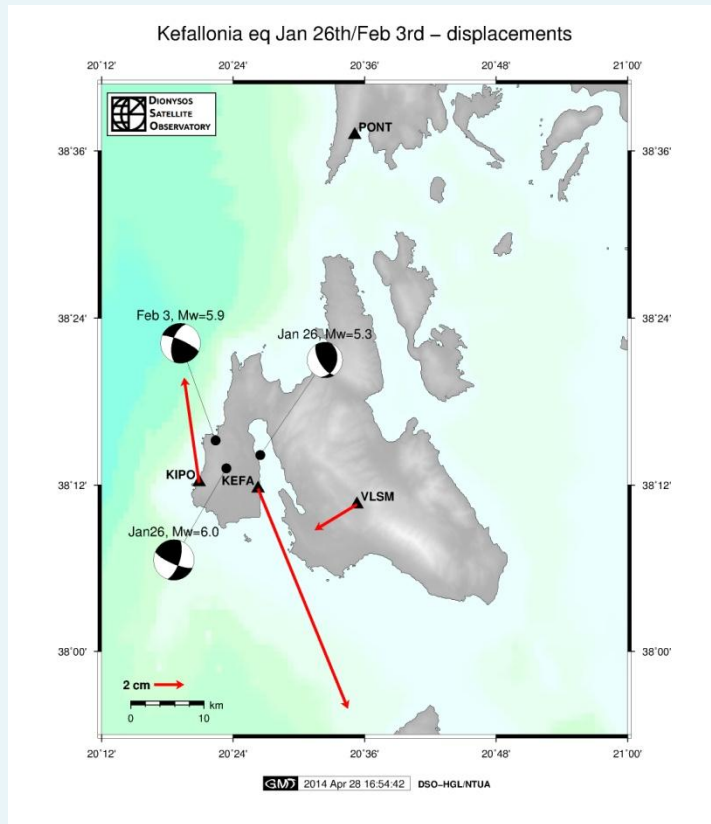
Επεξεργασία δεδομένων – ΚΔΔ



επεξεργασία δεδομένων – ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ



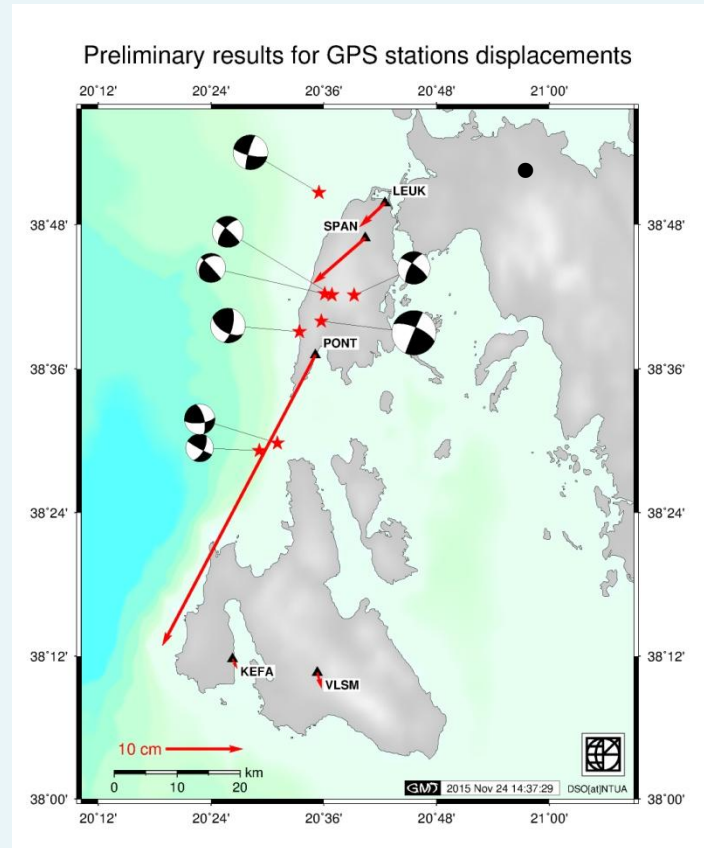
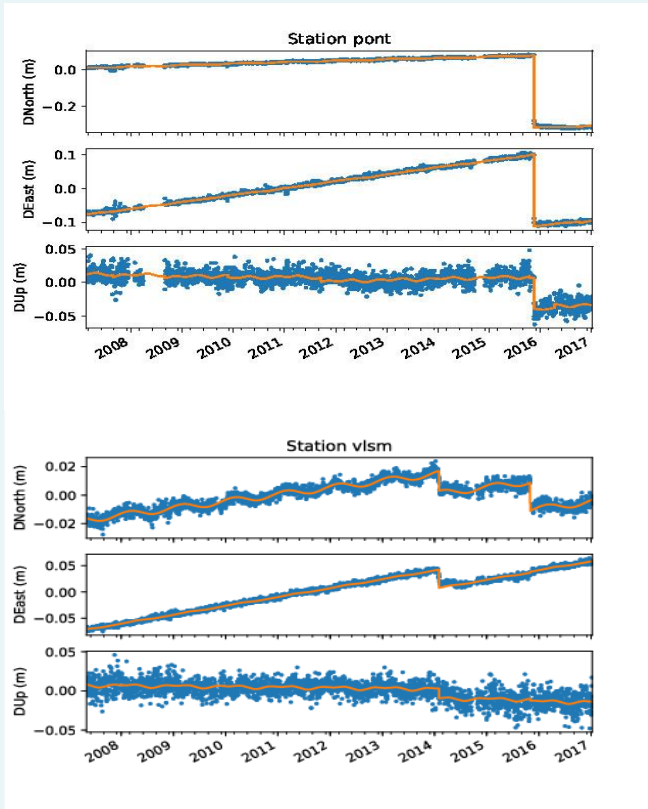
σεισμική ακολουθία Κεφαλονιάς, 2014



