



«HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς:
Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές»

Επιστημονικό διήμερο εργασίας

Θεσσαλονίκη, 25 – 26 Σεπτεμβρίου 2008

Χρονικές μεταβολές και μοντέλα ταχυτήτων

Κ. Κατσάμπαλος, Καθηγητής ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
Χρ. Κωτσάκης, Επίκ. Καθηγητής ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
Β. Βλαχάκης, ΑΤΜ, ΜΦ ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
Α. Γκανίλας, ΑΤΜ, ΜΦ ΤΑΤΜ/ΑΠΘ
Ι. Παπούδας, ΑΤΜ, ΜΦ ΤΑΤΜ/ΑΠΘ

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πολυτεχνική Σχολή
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Επισκόπηση παρουσίασης

Παρουσίαση του προβλήματος

Επιλύσεις δικτύων με δεδομένα του συστήματος HEPOS

Χρονοσειρές συντεταγμένων από την EUREF

Ταχύτητες σημείων από παλιότερες εργασίες για τον Ελληνικό χώρο

Επίδραση των ταχυτήτων

Από τη σκοπιά της **Γεωδαισίας**

Δυνατότητες διαχείρισης ταχυτήτων σε ένα δίκτυο

ΔΙΚΤΥΑ ΣΤΑΘΕΡΑ ή ΔΥΝΑΜΙΚΑ ;

Η γήινη επιφάνεια βρίσκεται σε διαρκή κίνηση και μεταβάλλεται με το χρόνο

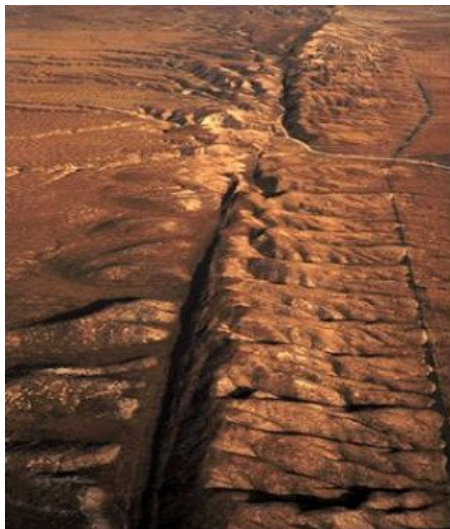
Βασικές αιτίες που προκαλούν μεταβολές/κινήσεις

1. Γεωδυναμικές: σεισμοί, τεκτονικές κινήσεις
2. Γεωφυσικές: κατολισθήσεις, καθιζήσεις
3. Τοπικές: καθιζήσεις, παραμορφώσεις

Άμεση επίπτωση στα κτήρια που είναι εγκατεστημένοι οι σταθμοί ΗΕΡΟΣ

&

Μετακινήσεις λόγω φθορών και παραμορφώσεων του κτηρίου



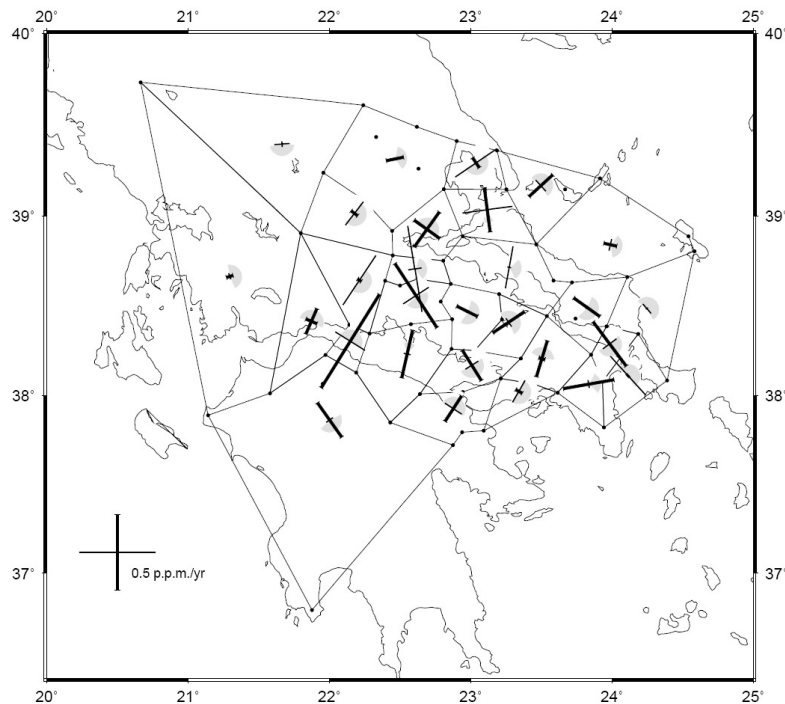
πεδίο παραμόρφωσης (strain field) **VS.** πεδίο ταχυτήτων (velocity field)

ΠΡΙΝ ΤΟ ΗΕΡΟΣ

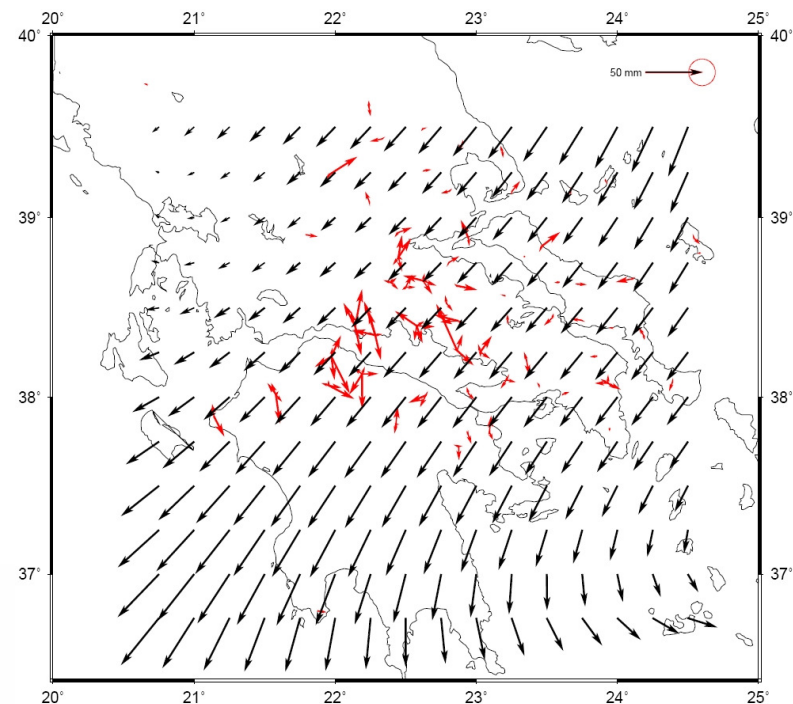
- Περιοδικές/περιστασιακές μετρήσεις (campaigns)
- Ανάλυση τοπικών παραμορφώσεων (π.χ. τανυστές παραμόρφωσης)
- Ανεξάρτητο από σύστημα αναφοράς
- Δείχνει την τάση του εδάφους για παραμόρφωση
- Ενδιαφέρει τους γεωφυσικούς

ΜΕΤΑ ΤΟ ΗΕΡΟΣ

- Συνεχής καταγραφή δεδομένων (continuous data)
- Υπολογισμός πεδίου ταχυτήτων
- Αναφέρεται σε κάποιο σύστημα αναφοράς
- Δείχνει την τάση για «ομαλή» μετακίνηση (χρήσιμο για πρόγνωση)
- Ενδιαφέρει τους γεωδαίτες



P.J. Clarke (1996)



Επιλύσεις δικτύων με δεδομένα του συστήματος HEPOS

Μελέτη διαχρονικών μεταβολών με βάση μετρήσεις GPS από το σύστημα HEPOS

5 σταθμοί HEPOS στη ΝΔ Ελλάδα + 2 σταθμοί EPN

Δεδομένα:

- Ημερήσια RINEX για τους σταθμούς:
001A (Μαχαιρά, ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ)
005A (Πέτα, ΑΡΤΑΣ)
040A (Κεφαλλονιά, ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ)
060A (Λευκάδα, ΛΕΥΚΑΔΑΣ)
068A (Πλαταριά, ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ)
AUT1 (Θεσσαλονίκη)
NOA1 (Αθήνα)
- Ακριβείς (precise) εφημερίδες IGS

Περίοδοι δεδομένων:

Session 1: 19-20 Οκτωβρίου 2007 (DOY: 292, 293)

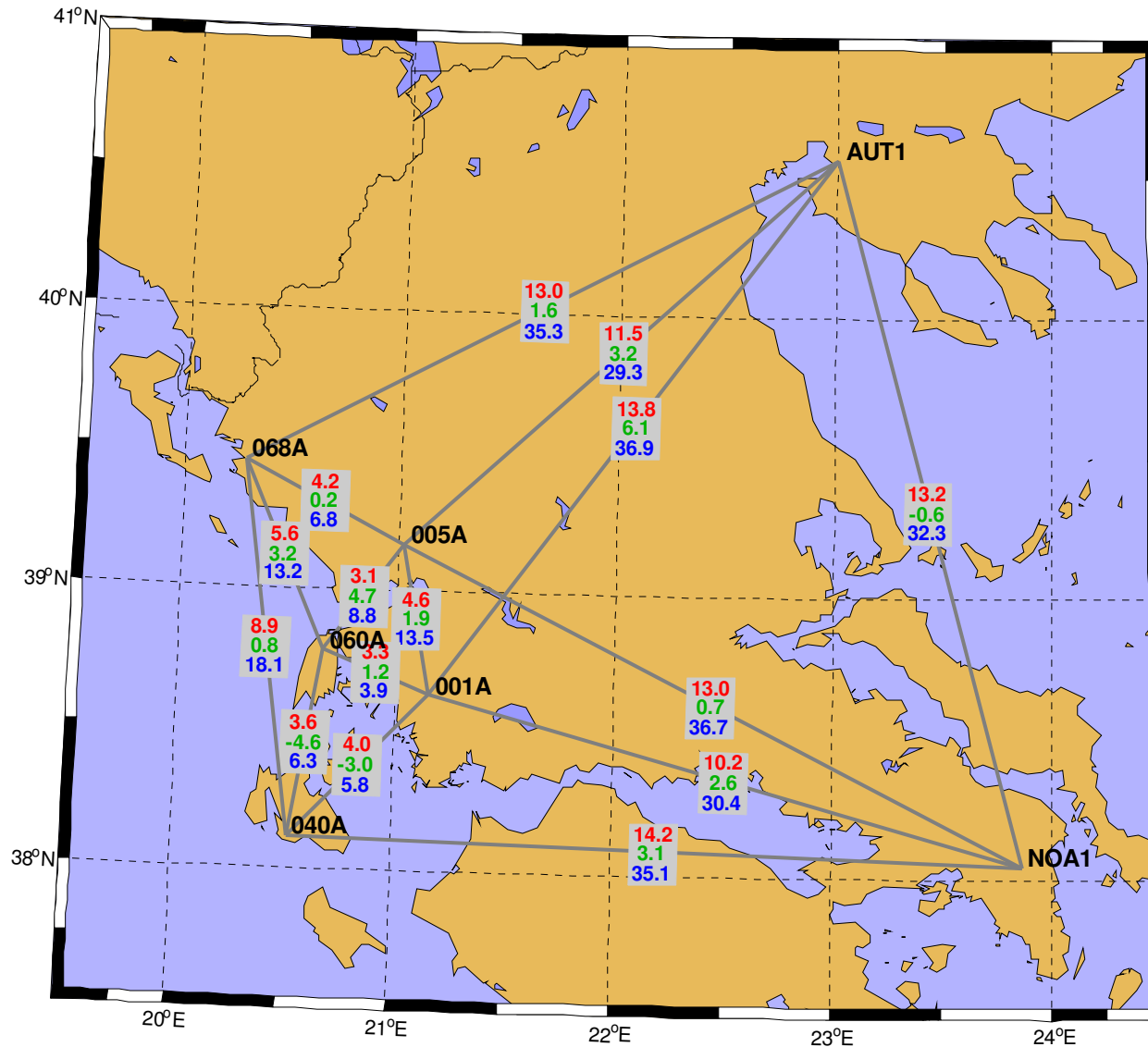
Session 2: 25-27 Ιανουαρίου 2008 (DOY: 025, 026, 027)

