HEPOS Workshop

Το μοντέλο μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS και του ΕΓΣΑ87

Χ. Κωτσάκης & Κ. Κατσάμπαλος

Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου της Τεχνικής Βοήθειας (ΤΕ-ΒΟ) που παρέχει το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ στην Κτηματολόγιο ΑΕ για την ολοκλήρωση του συστήματος HEPOS

Το έργο της Τεχνικής Βοήθειας για το HEPOS εντάσσεται στο μέτρο 5.3 του Ε.Π. 'Κοινωνία της Πληροφορίας' και συγχρηματοδοτείται σε ποσοστό 80% από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και 20% από Εθνικούς Πόρους.

Επισκόπηση παρουσίασης

- Εισαγωγή – Περιγραφή του Προβλήματος
- Περί μετασχηματισμού συντεταγμένων
- Προσδιορισμός του μοντέλου μετασχηματισμού ΕΓΣΑ87 ↔ HEPOS
- Παραδείγματα & Ενδεικτικές ακρίβειες
- Συμπεράσματα

Εισαγωγή

HEPOS…

Η αξιοποίηση του HEPOS σε γεωδαιτικές, τοπογραφικές και χαρτογραφικές εργασίες στην Ελλάδα απαιτεί **κατάλληλα μοντέλα μετασχηματισμού συντεταγμένων** που θα εξασφαλίζουν τη δυνατότητα παροχής χωρικών πληροφοριών σε συγκεκριμένα συστήματα & πλαίσια αναφοράς

Εισαγωγή

Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS → ***HTRS07***

Hellenic Terrestrial Reference System (2007)

HTRS07

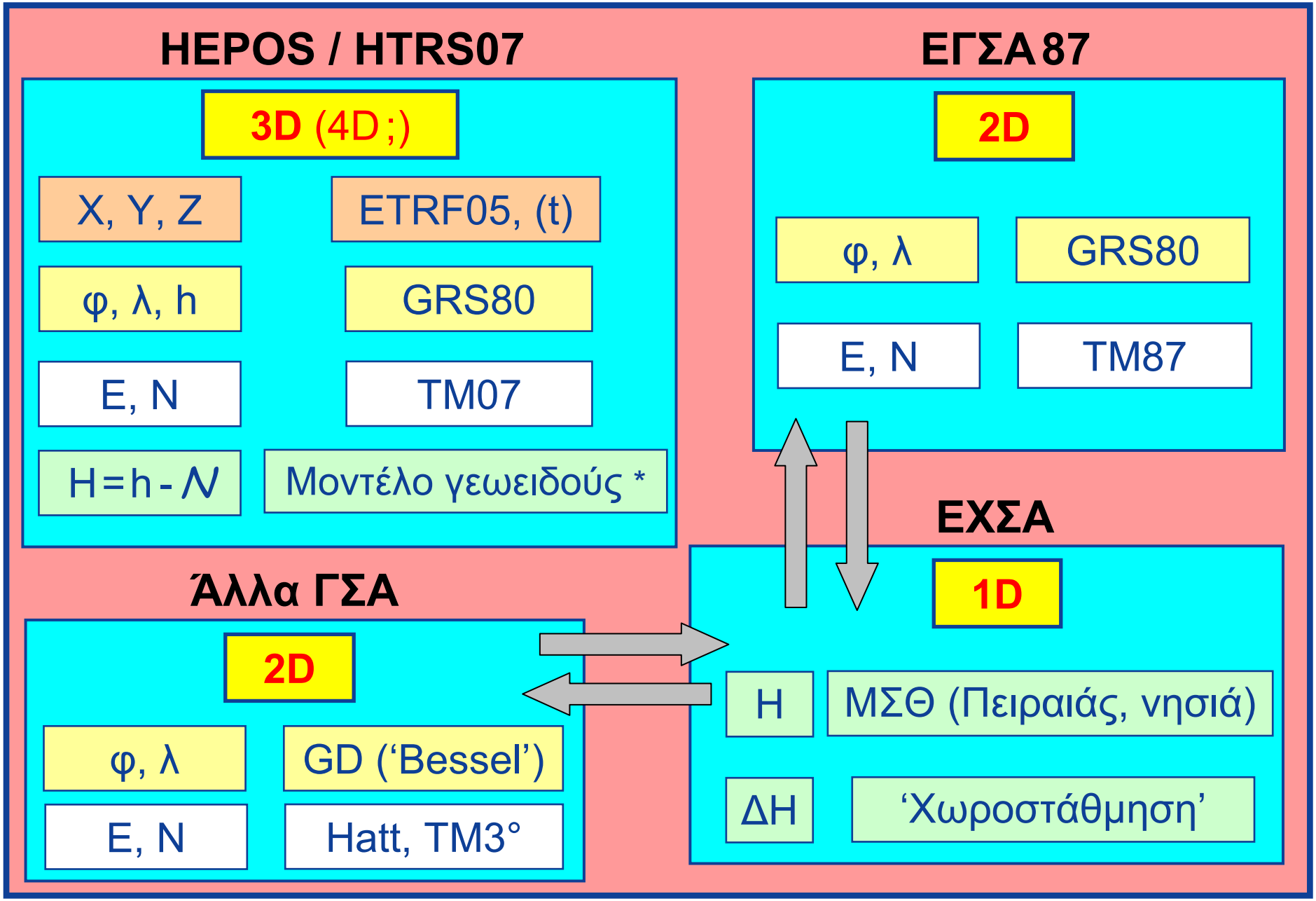
Σύστημα αναφοράς συντεταγμένων
ETRS89

Πλαίσιο αναφοράς συντεταγμένων
ETRF05
(t=2007.5)