Παρακολούθηση βίαιων τεκτονικών φαινομένων (π.χ. σεισμοί). Εφαρμογή στην σεισμική ακολουθία που έπληξε την Κεφαλονιά το 2014.



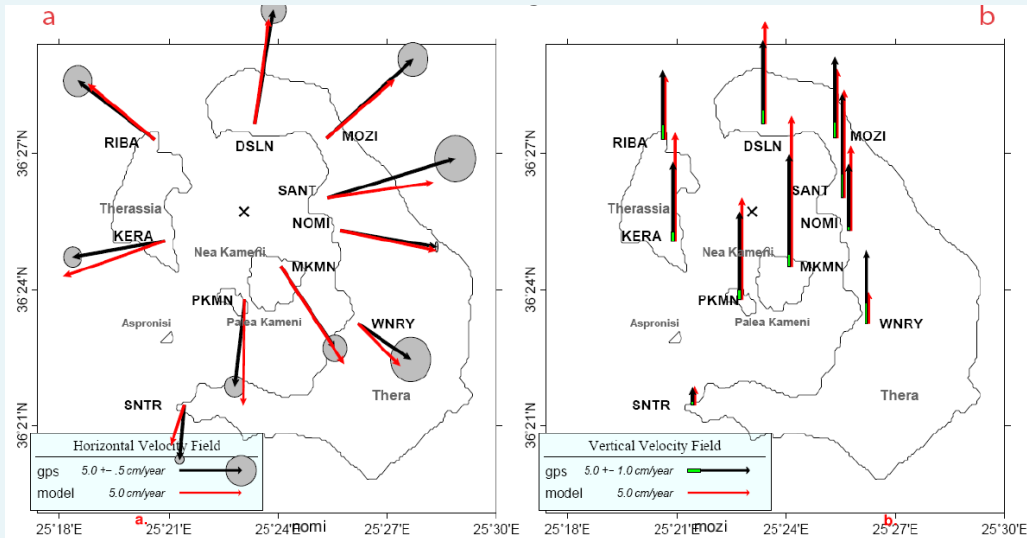
σεισμική ακολουθία Λευκάδας, 2015



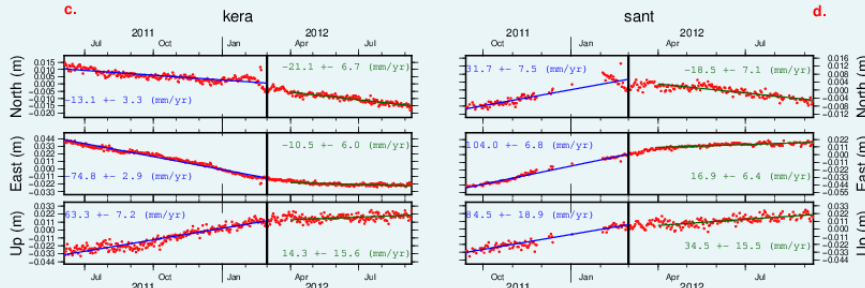
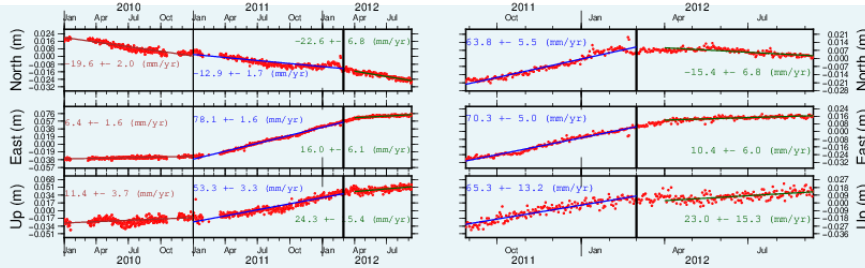
Παρακολούθηση βίαιων τεκτονικών φαινομένων (π.χ. σεισμοί). Εφαρμογή στην σεισμική ακολουθία που έπληξε τη Λευκάδα 2015.