Session 3: 28-30 Ιουνίου 2008 (DOY: 180, 181, 182)

Σύστημα αναφοράς:

ETRF2005, epoch 2007.5 (HTRS07)

Επίλυση με όλες τις δυνατές βάσεις (5 HEPOS + 2 EPN)
 Συνόρθωση με ελάχιστες δεσμεύσεις με σταθερό τον σταθμό AUT1



Λύσεις:

- Οκτώβριος 2007 (2 ημέρες)
- Ιανουάριος 2008 (3 ημέρες)
- Ιούνιος 2008 (3 ημέρες)

Σύστημα αναφοράς:

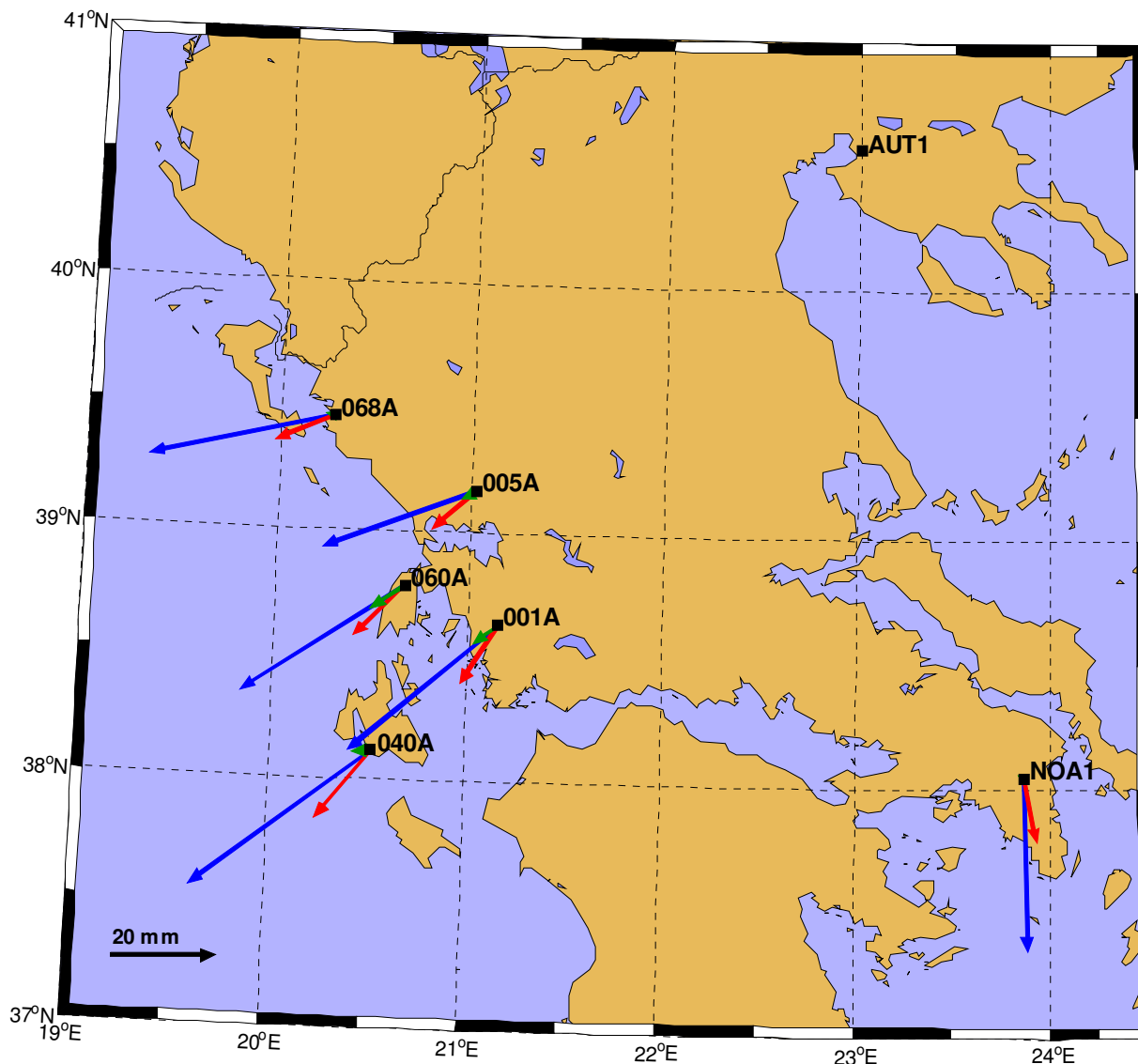
ETRF2005, epoch 2007.5
 (HTRS07)

Μέσοι όροι διαφορών 3Δ
 αποστάσεων

$S_{\text{session}} - S_{\text{HEPOS}}$:

- 10 mm
- 3 mm
- 24 mm

Διανύσματα μετατόπισης



Λύσεις:

Οκτώβριος 2007 (2 ημέρες)

Ιανουάριος 2008 (3 ημέρες)

Ιούνιος 2008 (3 ημέρες)

Σύστημα αναφοράς:

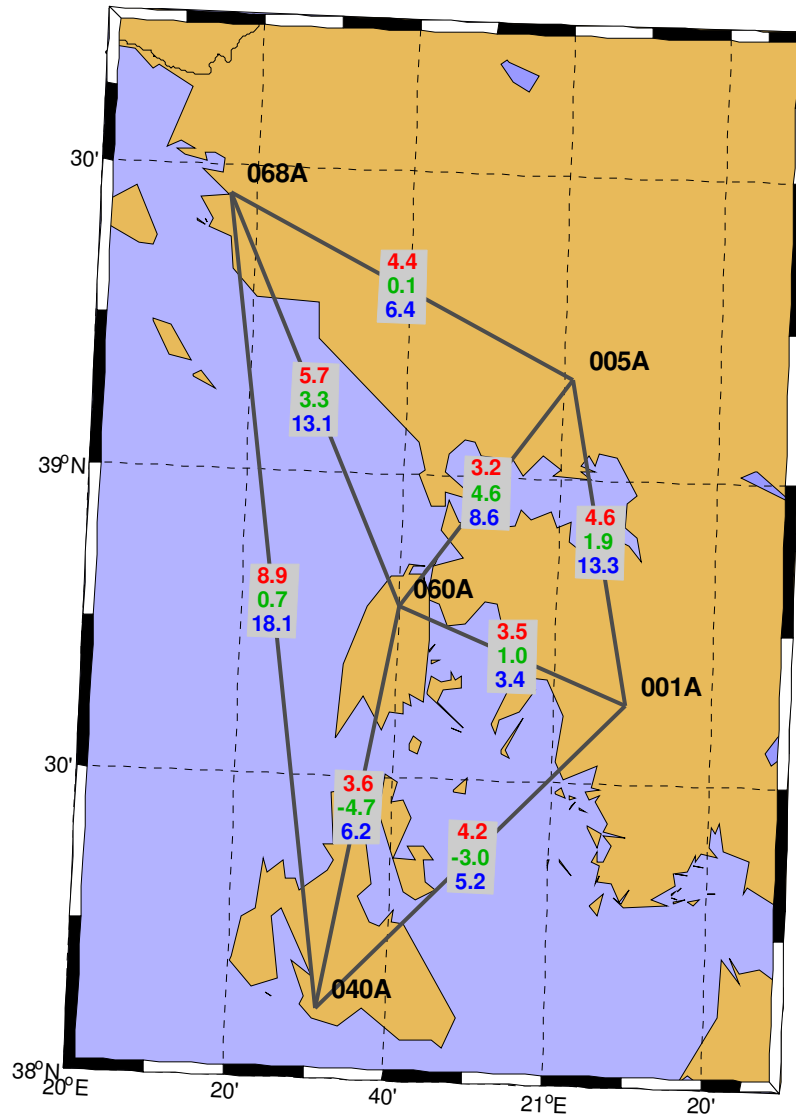
ETRF2005, epoch 2007.5
(HTRS07)

Μέσοι όροι (session-HEPOS):

ΔE	ΔN	Δr
8 mm	10 mm	13 mm
3 mm	2 mm	4 mm
26 mm	21 mm	34 mm

Επίλυση με όλες τις δυνατές βάσεις (5 HEPOS)

Συνόρθωση με ελάχιστες δεσμεύσεις με σταθερό τον σταθμό 005A



Λύσεις:

Οκτώβριος 2007 (2 ημέρες)

Ιανουάριος 2008 (3 ημέρες)

Ιούνιος 2008 (3 ημέρες)

Σύστημα αναφοράς:

ETRF2005, epoch 2007.5
(HTRS07)