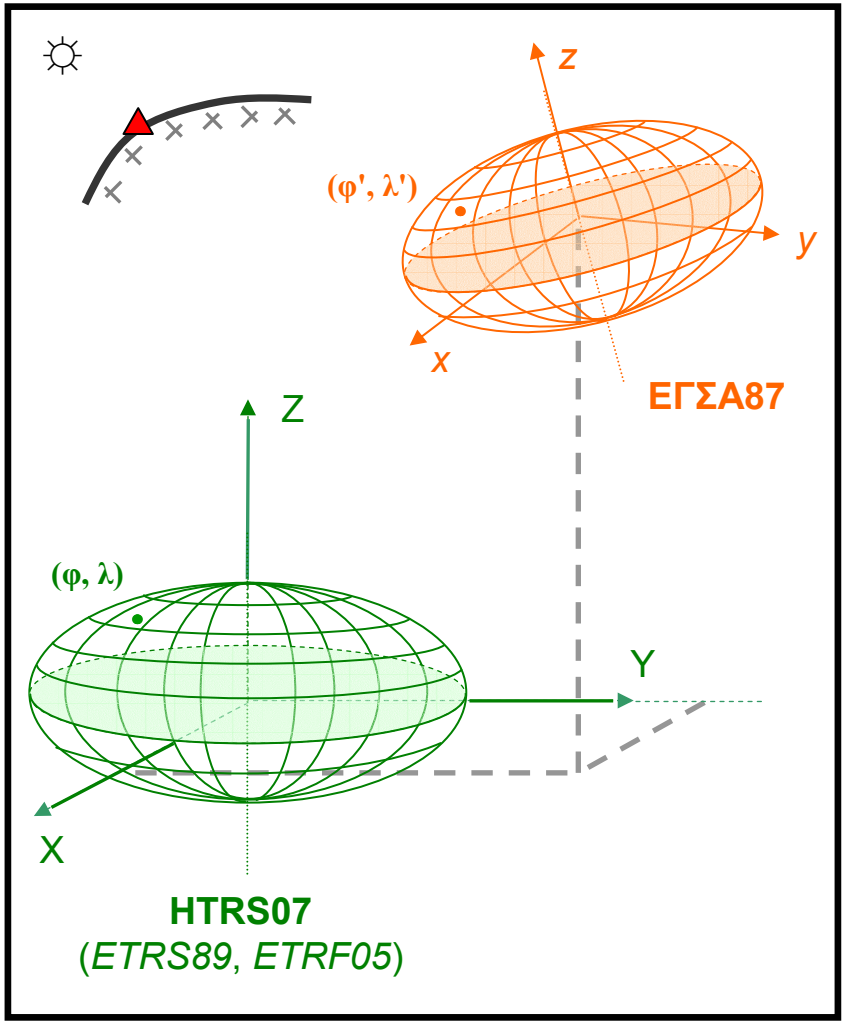
Προβολικό σύστημα συντεταγμένων
TM07

***ΕΕΠ αναφοράς**: GRS80*

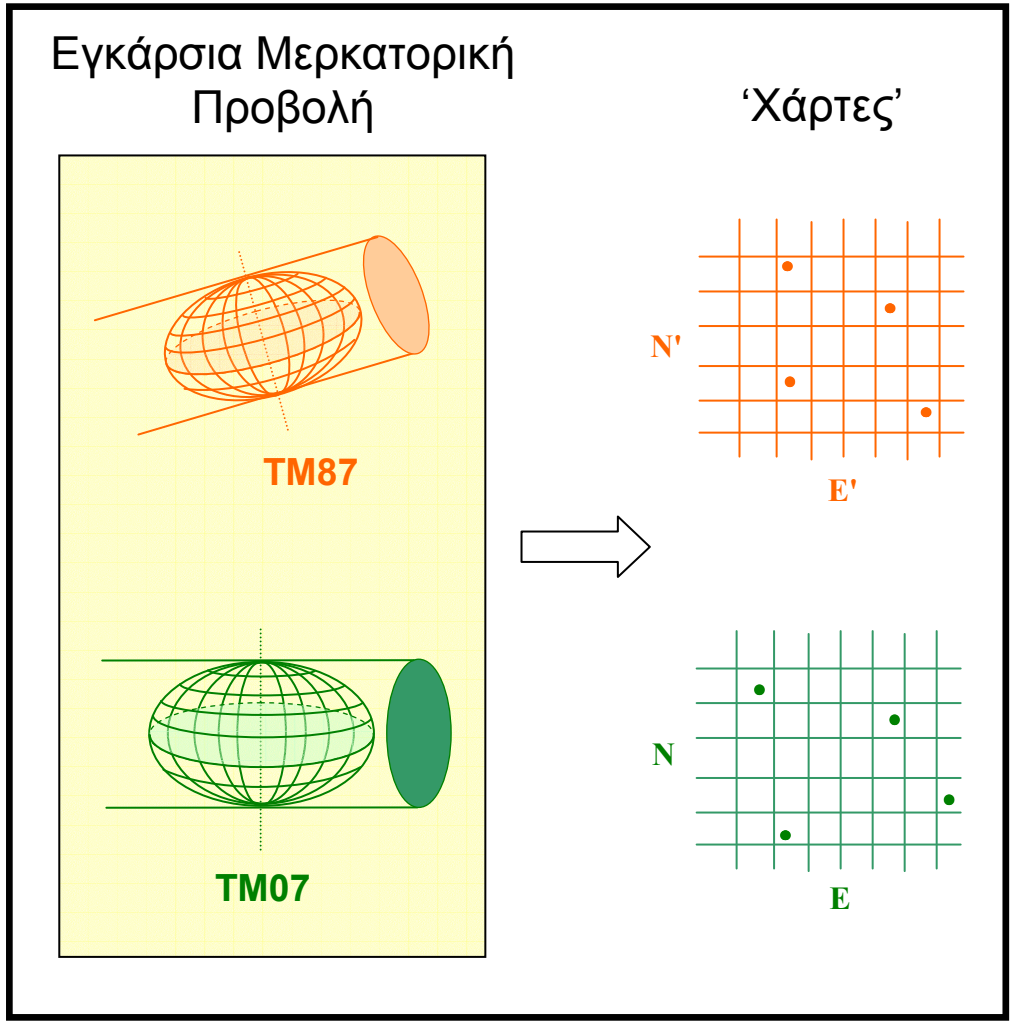
Εθνική Γεωδαιτική Υποδομή



HTRS07 vs. ΕΓΣΑ87

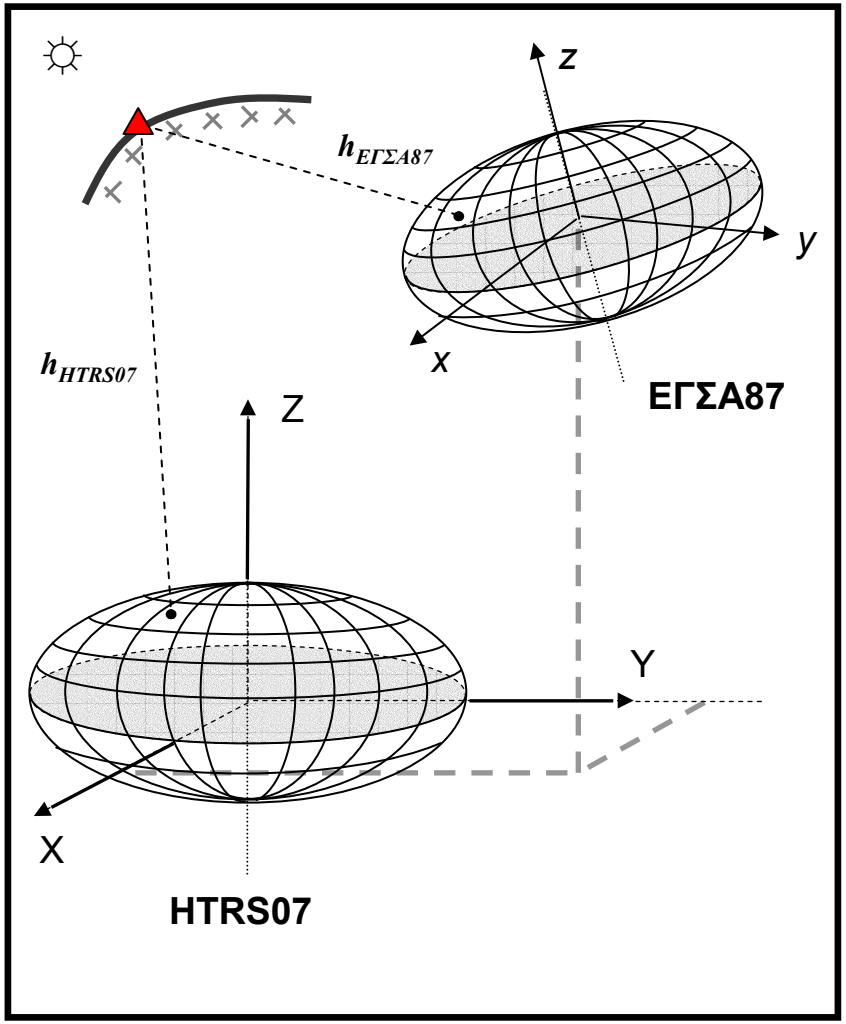


Οριζοντιογραφία

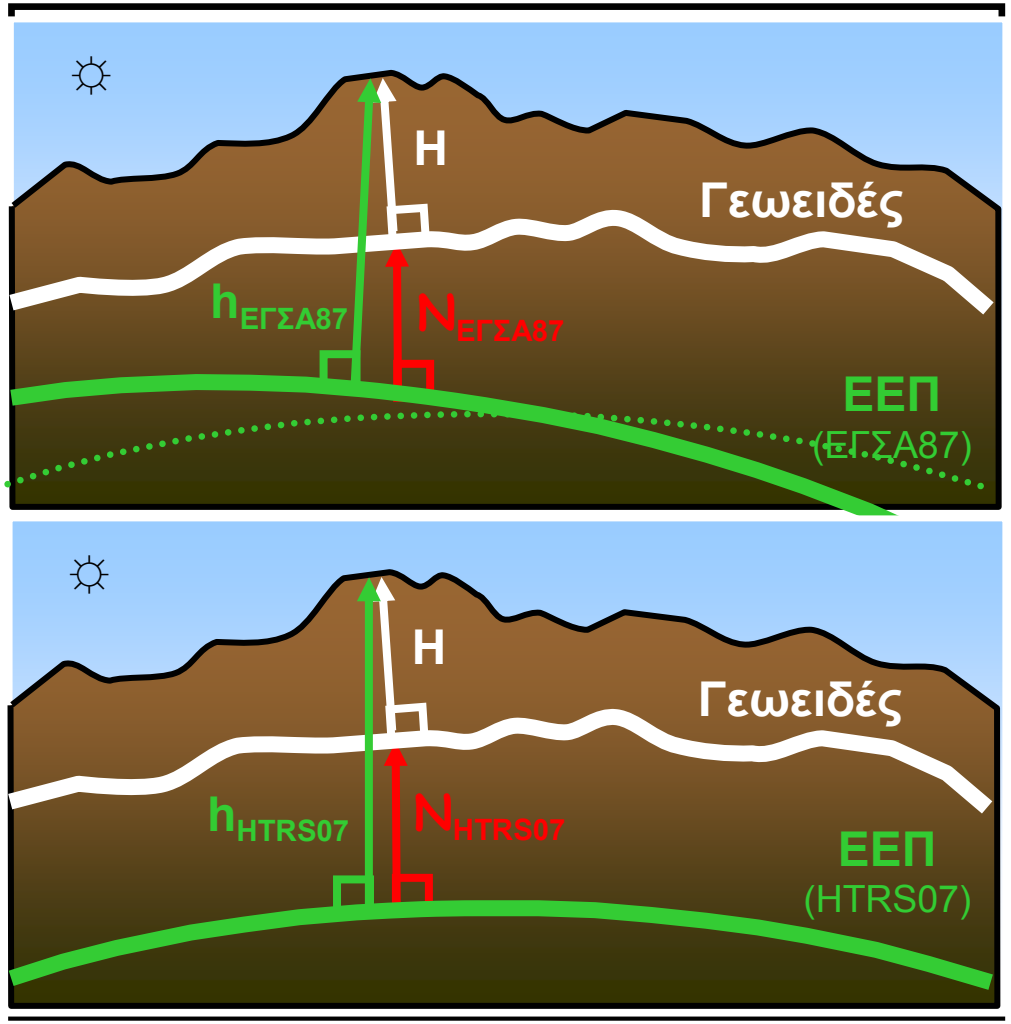


(*) Το **ΕΕΠ αναφοράς** είναι (και στις δύο περιπτώσεις) το **GRS80**

HTRS07 vs. ΕΓΣΑ87

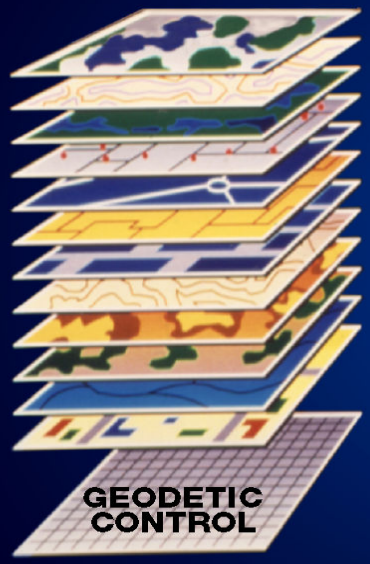


Υψομετρία



(*) Το **ΕΕΠ αναφοράς** είναι (και στις δύο περιπτώσεις) το **GRS80**

ΟΚΧΕ – ΓΥΣ – άλλες υπηρεσίες



Γεωδαιτικά στοιχεία

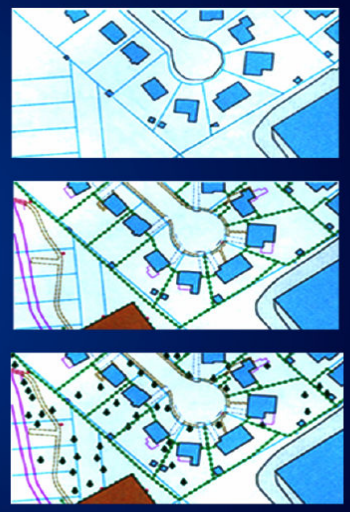
Χαρτογραφικά στοιχεία

Κτηματογραφικά στοιχεία

Ορθοφωτοχάρτες

Βάσεις γεωγραφικών δεδομένων (GIS)

κλπ.



HEPOS

Για να μην καταλήξουμε έτσι....

Ανάγκη συμβατότητας μεταξύ των 'γεω-πληροφοριών' !

Βασικές Εφαρμογές

Τα μοντέλα μετασχηματισμού συντεταγμένων που 'συνοδεύουν' το HEPOS θα πρέπει να δρουν υποστηρικτικά για τις εξής **βασικές λειτουργίες**:

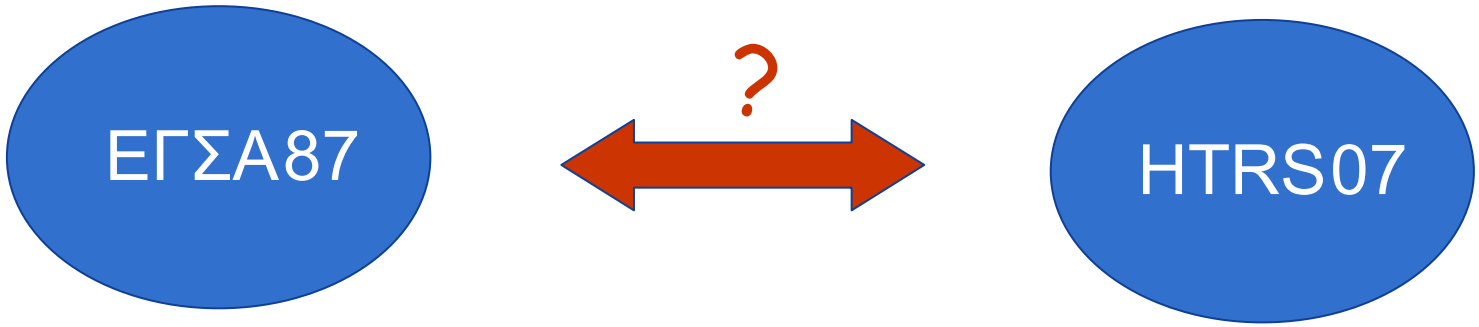
- Μετασχηματισμός της υπάρχουσας *Υποδομής Χωρικών Πληροφοριών* από το ΕΓΣΑ87 στο σύστημα αναφοράς του HEPOS
- Χρήση του HEPOS για την εκτέλεση και ένταξη γεωδαιτικών και άλλων εργασιών στο ΕΓΣΑ87

Βασικές Εφαρμογές (συνέχ.)

Τα μοντέλα μετασχηματισμού συντεταγμένων που 'συνοδεύουν' το HEPOS θα πρέπει να δρουν υποστηρικτικά για τις εξής **βασικές λειτουργίες**:

- Χρήση του HEPOS για τον προσδιορισμό *υψομετρικών θέσεων & διαφορών* στο ΕΧΣΑ **('χωροστάθμηση με GPS')**
- Δυνατότητα διαχείρισης *χρονικά-μεταβαλλόμενων* θέσεων και άλλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Το αντικείμενο της μελέτης



Προσδιορισμός **αμφίδρομου μοντέλου οριζοντιογραφικού μετασχηματισμού** μεταξύ του ΕΓΣΑ87 και του γεωκεντρικού πλαισίου αναφοράς συντεταγμένων του συστήματος HEPOS

'Διπλή ταυτότητα' οριζόντιας θέσης σημείου

HTRS07 (HEPOS)

X, Y, Z

↓

φ, λ, h

↓