Σαντορίνη 2011 - 2012



Περιοχή Μελέτης:
Σαντορίνη (τοπικό δίκτυο).
Εντοπισμός και παρακολούθηση της περιόδου “διόγκωσης” (inflation) της νήσου, την περίοδο 2011-2012.

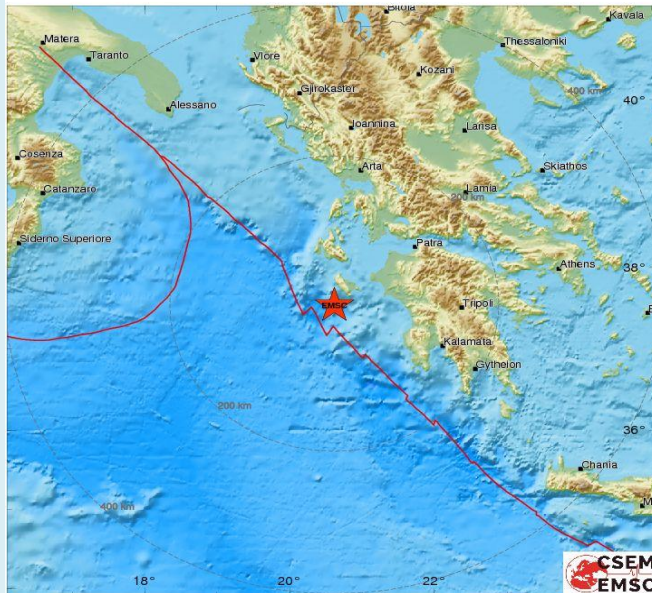


σεισμική ακολουθία Ζακύνθου, Οκτώβριος 2018

Προκαταρτική ανάλυση δεδομένων μόνιμων σταθμών παρακολούθησης GNSS Πύργου και Στροφάδων

25 Οκτωβρίου 2018, 22:54:49 UTC, σεισμός 6.6M, στο Ιόνιο πέλαγος, κοντά στη Ζάκυνθο.