Μέσοι όροι διαφορών 3Δ
αποστάσεων

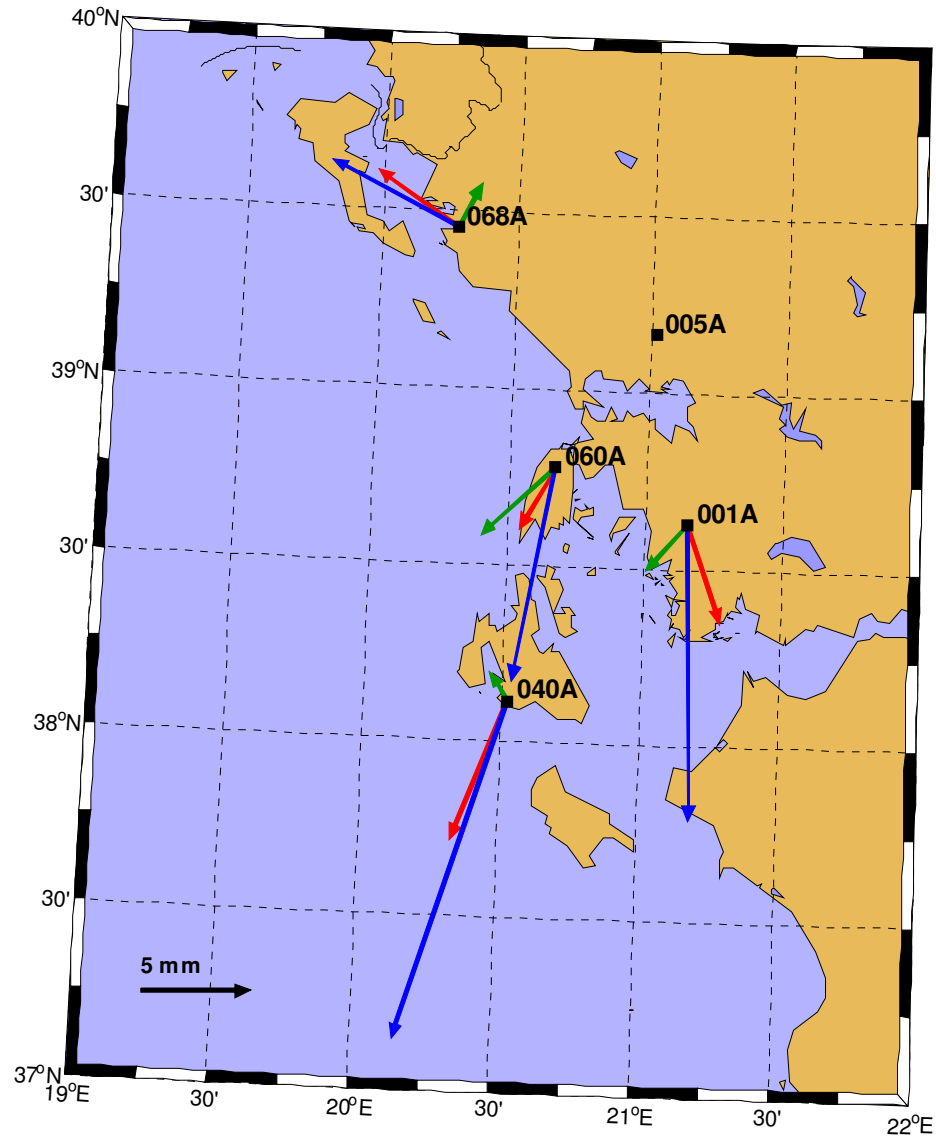
$S_{\text{session}} - S_{\text{HEPOS}}$:

5 mm

2 mm

11 mm

Διανύσματα μετατόπισης



Λύσεις:

Οκτώβριος 2007 (2 ημέρες)

Ιανουάριος 2008 (3 ημέρες)

Ιούνιος 2008 (3 ημέρες)

Σύστημα αναφοράς:

ETRF2005, epoch 2007.5
(HTRS07)

Μέσοι όροι (session-HEPOS):

ΔE	ΔN	Δr
2 mm	4 mm	5 mm
2 mm	2 mm	3 mm
3 mm	10 mm	11 mm

Χρονοσειρές συντεταγμένων από την EUREF

Μελέτη μετατοπίσεων των τριών σταθμών του δικτύου EPN στην Ελλάδα

Δεδομένα:

Περίοδος δεδομένων:

- Εβδομαδιαίες λύσεις για τους σταθμούς (SINEX):

AUT1 (Θεσσαλονίκη)..... GPS week: 1320 – 1490 (24/4/2005 – 2/8/2008)

NOA1 (Αθήνα)..... GPS week: 1374 – 1490 (7/5/2006 – 2/8/2008)

TUC2 (Χανιά)..... GPS week: 1304 – 1490 (2/1/2005 – 2/8/2008)

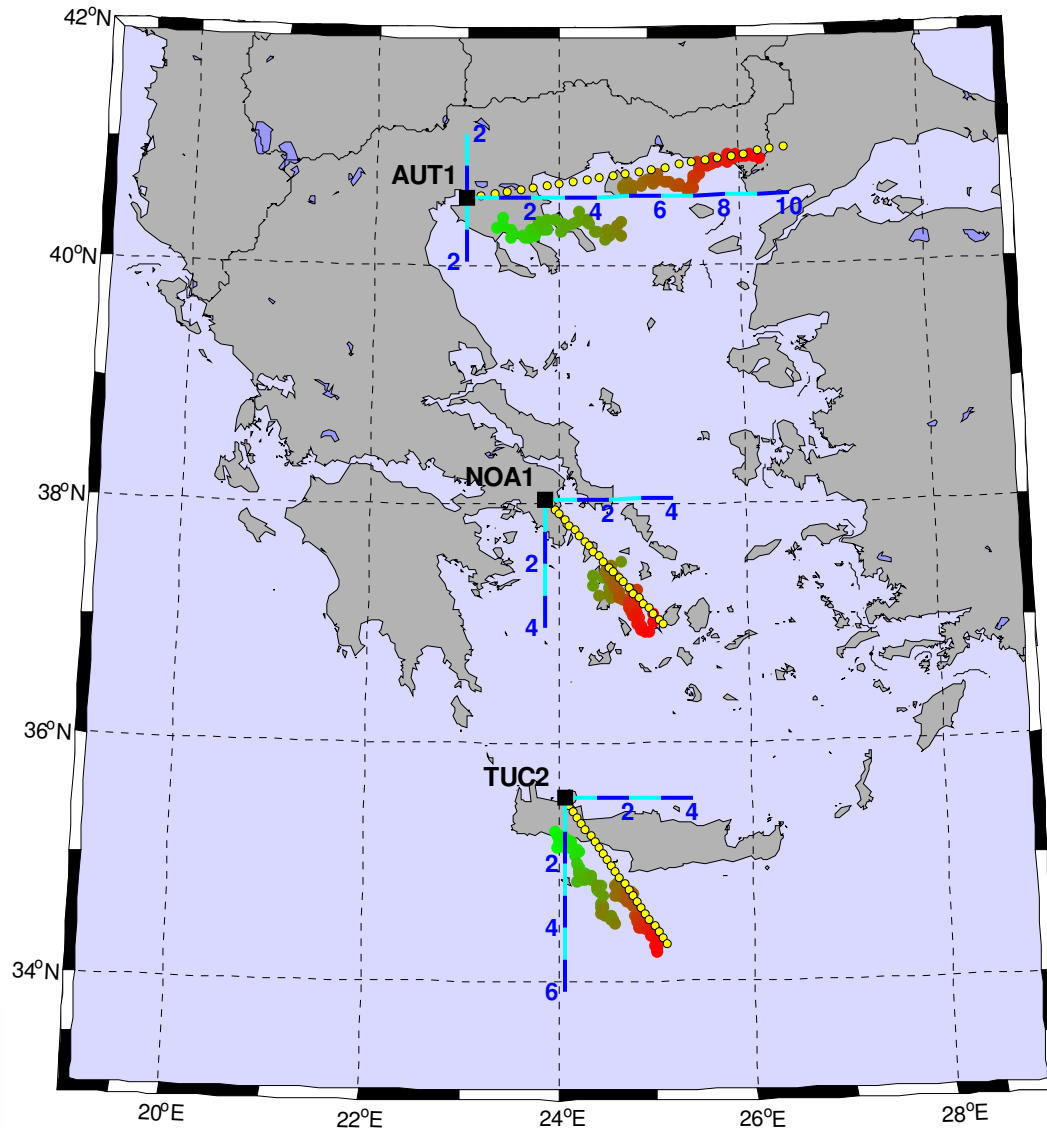
- Ταχύτητες για κάθε σταθμό (υπολογισμένες από EUREF)

Σύστημα αναφοράς:

Οι συντεταγμένες ITRF δίνονται από την EUREF στο σύστημα ITRF2005 και στην εποχή της εβδομάδας

Οι συντεταγμένες ETRF προέκυψαν από την μετατροπή μέσω B/A στο σύστημα ETRF2005 και στην αντίστοιχη εποχή

Σύστημα αναφοράς: **ITRF2005** εποχές από **2005.00** έως **2008.58**



3Δ Ταχύτητες EUREF (ITRF2005)

AUT1: 2.49 cm/yr

NOA1: 1.36 cm/yr

TUC2: 1.39 cm/yr

AUT1:

$v_E = 2.47$ cm/yr, $v_N = 0.36$ cm/yr, $v_h = -0.07$ cm/yr

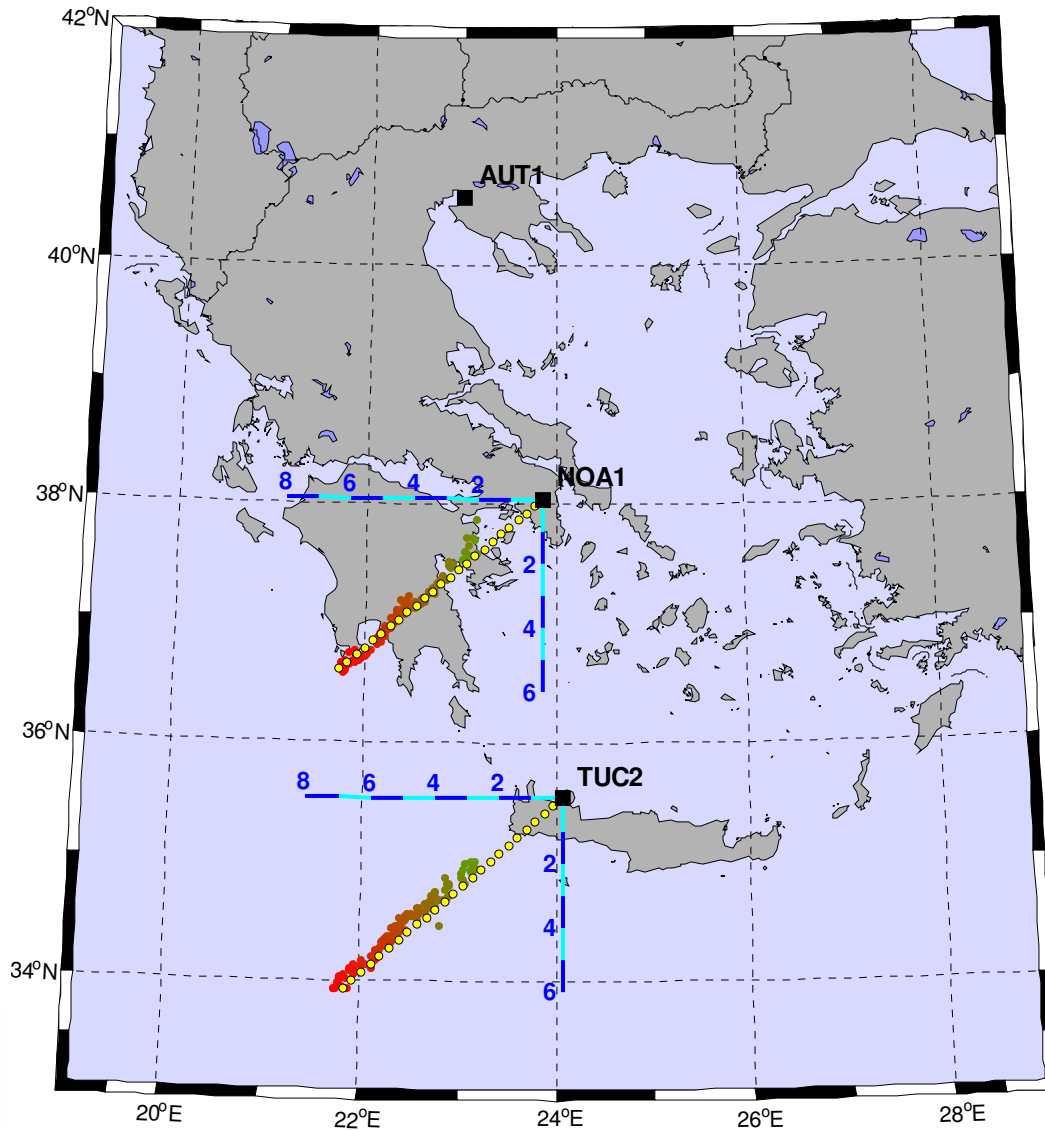
NOA1:

$v_E = 0.91$ cm/yr, $v_N = -0.98$ cm/yr, $v_h = 0.27$ cm/yr

TUC2:

$v_E = 0.78$ cm/yr, $v_N = -1.12$ cm/yr, $v_h = 0.23$ cm/yr

Σχετικές συντεταγμένες και ταχύτητες από εποχή 2005.00 έως 2008.58



3Δ Σχετικές ταχύτητες

NOA1: 2.08 cm/yr

TUC2: 2.26 cm/yr

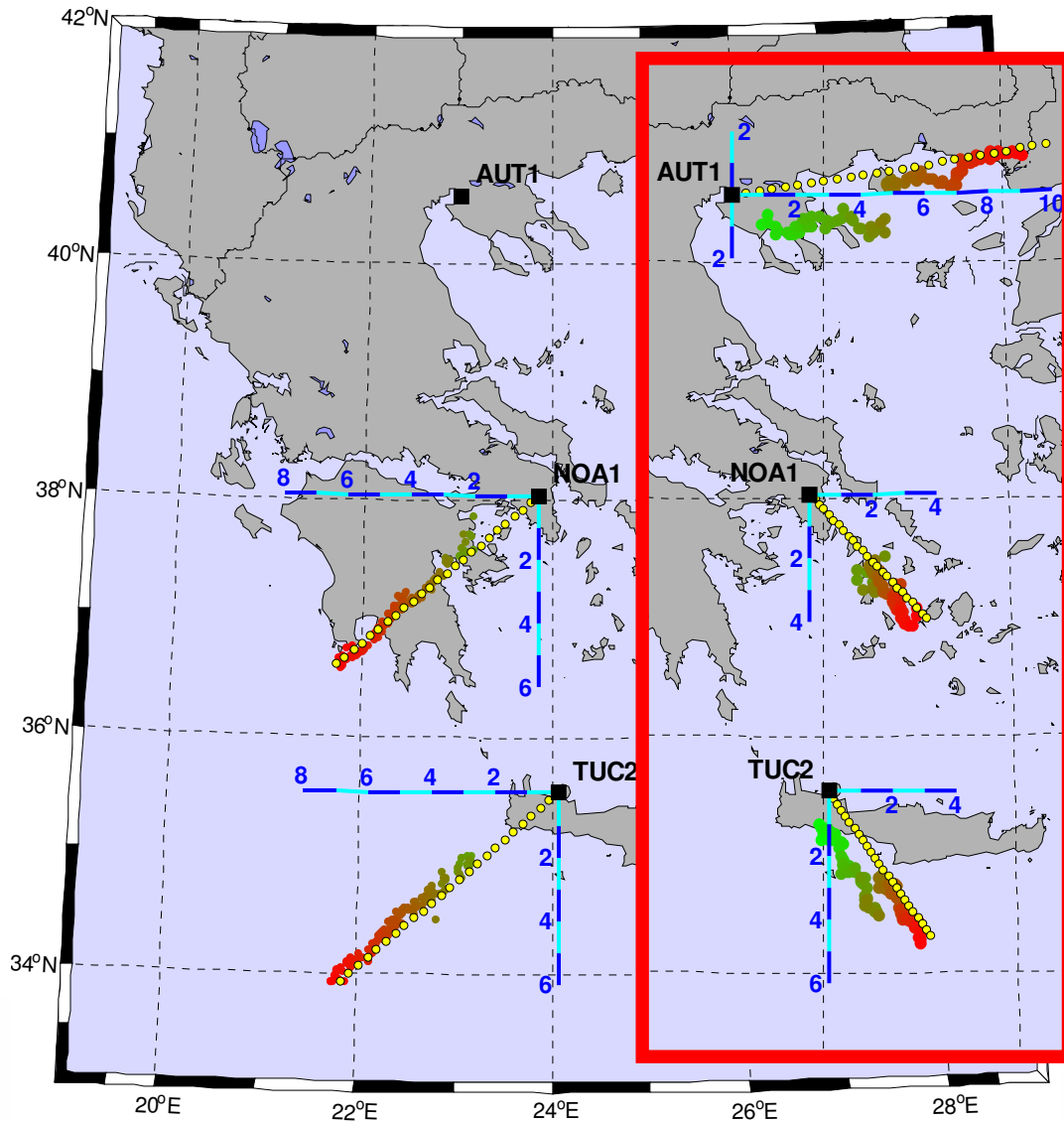
NOA1:

$v_E = -1.56$ cm/yr, $v_N = -1.34$ cm/yr, $v_h = 0.34$ cm/yr

TUC2:

$v_E = -1.69$ cm/yr, $v_N = -1.48$ cm/yr, $v_h = 0.30$ cm/yr

Σχετικές συντεταγμένες και ταχύτητες από εποχή 2005.00 έως 2008.58



3Δ Σχετικές ταχύτητες

NOA1: 2.08 cm/yr

TUC2: 2.26 cm/yr

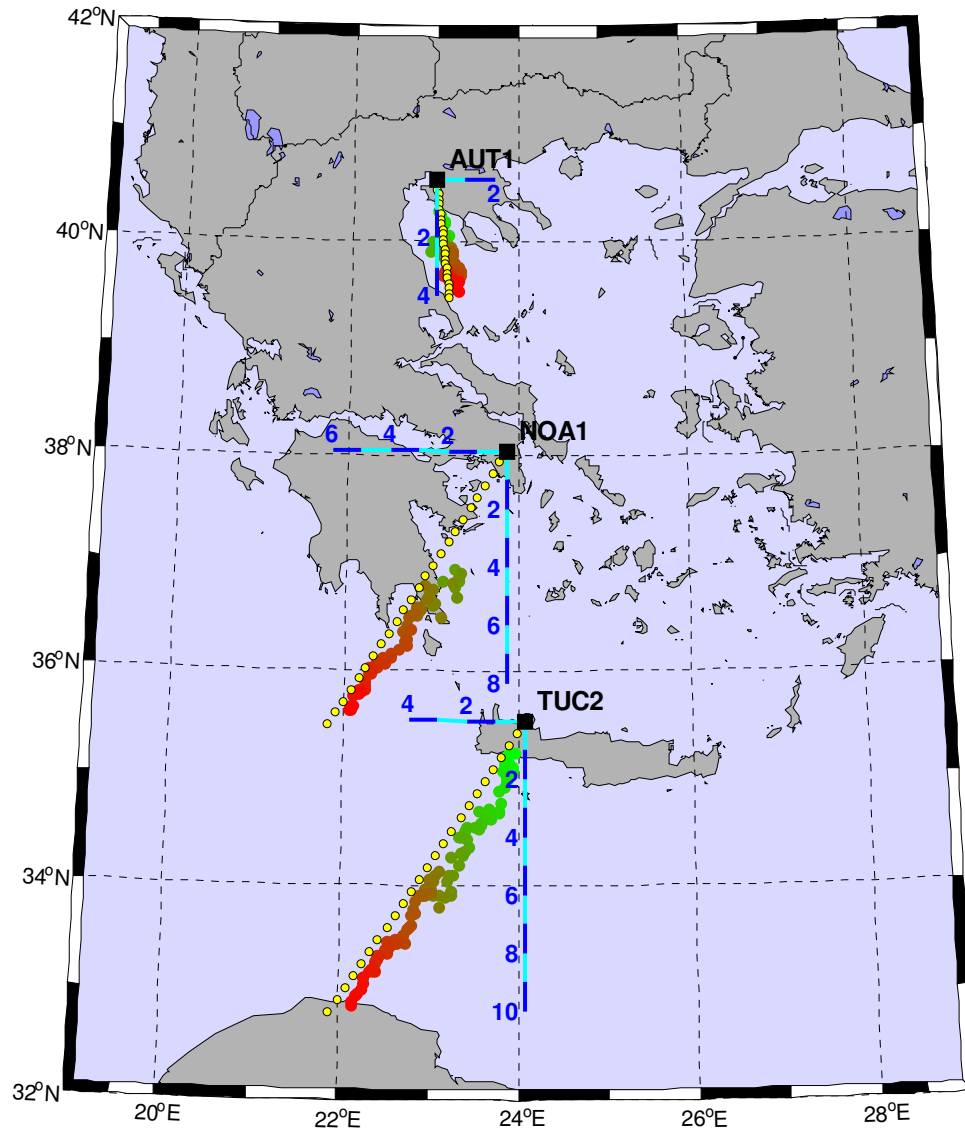
NOA1:

$v_E = -1.56$ cm/yr, $v_N = -1.34$ cm/yr, $v_h = 0.34$ cm/yr

TUC2:

$v_E = -1.69$ cm/yr, $v_N = -1.48$ cm/yr, $v_h = 0.30$ cm/yr

Σύστημα αναφοράς: ETRF2005 εποχές από 2005.00 έως 2008.58



3Δ Ταχύτητες EUREF

ETRF2005	ITRF2005
AUT1: 1.03 cm/yr	2.48 cm/yr
NOA1: 2.81 cm/yr	1.36 cm/yr
TUC2: 3.02 cm/yr	1.39 cm/yr

AUT1:

$v_E = 0.11$ cm/yr, $v_N = -1.02$ cm/yr, $v_h = -0.07$ cm/yr

I05: 2.47 cm/yr 0.36 cm/yr -0.07 cm/yr

NOA1:

$v_E = -1.50$ cm/yr, $v_N = -2.36$ cm/yr, $v_h = 0.27$ cm/yr

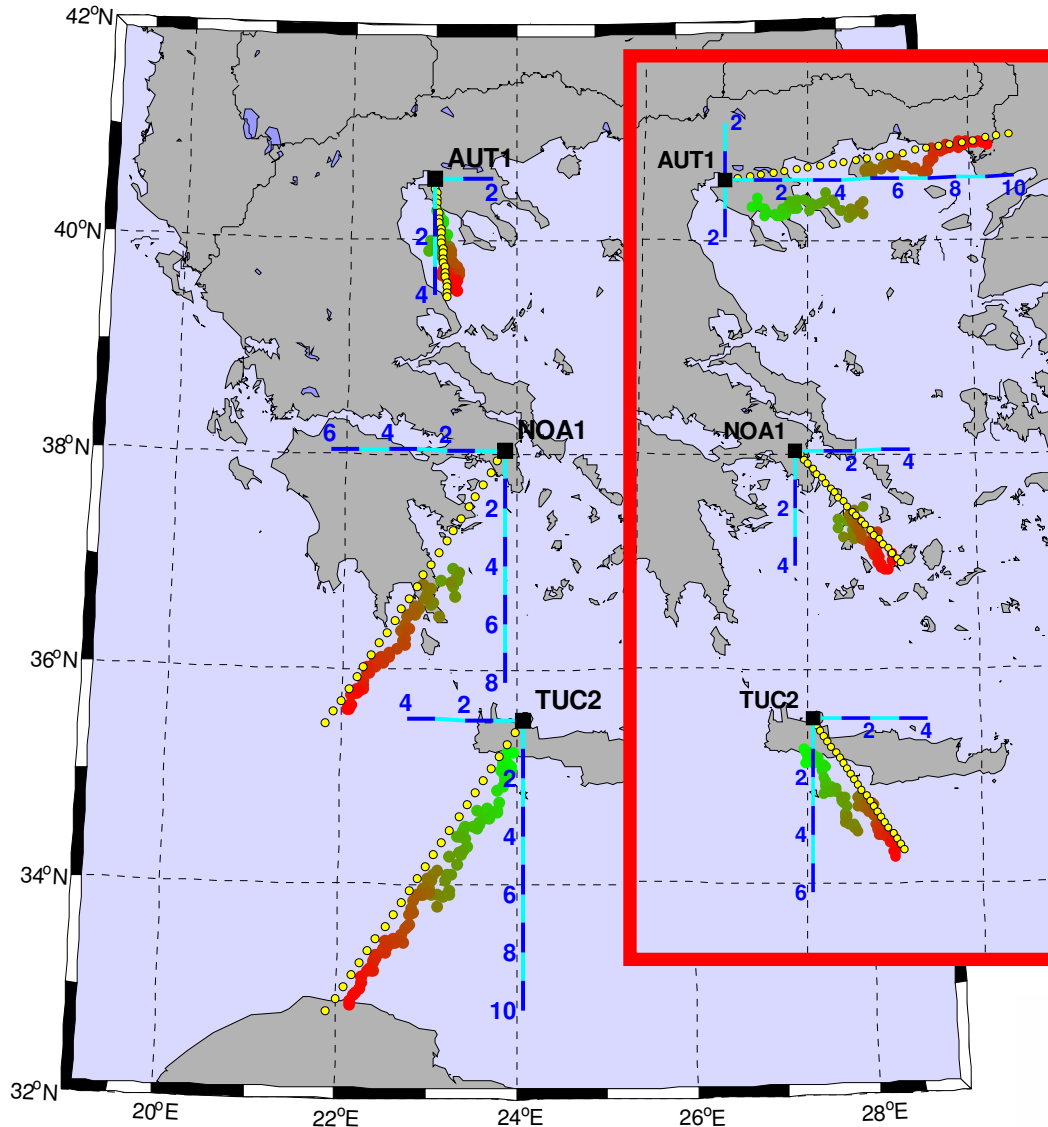
I05: 0.91 cm/yr -0.98 cm/yr 0.27 cm/yr

TUC2:

$v_E = -1.64$ cm/yr, $v_N = -2.52$ cm/yr, $v_h = 0.23$ cm/yr

I05: 0.78 cm/yr -1.12 cm/yr 0.23 cm/yr

Σύστημα αναφοράς: ETRF2005 εποχές από 2005.00 έως 2008.58



3Δ Ταχύτητες EUREF

ETRF2005	ITRF2005
AUT1: 1.03 cm/yr	2.48 cm/yr
NOA1: 2.81 cm/yr	1.36 cm/yr
TUC2: 3.02 cm/yr	1.39 cm/yr

AUT1:

$v_E = 0.11$ cm/yr, $v_N = -1.02$ cm/yr, $v_h = -0.07$ cm/yr
I05: 2.47 cm/yr 0.36 cm/yr -0.07 cm/yr

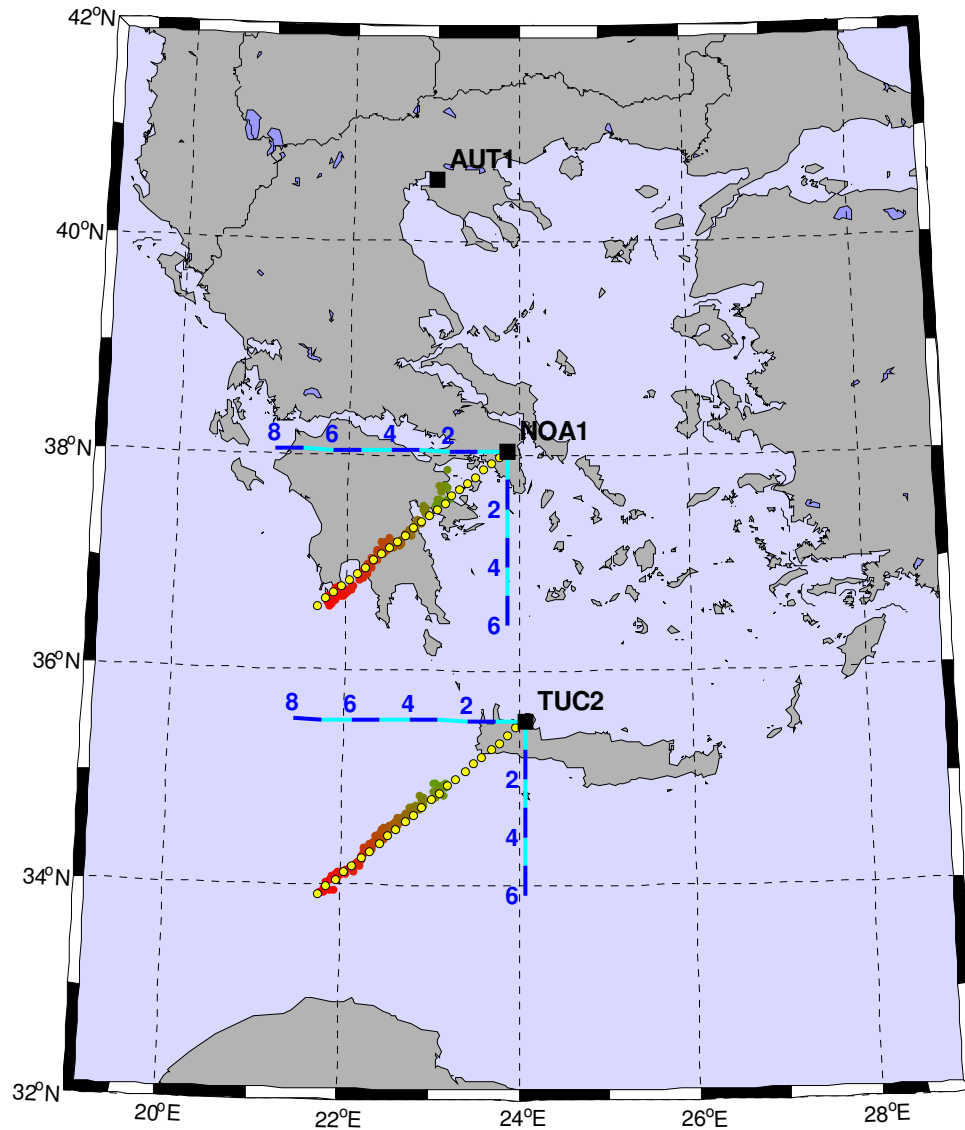
NOA1:

$v_E = -1.50$ cm/yr, $v_N = -2.36$ cm/yr, $v_h = 0.27$ cm/yr
I05: 0.91 cm/yr -0.98 cm/yr 0.27 cm/yr

TUC2:

$v_E = -1.64$ cm/yr, $v_N = -2.52$ cm/yr, $v_h = 0.23$ cm/yr
I05: 0.78 cm/yr -1.12 cm/yr 0.23 cm/yr

Σχετικές συντεταγμένες και ταχύτητες από εποχή **2005.00** έως **2008.58**



3Δ Σχετικές ταχύτητες

NOA1: 2.12 cm/yr (**2.08 cm/yr**)

TUC2: 2.33 cm/yr (**2.26 cm/yr**)