$\lambda_o = 24°$
$\kappa_o = 0.9996$
$\varphi_o = 0°$
False Easting
$E_o = 500000.000$ m
False Northing
$N_o = -2000000.000$ m

↓

E, N

Χαρτογρ. Προβολή TM07

⟷

ΕΓΣΑ87

φ', λ'

↓

$\lambda_o = 24°$
$\kappa_o = 0.9996$
$\varphi_o = 0°$
False Easting
$E_o = 500000.000$ m
False Northing
$N_o = 0$ m

↓

E', N'

Χαρτογρ. Προβολή TM87

Βασικά ‘προβλήματα’ για τον προσδιορισμό του μετασχηματισμού HTRS07 ↔ ΕΓΣΑ87

- Απαίτηση για ένα **ενιαίο** και **αμφίδρομο** μοντέλο μετασχηματισμού για όλη την Ελλάδα
- Το πλαίσιο αναφοράς του HEPOS είναι ***πρωτογενώς 3Δ*** ενώ το ΕΓΣΑ87 είναι ***πρακτικά 2Δ***
- Είναι αναγκαίο να γίνει, με κάποιο τρόπο, η γεωδαιτική «προσεγγιστική 3Δ-ποίηση» του ΕΓΣΑ87 στο δίκτυο των κοινών σημείων
- Ύπαρξη **συστηματικών παραμορφώσεων** στο πλαίσιο αναφοράς του ΕΓΣΑ87

Περί μετασχηματισμού συντεταγμένων…

Φυσική πραγματικότητα

Μετρήσεις – Δεδομένα

(γωνίες, αποστάσεις, υψομετρ. διαφορές, μετρήσεις GPS, κλπ.)