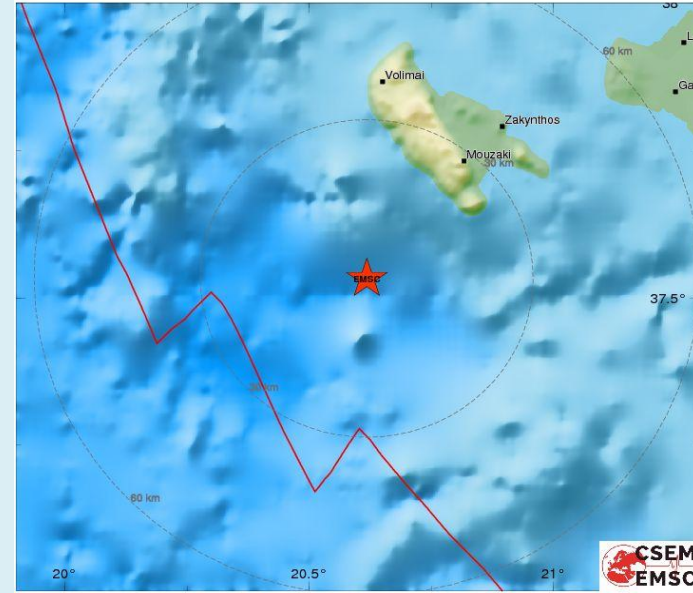
M6.8 2018/10/25 - 22:54:51 UTC Lat 37.53 Lon 20.62 Depth 10.0 km
277 km W of Athens, Greece (pop: 730,000 local time: 01:54 2018/10/26)
126 km SW of Patra, Greece (pop: 164,000 local time: 01:54 2018/10/26)
38 km SW of Zakynthos, Greece (pop: 11,600 local time: 01:54 2018/10/26)



Depth
★ D <= 40 km
★ 40 < D <= 80 km
★ 80 < D <= 150 km
★ 150 < D <= 300 km
★ D > 300 km

— Political boundaries
— Tectonic plates boundaries

M6.8 2018/10/25 - 22:54:51 UTC Lat 37.53 Lon 20.62 Depth 10.0 km
277 km W of Athens, Greece (pop: 730,000 local time: 01:54 2018/10/26)
126 km SW of Patra, Greece (pop: 164,000 local time: 01:54 2018/10/26)
38 km SW of Zakynthos, Greece (pop: 11,600 local time: 01:54 2018/10/26)



Depth
★ D <= 40 km
★ 40 < D <= 80 km
★ 80 < D <= 150 km
★ 150 < D <= 300 km
★ D > 300 km

— Political boundaries
— Tectonic plates boundaries



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

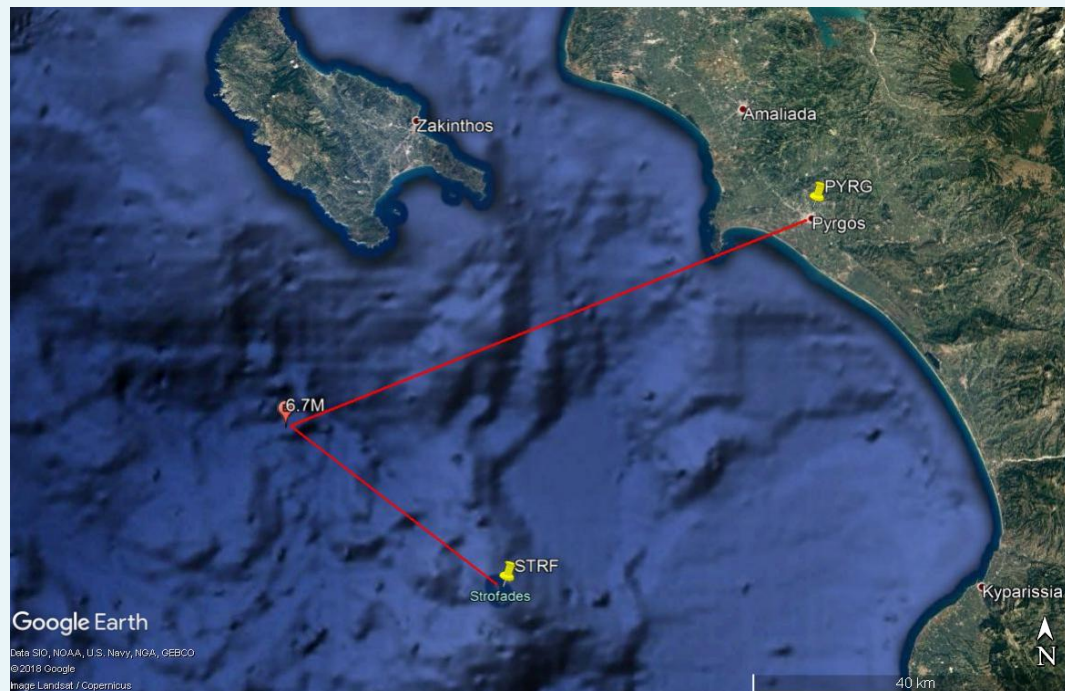
Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου

σεισμική ακολουθία Ζακύνθου, Οκτώβριος 2018

Μόνιμοι σταθμοί GNSS κοντά στο επίκεντρο

PYRG : Στην πόλη το Πύργου, Metrica AE (SmartNet), 80 Km από επίκεντρο.