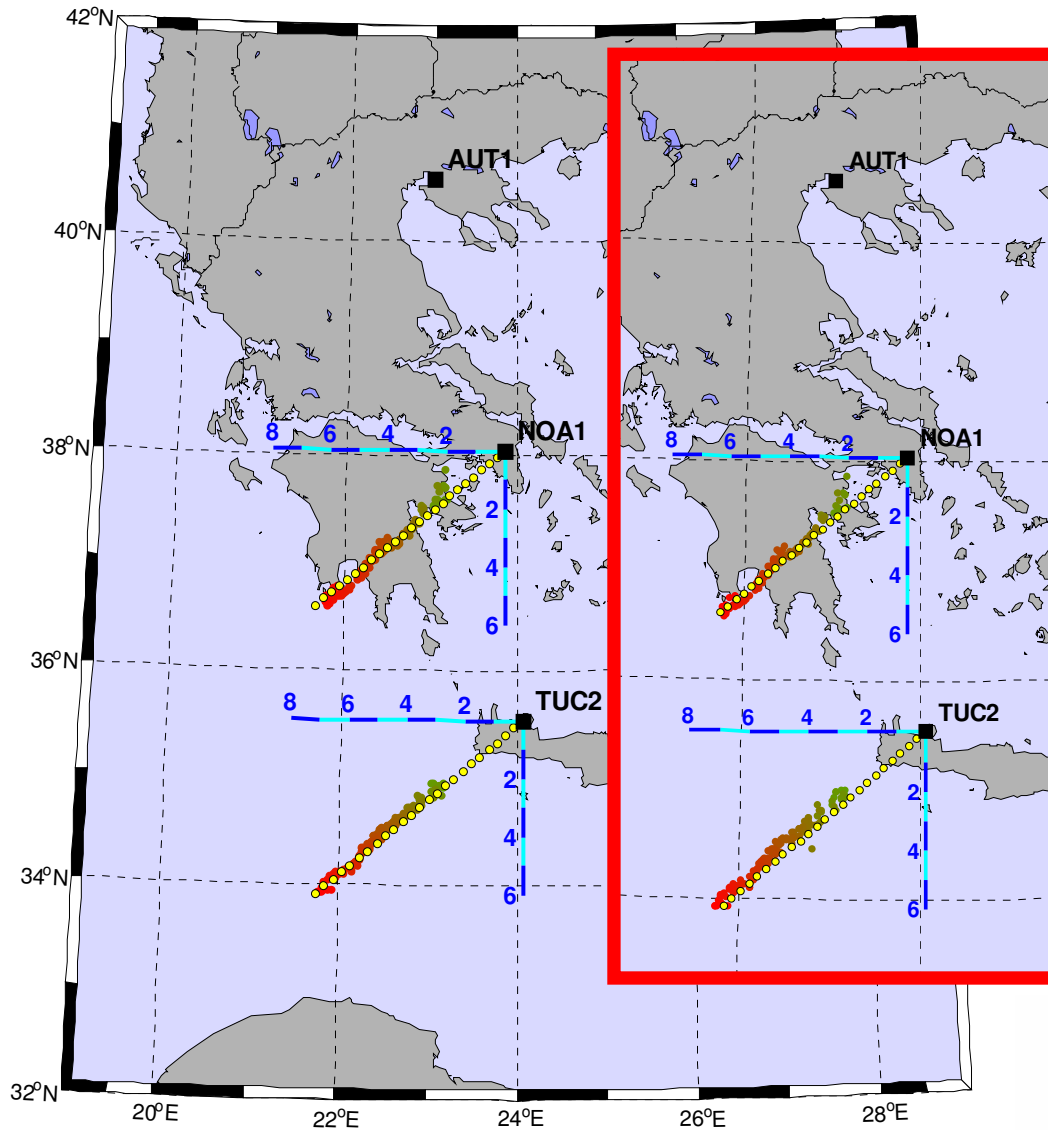
NOA1:

$v_E = -1.61$ cm/yr, $v_N = -1.35$ cm/yr, $v_h = 0.34$ cm/yr
(-1.56 cm/yr) (-1.34 cm/yr) (0.34 cm/yr)

TUC2:

$v_E = -1.76$ cm/yr, $v_N = -1.50$ cm/yr, $v_h = 0.30$ cm/yr
(-1.69 cm/yr) (-1.48 cm/yr) (0.30 cm/yr)

Σχετικές συντεταγμένες και ταχύτητες από εποχή **2005.00** έως **2008.58**



3Δ Σχετικές ταχύτητες

NOA1: 2.12 cm/yr (**2.08 cm/yr**)

TUC2: 2.33 cm/yr (**2.26 cm/yr**)

NOA1:

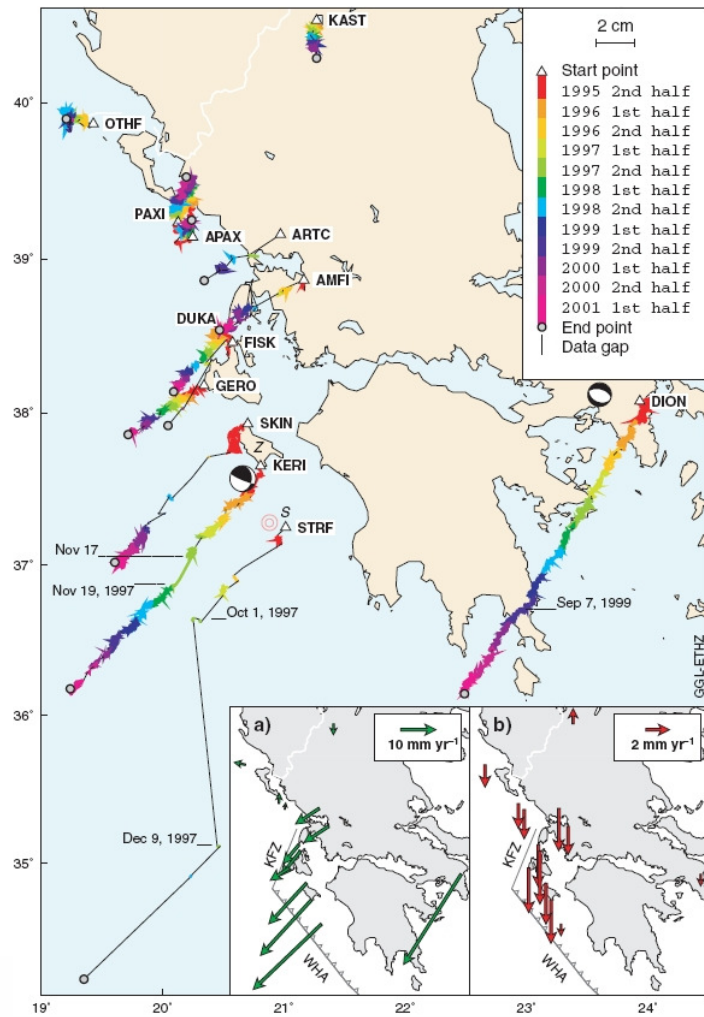
$v_E = -1.61$ cm/yr, $v_N = -1.35$ cm/yr, $v_h = 0.34$ cm/yr
(-1.56 cm/yr) (-1.34 cm/yr) (0.34 cm/yr)

TUC2:

$v_E = -1.76$ cm/yr, $v_N = -1.50$ cm/yr, $v_h = 0.30$ cm/yr
(-1.69 cm/yr) (-1.48 cm/yr) (0.30 cm/yr)

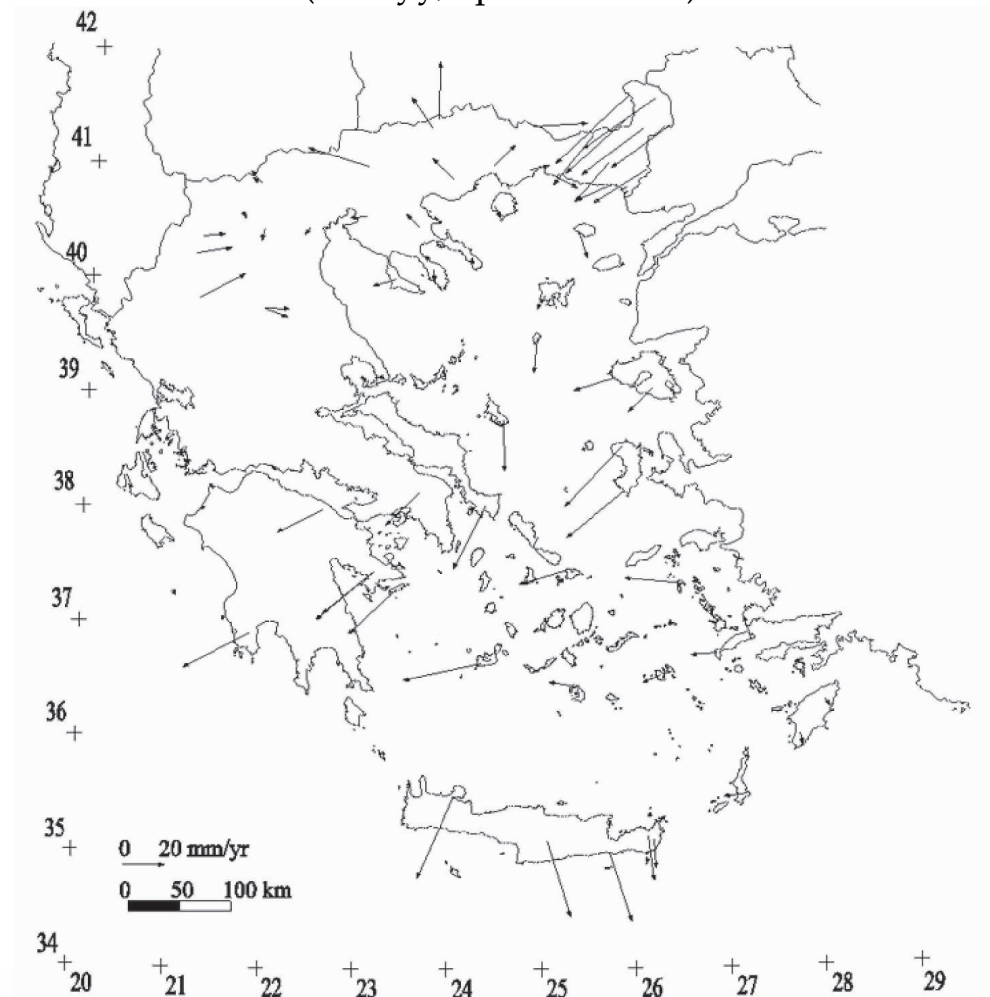
Πρόσφατες εργασίες που περιλαμβάνουν υπολογισμό ταχυτήτων στην Ελλάδα

CGPS-West Hellenic Arc 1995-2001
(ITRF2000, epoch 1997.0)



Ch. Hollenstein, A. Geiger, H.-G. Kahle and G. Veis (2006)

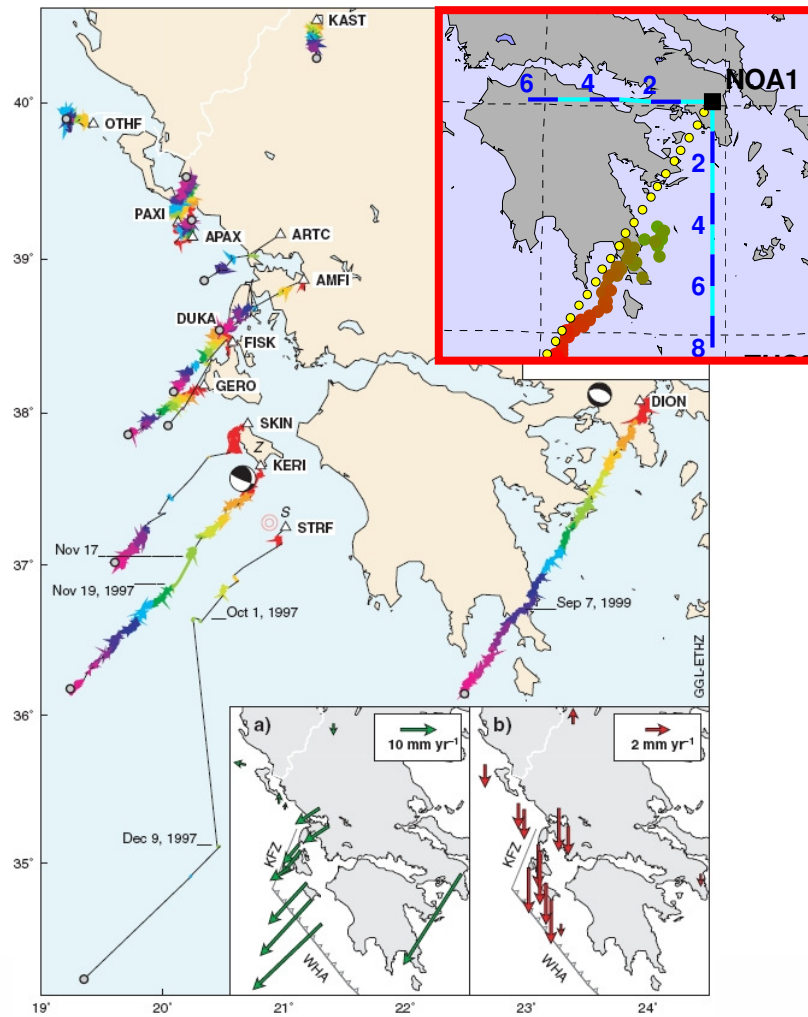
AEGEANET
(ITRFyy, epoch 1997.72)