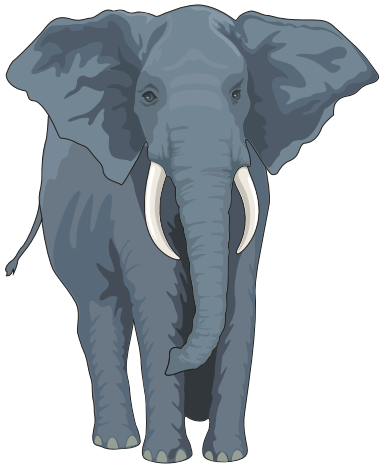
Συστήματα Αναφοράς

(& άλλα μαθηματικά μοντέλα επεξεργασίας μετρήσεων)

Γεωμετρική περιγραφή

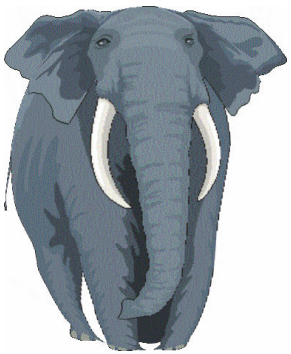
- *συντεταγμένες*
- *τοπογραφικοί χάρτες*
- *ορθοφωτοχάρτες*
- *ψηφιακά μοντέλα εδάφους*

.....

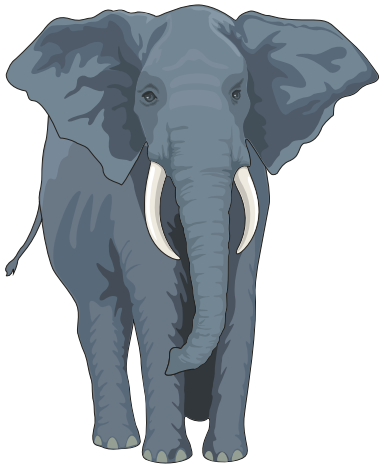


Γεωμετρική περιγραφή 'Α'

Γεωμετρική περιγραφή 'Β'



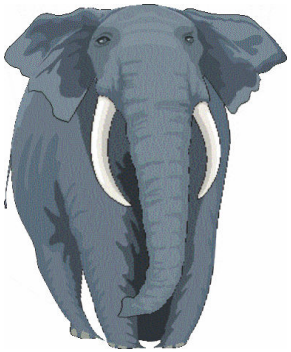
Μοντέλο μετασχηματισμού

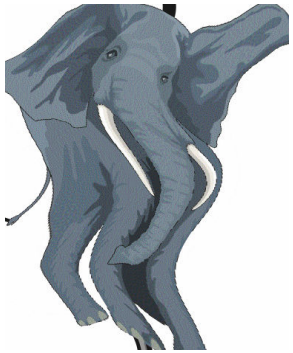


Πότε θεωρείται ένας μετασχηματισμός 'πετυχημένος' ;

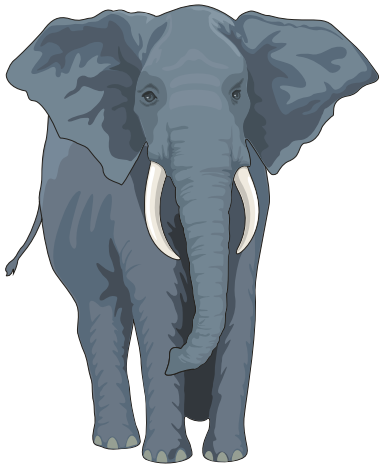
Τι σημαίνει 'ακριβής' μετασχηματισμός ;

Τι είδους μοντέλο χρειάζομαι για ένα 'καλό' μετασχηματισμό ;