STRF : Στα νησιά των Στροφάδων, ΕΑΑ, 40Km από επίκεντρο.



σεισμική ακολουθία Ζακύνθου, Οκτώβριος 2018

Ανάλυση δεδομένων GPS.

Πακέτο επεξεργασίας : BNC/BKG

Μέθοδος επεξεργασίας : PPP (Precise Point Positioning)

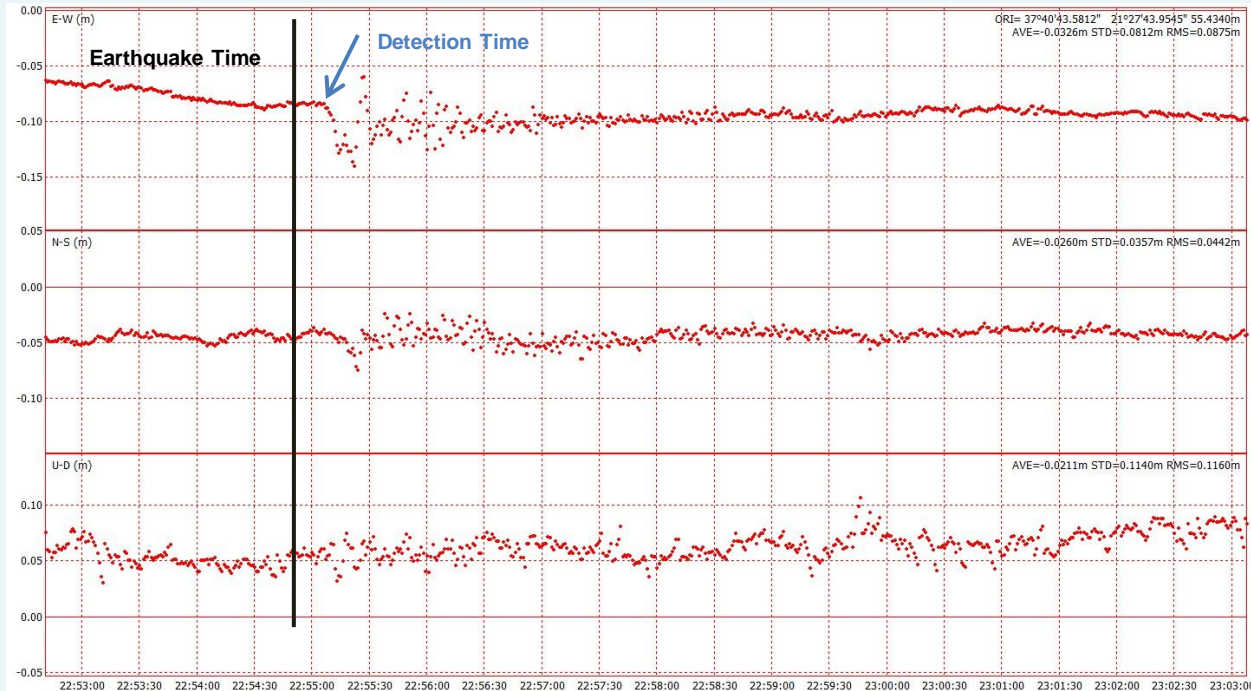
Χρήση αποθηκευμένων προϊόντων εκπεμπόμενων διορθώσεων

Ρυθμός καταγραφής/επεξεργασίας : PYRG 1Hz, STRF 10Hz.