D.Delikaraoglou, H.Billiris, D.Paradissis, P.C.England, B.Parsons and P.J.Clarke (2006)

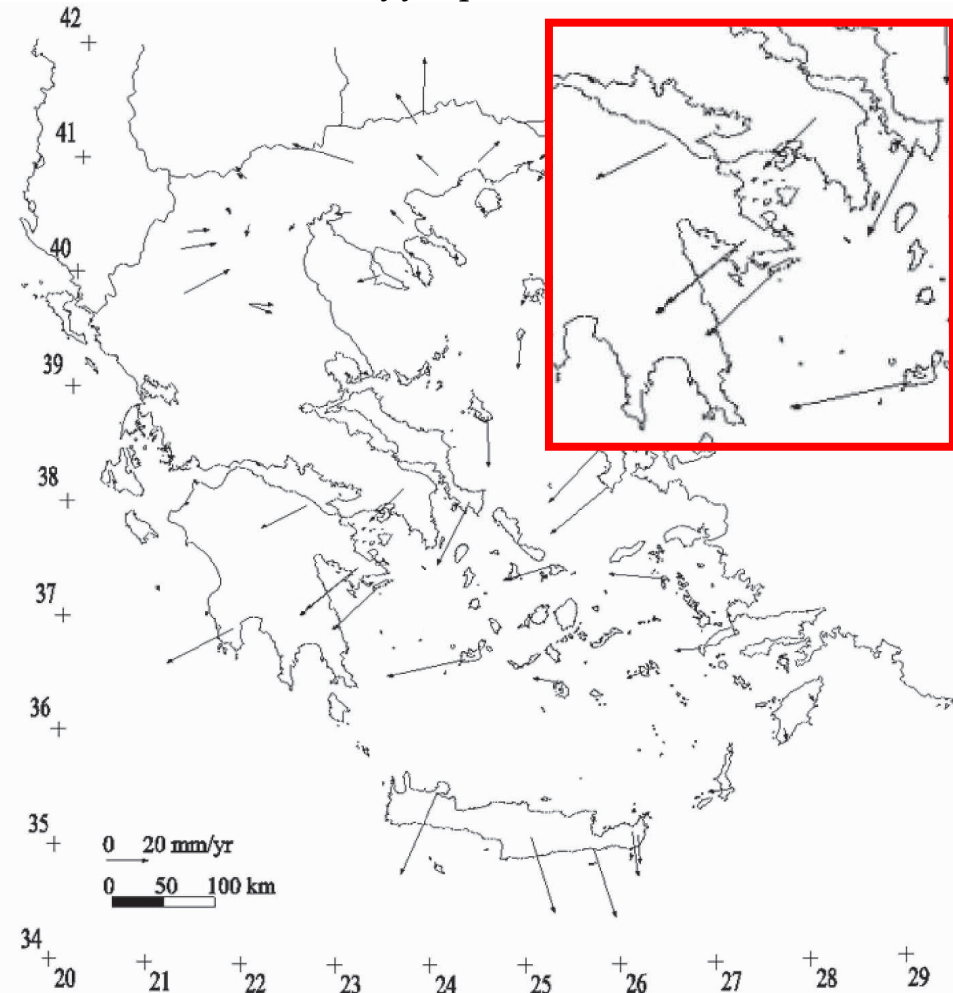
Πρόσφατες εργασίες που περιλαμβάνουν υπολογισμό ταχυτήτων στην Ελλάδα

CGPS-West Hellenic Arc 1995-2001
(ITRF2000, epoch 1997.0)



Ch. Hollenstein, A. Geiger, H.-G. Kahle and G. Veis (2006)

AEGEANET
(ITRFyy, epoch 1997.72)



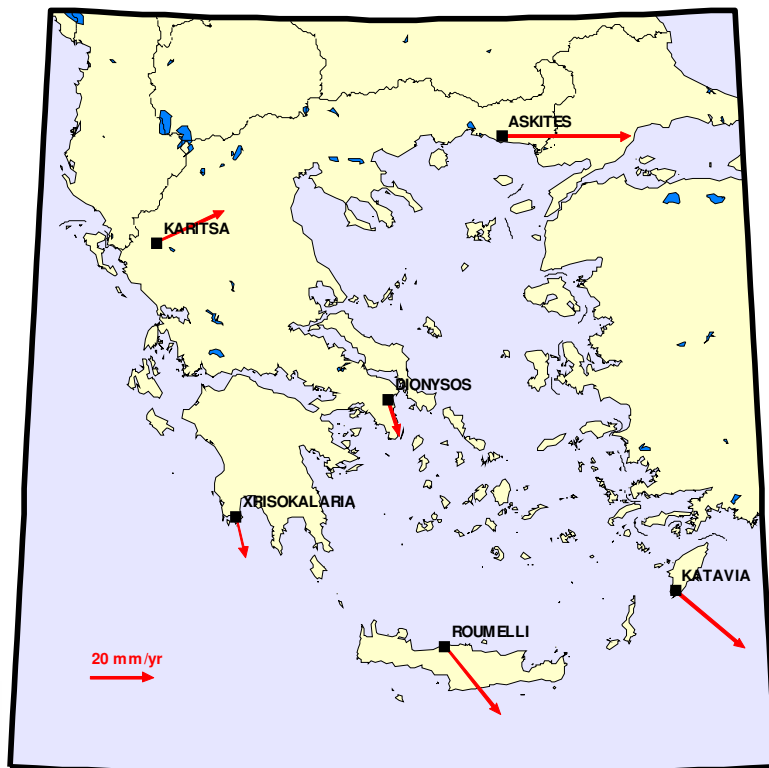
D.Delikaraoglou, H.Billiris, D.Paradissis, P.C.England, B.Parsons and P.J.Clarke (2006)

WEGENER (Working group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earth-Science Research)

Εργασίες με βάση τεχνικές διαστημικής γεωδαισίας (SLR, VLBI, GPS) για την μελέτη, μεταξύ άλλων, της τοπικής κίνησης τεκτονικών πλακών στην περιοχή της Μεσογείου

Μετρήσεις σε αραιά χρονικά διαστήματα από το 1980 (WEGENER/MEDLAS)

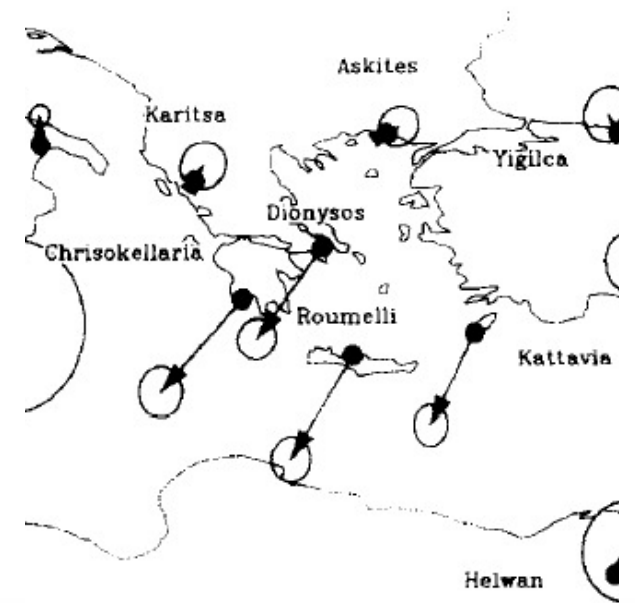
Στην Ελλάδα: μετρήσεις SLR σε 6 σταθμούς από το 1986



3Δ ταχύτητες
(ITRF2000, ep. 1997.0)

DION:	12 mm/yr
ASKT:	42 mm/yr
ROUM:	28 mm/yr
KRTS:	24 mm/yr
KATV:	29 mm/yr
XRIS:	14 mm/yr

Campaigns
Euref '89, Epoch '92 (ITRF92)



50 mm/yr
R. Noomen et al. (1996)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ

Υπάρχει επίδραση των γεωδυναμικών φαινομένων σε ένα δίκτυο GNSS (π.χ. HEPOS)

- Με ποιον τρόπο θα λαμβάνονται υπόψη οι γεωδυναμικές κινήσεις για να μπορεί να **συνδέεται** διαχρονικά με παγκόσμια δυναμικά ΣΑ τύπου ITRS ;
- Στην Ελλάδα **δεν υπάρχουν** σταθμοί που ανήκουν στο δίκτυο της IGS ή της IERS
- Μπορούν να αξιοποιηθούν τα **6 σημεία WEGENER (SLR)** που παρατηρούνται από το 1986 και συμμετείχαν στη λύση για τον ορισμό των ITRF μέχρι το 2000 ;

Ακόμα κι αν τα παραπάνω ερωτήματα απαντηθούν...