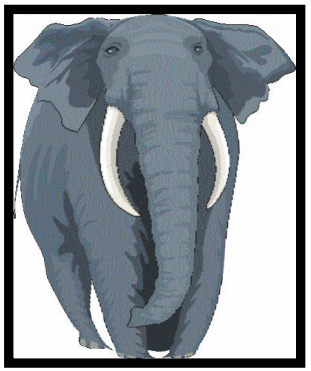




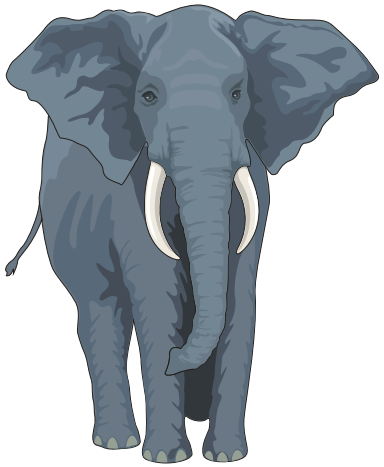
Μοντέλο μετασχηματισμού



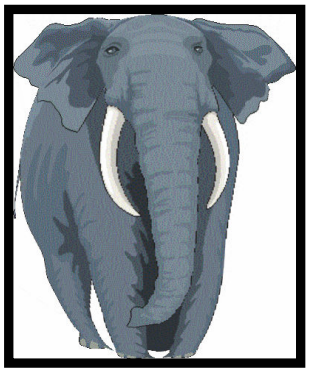
Μετασχηματισμός ομοιότητας



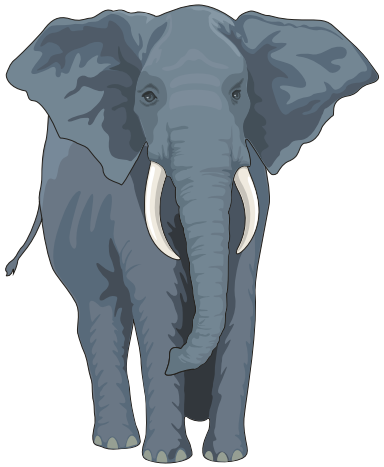
Μοντέλο μετασχηματισμού



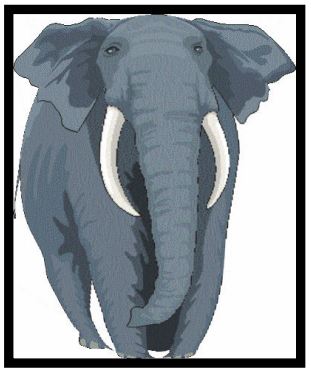
Μετασχηματισμός αφινικός



Μοντέλο μετασχηματισμού



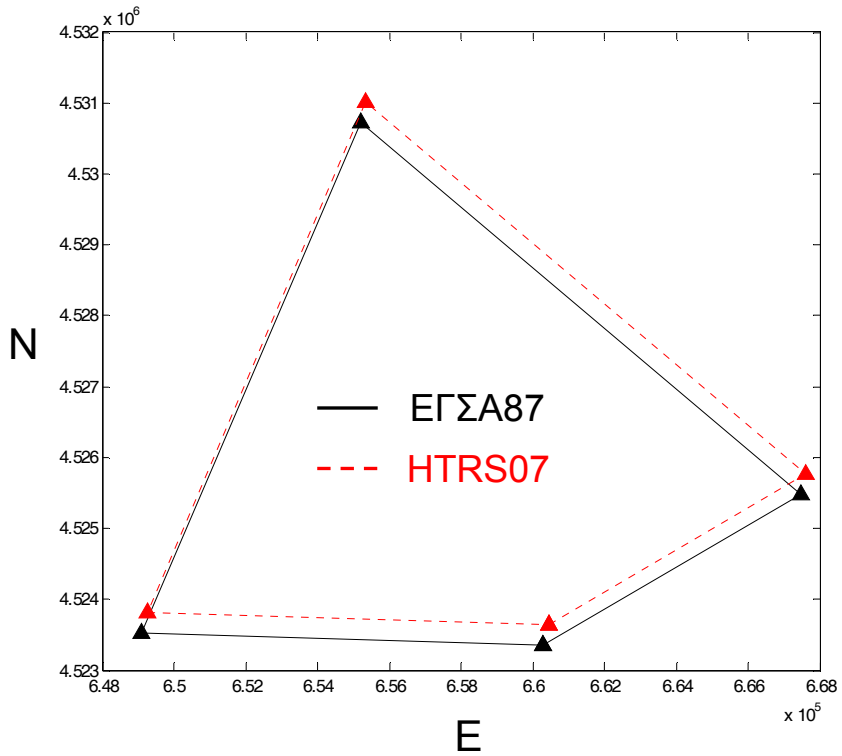
Μετασχηματισμός
?



Μοντέλο μετασχηματισμού

Παράδειγμα

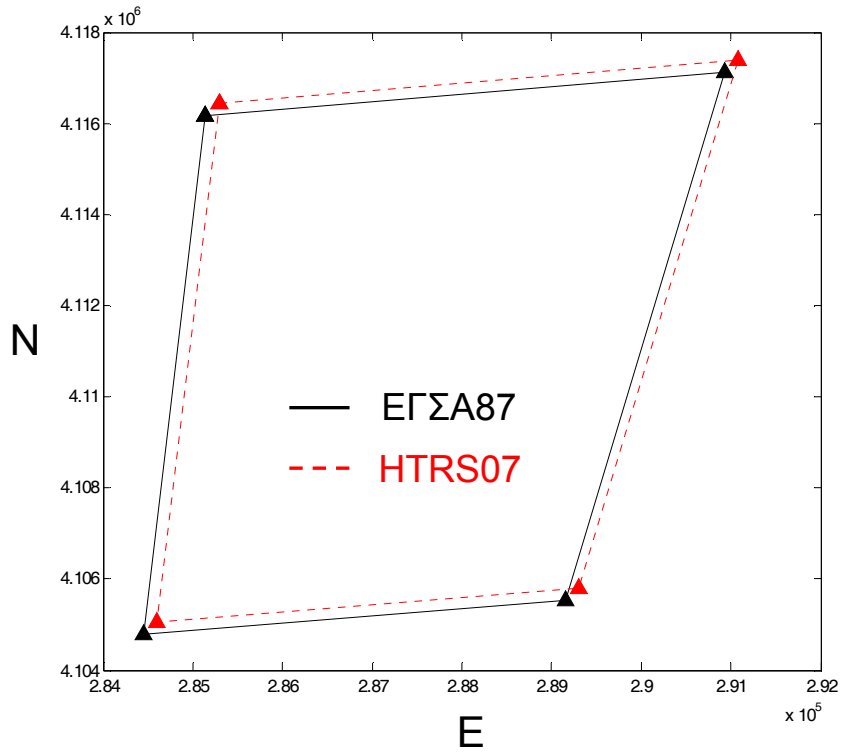
Φ.Χ. 27
(ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΙΣ)



18.4 km × 7.4 km

Mean point-offset: **322.056 m**

Φ.Χ. 370
(ΦΙΛΙΑΤΡΑ)