σεισμική ακολουθία Ζακύνθου, Οκτώβριος 2018

Station : PYRG (1Hz)



Time of detection : 22:55:07 UTC

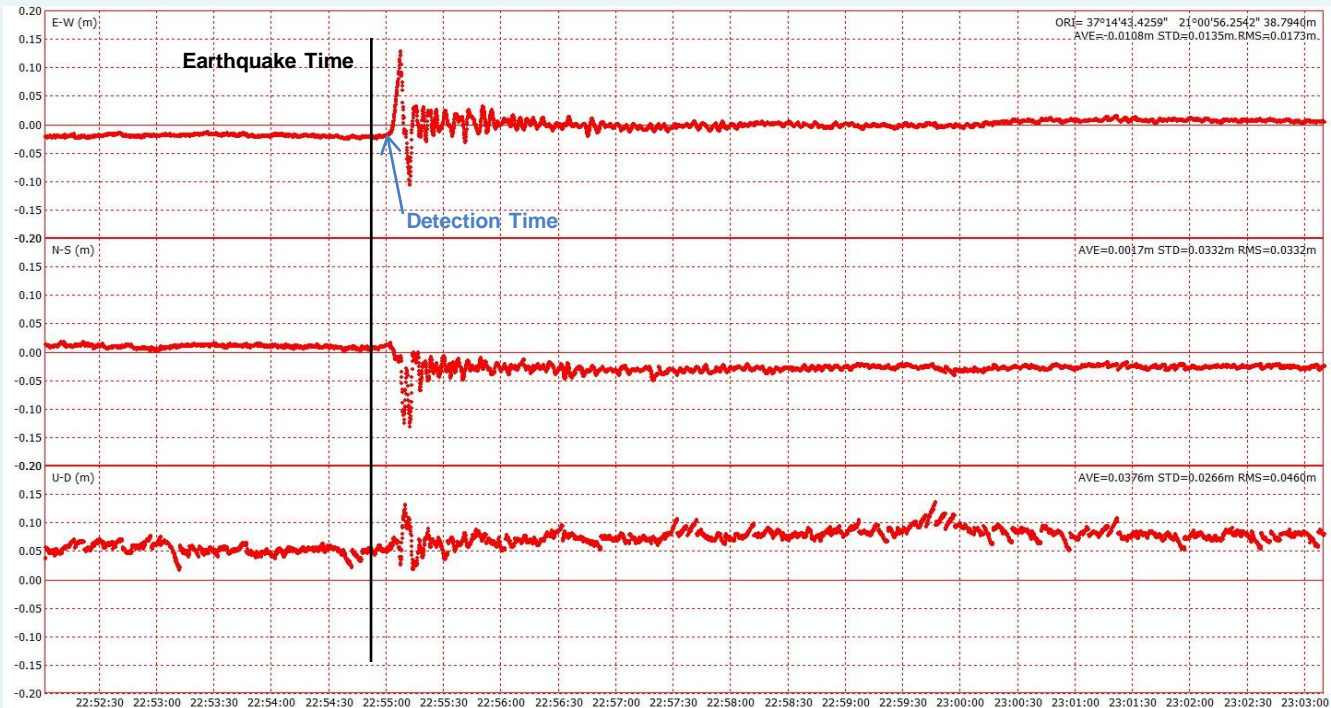
Displacements During Earthquake : East-West 7cm , North-South 3cm

Post seismic : 3cm West



σεισμική ακολουθία Ζακύνθου, Οκτώβριος 2018

Station : STRF (10Hz)