- μπορούν οι υπάρχοντες σταθμοί του συστήματος HEPOS να αποτελούν το δυναμικό γεωδαιτικό ΣΑ της Ελλάδας ;
- είναι απαραίτητη η εγκατάσταση δικτύου «μηδενικής τάξης» (fiducial/zero order) ;

Σταθμοί «μηδενικής τάξης» για τον υπολογισμό συντεταγμένων και ταχυτήτων



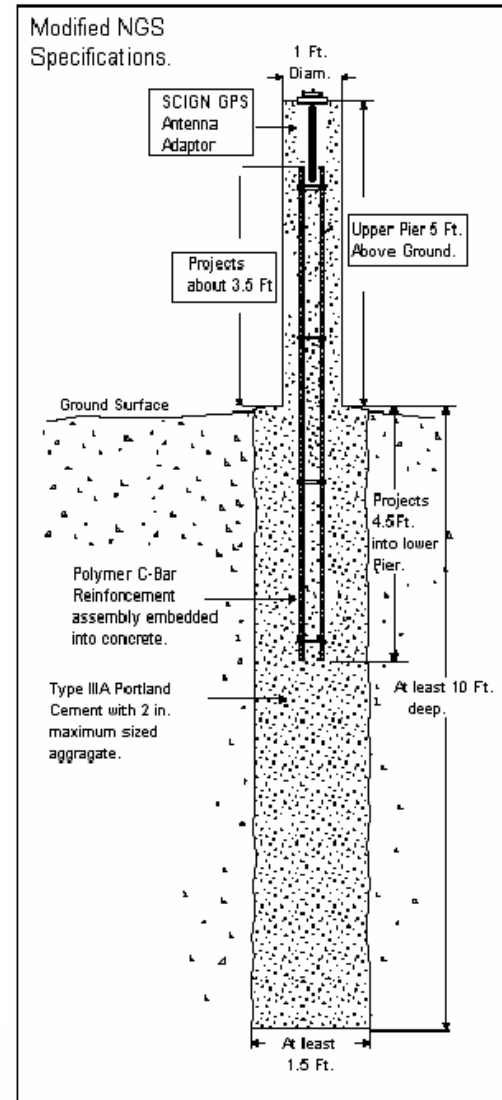
(NGS CORS)



Onsala, Sweden (EPN)



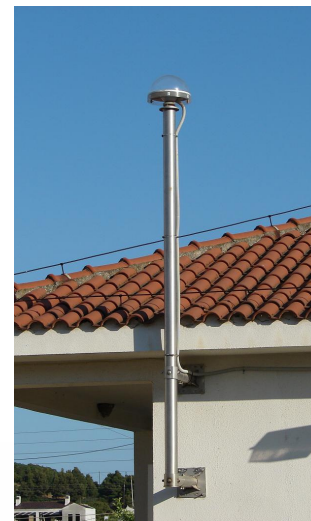
Nicosia, Cyprus (EPN)



Χωριστή Δράμας



Συκιά Χαλκιδικής



Ν. Φώκεια Χαλκιδικής

Ηπειρωτικά και κρατικά Δίκτυα μονίμων σταθμών GNSS



Συμπέρασμα: ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να λαμβάνει υπόψη και να παρακολουθεί τις μεταβολές

Οι συνηθέστεροι τρόποι διαχείρισης των μεταβολών είναι:

- Υπολογισμός ταχυτήτων σε συγκεκριμένα σημεία
- Υπολογισμός πεδίου ταχυτήτων
- Υπολογισμός παραμέτρων μετασχηματισμού

Υπολογισμός ταχυτήτων σε συγκεκριμένα σημεία

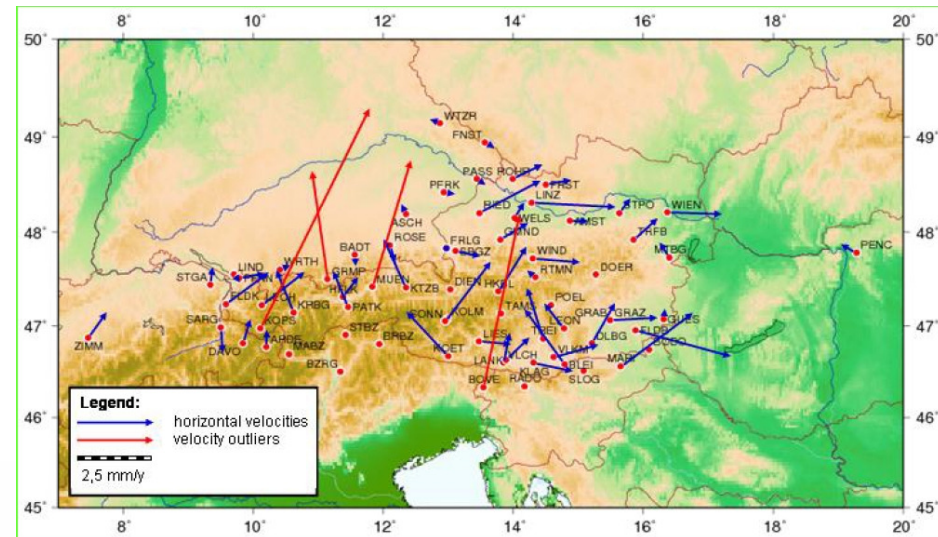
Με τις ταχύτητες «συγχρονίζονται» οι θέσεις των σταθμών αναφοράς και μέσω αυτών προκύπτει η θέση του χρήστη στην επιθυμητή εποχή

- Ποια μεθοδολογία θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ;
 - τι λύσεις θα χρησιμοποιούνται (ημερήσιες, εβδομαδιαίες) ;
 - φιλτράρισμα δεδομένων – δημιουργία χρονοσειρών ;
 - πως θα συνορθώνεται το δίκτυο (ποιες και πόσες δεσμεύσεις) ;

- Ποια υπηρεσία θα είναι υπεύθυνη για τους υπολογισμούς ;

- Κάθε πότε θα ενημερώνονται οι ταχύτητες ;

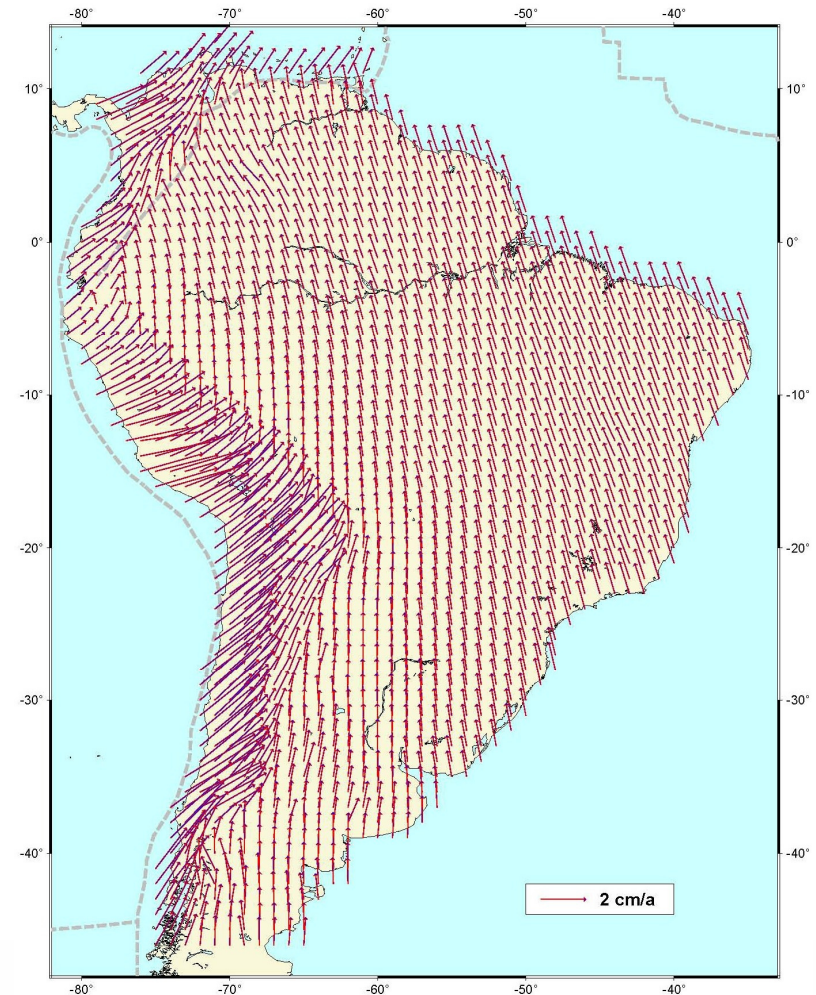
- Οι ταχύτητες θα εφαρμόζονται από την υπηρεσία στο δίκτυο ή από τον χρήστη στη θέση ;



Υπολογισμός πεδίου ταχυτήτων

Με παρεμβολή στο πεδίο ταχυτήτων υπολογίζεται η ταχύτητα οποιουδήποτε σημείου

- Με ποια **μεθοδολογία** θα προκύψουν οι αρχικές ταχύτητες των σημείων ;
- Πως θα υπολογίζεται το πεδίο ταχυτήτων με βάση τις αρχικές ταχύτητες ;
- Ποιο θα είναι το **σύστημα αναφοράς** του ;
- Ποια μπορεί/πρέπει να είναι η **διακριτική ικανότητα** του παραγόμενου πεδίου ταχυτήτων ;
- Τι **διάστημα δεδομένων** θεωρείται επαρκές για έναν τέτοιο υπολογισμό ;
- Θα λαμβάνονται υπόψη γεωλογικές, σεισμολογικές και γεωφυσικές πληροφορίες ;
- Η εφαρμογή των διορθώσεων για τη θέση θα γίνεται από τον χρήστη ή από κάποια υπηρεσία ;



Υπολογισμός παραμέτρων μετασχηματισμού

Σύνδεση μεταξύ διαφορετικών εποχών μέσω ενός 7-παραμετρικού μετασχηματισμού

Υπάρχει δυνατότητα να υπολογίζονται:

7 παράμετροι από κάθε εποχή προς την εποχή αναφοράς ;

ή

7 παράμετροι για κάθε εποχή αναφοράς του ΣΑ

και

7 χρονικά μεταβαλλόμενες παράμετροι (ρυθμός μεταβολής για κάθε παράμετρο) ;

Η διαχείριση των επιπτώσεων των γεωδυναμικών φαινομένων είναι αρμοδιότητα του φορέα λειτουργίας του δικτύου

OPUS (Online Positioning User Service) / SCOUT (Scripps Coordinate Update Tool)

Ανακεφαλαίωση

Ταχύτητες: από τις μεγαλύτερες που παρατηρούνται στην Ευρώπη

Έντονη γεωδυναμική δραστηριότητα

Ανάγκη για διαρκή παρακολούθηση των μεταβολών στο δίκτυο

ΌΜΩΣ:

Έλλειψη σταθμών που ανήκουν στο δίκτυο της IGS (ή της IERS)

Έλλειψη σταθμών GNSS «μηδενικής τάξης»

Μικρό διάστημα λειτουργίας του συστήματος HEPOS – λίγα δεδομένα

ΑΣ ΑΝΑΡΩΤΗΘΟΥΜΕ:

Με ποια μέθοδο θα δίνεται η διαχείριση των μεταβολών ;

Ποιο θα είναι το σύστημα αναφοράς των ταχυτήτων ;

Είναι δυνατόν το δίκτυο στη σημερινή του μορφή να αποτελεί τον κύριο γεωδαιτικό σκελετό της χώρας ως προς τις συντεταγμένες και τις ταχύτητες ;

Ευχαριστούμε για την προσοχή σας...



...θαντεβού στο επόμενο συνέδριο? σεμινάριο? workshop?