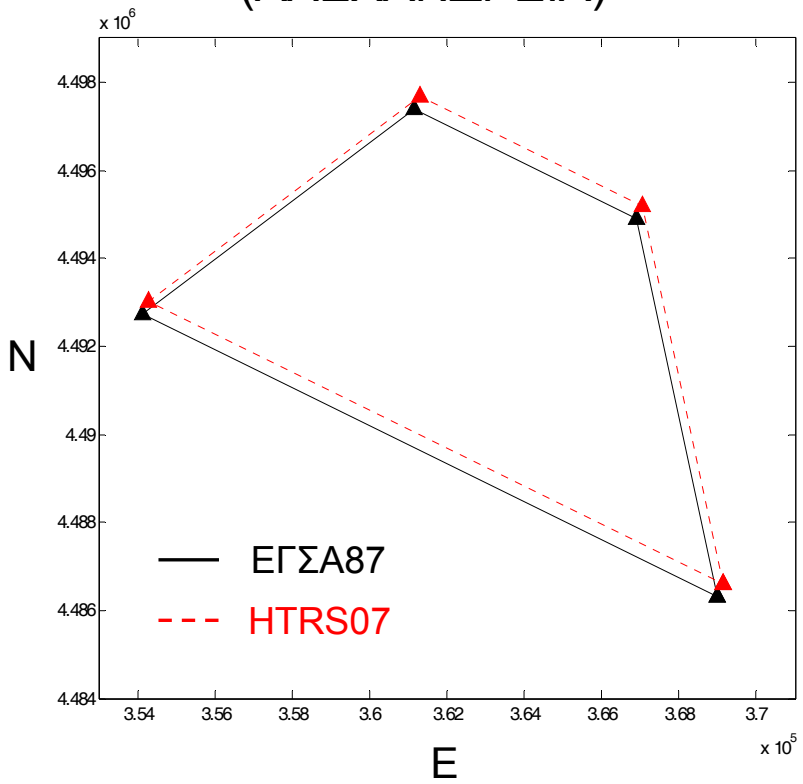


6.5 km × 12.3 km

Mean point-offset: **324.322 m**

Παράδειγμα

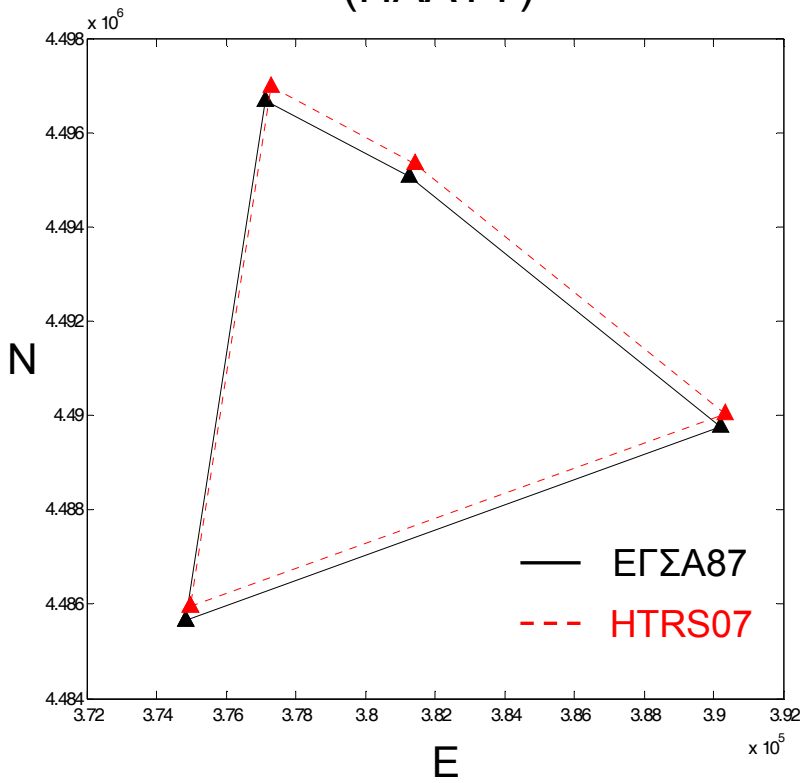
Φ.Χ. 26
(ΑΛΕΧΑΝΔΡΕΙΑ)



14.8 km × 11.1 km

Mean point-offset: **327.326 m**

Φ.Χ. 303
(ΠΛΑΤΥ)



15.4 km × 11.0 km

Mean point-offset: **323.191 m**

Παράδειγμα

Φ.Χ. 26
(ΑΛΕΧΑΝΔΡΕΙΑ)

t_x = 20.511 m
t_y = 192.208 m
t_z = -126.696 m
ε_x = -4".861
ε_y = -6".651
ε_z = 7".430
δs = -4.386 ppm

Φ.Χ. 303
(ΠΛΑΤΥ)

t_x = -39.303 m
t_y = 108.606 m
t_z = -48.284 m
ε_x = -1".377
ε_y = -9".281
ε_z = 6".996
δs = -1.917 ppm

Τοπικοί μετασχηματισμοί

(π.χ. 2Δ ή 3Δ μετασχηματισμοί ομοιότητας κατά ΦΧ) μπορεί να είναι ιδιαίτερα επιτυχείς για την ακριβή σύνδεση δύο διαφορετικών συστημάτων/πλαισίων αναφοράς και την ένταξη τοπικών εργασιών GPS στο ΕΓΣΑ87.

Όμως...

- Ένας τοπικός μετασχηματισμός είναι καλός μόνο για τη συγκεκριμένη περιορισμένη περιοχή όπου προσδιορίστηκε...

- Τι γίνεται στην περίπτωση που θέλουμε να μετασχηματίσουμε 'επικαλυπτόμενες' περιοχές;

- Πως εξασφαλίζεται η 'ομαλή σύνδεση' και η 'βέλτιστη προσαρμογή' ενός συστήματος ανεξάρτητων πολλαπλών τοπικών μετασχηματισμών **για όλη τη χώρα**;