Time of detection : 22:55:02 UTC

Displacements During Earthquake : East-West 22cm , North-South 15cm, Up 10cm

Post seismic : 2cm East, South 3cm



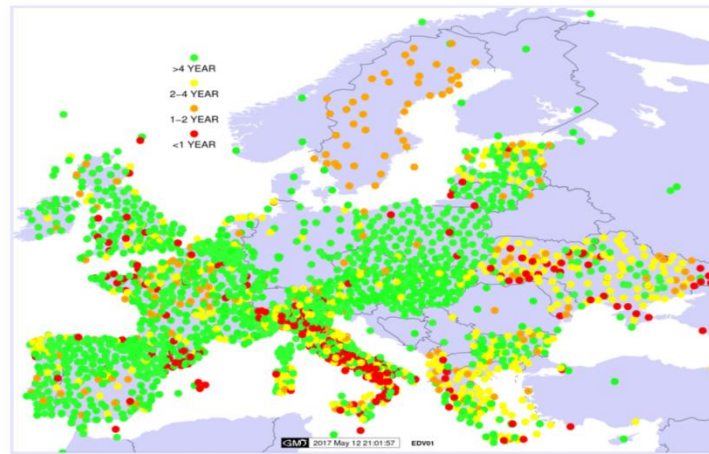
συμμετοχή ΚΔΔ στη EUREF

DATA AVAILABILITY - MAY 2016

ASG	Poland	: 1482 - 1825	
EST	Estonia	: 1448 - 1890	
GGI	Latvia	: 1461 - 1890	
GKU	Slovakia	: 1408 - 1846	
CZE	Czech R	: 1565 - 1890	
SGO	Hungary	: 1200 - 1890	EUPOS contributions
AMON	Austria	: 1356 - 1890	
MON	Middle East	: 1400 - 1890	
GRE	Greece	: 1721 - 1890	
CEGRN	CE-Europe	: 1400 - 1890	G.Stangl
BUL	Bulgaria	: 1434 - 1890	daily GAMIT
UPA	Italy	: 1623 - 1890	exemplary analysis
REF	Germany	: 1554 - 1890	
IGN Spain	Spain/Portugal	: 1400 - 1890	daily
CAT	Catalonia	: 1408 - 1890	
AGRS	The Netherlands	: 0782 - 1873	
NGI	Belgium	: 1787 - 1890	
MAO	Ukraine	: 1400 - 1880	
DSO	Greece	: 0834 - 1560	processing in progress
ARA	ARANZADI, Spain	: 1850 - 1890	
SGN	France	: 0900 - 1890	GLOBAL
BIGF	UK	: 0900 - 1831	GLOBAL

Από το 2015 και έπειτα, το ΚΔΔ συμμετέχει στο πρόγραμμα “Πύκνωσης” της EUREF (EUREF Densification Project), κάνοντας διαθέσιμα τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των διαθέσιμων δεδομένων GNSS.

SINEX AVAILABILITY AS OF MAY



HELPOS – παρούσα κατάσταση

Έως σήμερα, κάθε φορέας που διέθετε (μόνιμους) σταθμούς GPS/GNSS, ήταν υπεύθυνος για τη συλλογή, αρχειοθέτηση και διάθεση των δεδομένων. Το γεγονός αυτό, επιφέρει σημαντικά μειονεκτήματα, όπως:

- μη-εύκολη πρόσβαση στα δεδομένα (διάφορα αποθετήρια και τρόποι ανάκτησης)
- ανομοιογενή δεδομένα (διάφορα format ανάλογα με τη χρήση από τον κάθε φορέα)
- έλλειψη κεντρικού σχεδιασμού
- προβλήματα διάθεσης (καθυστερήσεις, προβλήματα πρόσβασης, hardware)

Δεν υπάρχει σαφής εικόνα για το πόσα και τι είδους δεδομένα υπάρχουν διαθέσιμα



HELPOS – στόχοι

Το HELPOS (Ελληνικό Σύστημα Παρατήρησης Λιθόσφαιρας) στοχεύει στην ενοποίηση των αναφορέα σταθμών ή/και δικτύων, ώστε:

- τα δεδομένα να είναι προσβάσιμα από όλους,
- σε ένα κεντρικό αποθετήριο (εύκολη πρόσβαση),
- σε ένα ενιαίο format (ομοιομορφία),
- με ταυτόχρονη διάθεση μετα-πληροφορίας (meta-data),
- με ομοιογενή τρόπο (π.χ. ημερήσια αρχεία)

Φιλοδοξία του προγράμματος είναι ένα ενιαίο πυκνό ελληνικό δίκτυο σταθμών GNSS που θα παρέχει ποιοτικά, αξιόπιστα και ομοιόμορφα δεδομένα σε κάθε χρήστη.



HELPOS – πλεονεκτήματα

Με τον τρόπο αυτό, θα ωφεληθούν σημαντικά όλοι οι φορείς (συμμετέχοντες και μη) καθώς και η συνεργασία μεταξύ τους. Όλοι οι φορείς θα έχουν ισότιμη πρόσβαση στα δεδομένα και θα μπορούν να σχεδιάζουν, να προγραμματίζουν και να υλοποιούν καλύτερα το ερευνητικό και ακαδημαϊκό έργο τους.