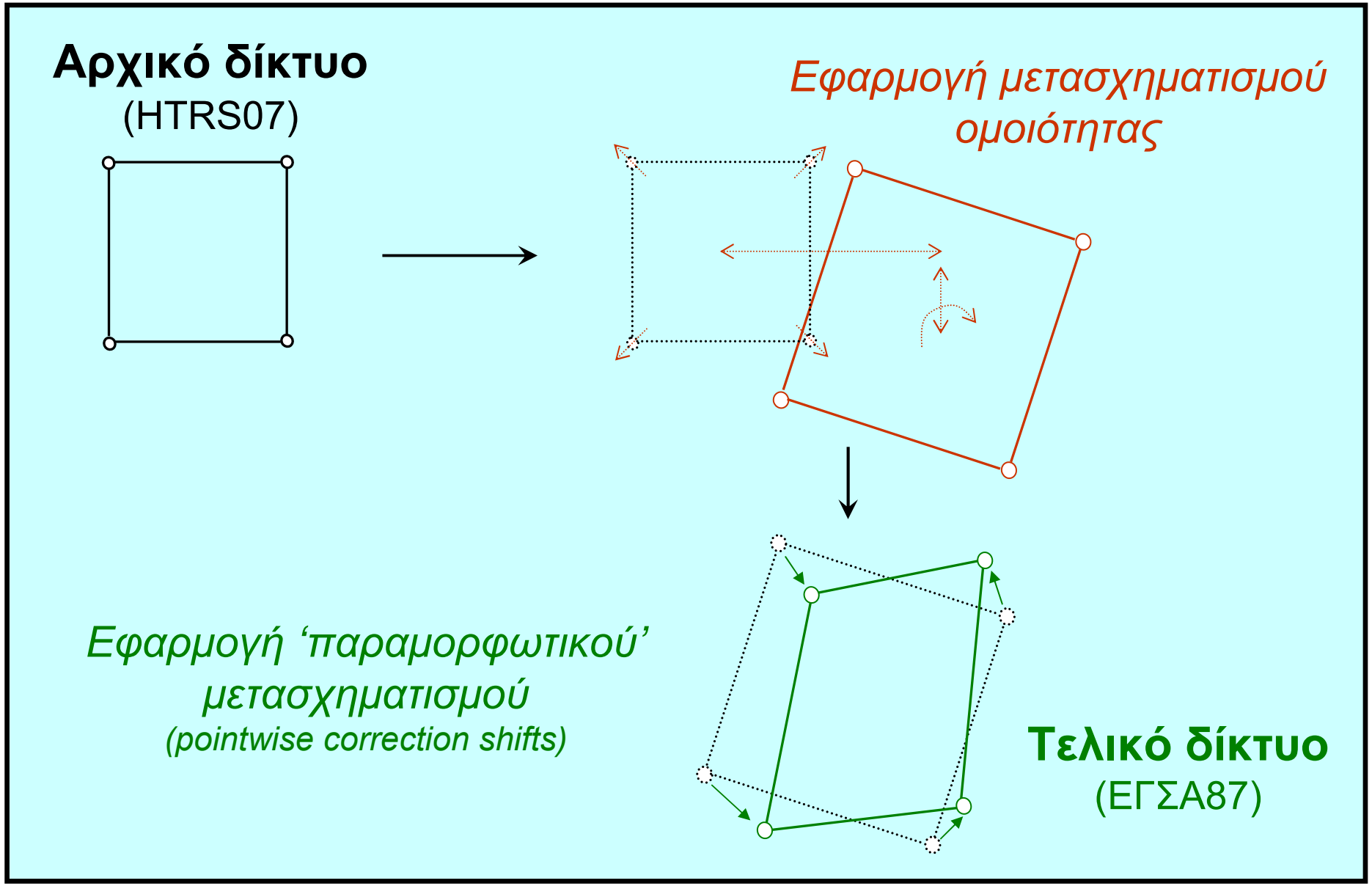
HTRS07 ↔ ΕΓΣΑ87

Για να πετύχουμε τη βέλτιστη δυνατή (οριζοντιογραφική) προσαρμογή μεταξύ του ΕΓΣΑ87 και του συστήματος αναφοράς του HEPOS, σε **όλη την Ελλάδα** με ένα **ενιαίο μοντέλο**, θα πρέπει να συνδυάσουμε τους εξής μετασχηματισμούς:

- **3Δ μετασχηματισμό ομοιότητας**
  (3 μεταθέσεις, 3 στροφές, 1 συντελεστής κλίμακας)

- **2Δ 'παραμορφωτικό' μετασχηματισμό**
  (μέσω καννάβων οριζόντιων διορθώσεων – shift grids)

Η «λογική» του μετασχηματισμού



ΕΥΘΥΣ μετασχηματισμός (HTRS07 → ΕΓΣΑ87)

HTRS07

X, Y, Z

↓

φ, λ, h

Παράμετροι 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας

$t_x, t_y, t_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \delta s$

3Δ μετασχηματισμός ομοιότητας

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Η <u>μέση</u> ακρίβεια της οριζοντιογραφικής σύνδεσης είναι της τάξης του ~ **0.6 m** για όλη την Ελλάδα

ΕΓΣΑ87		**ΕΓΣΑ87**		**ΕΓΣΑ87**
X', Y', Z'	→	φ', λ', h'	$\xrightarrow{TM87}$	E', N'

'παραμορφωτικός' μετασχηματισμός

Η <u>μέση</u> ακρίβεια της οριζοντιογραφικής σύνδεσης είναι καλύτερη από **0.1 m** για όλη την Ελλάδα

$E'' = E' + \delta E$

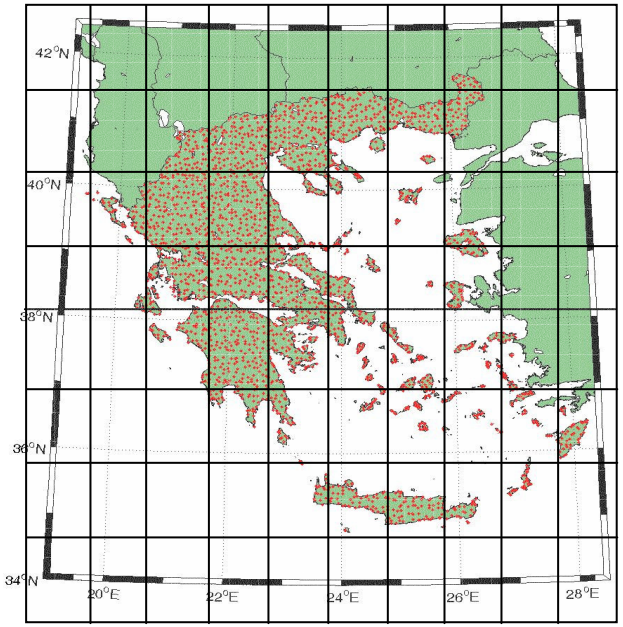
$N'' = N' + \delta N$

Τελικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87

όπου οι όροι δE και δN λαμβάνονται μέσω 2Δ σημειακής παρεμβολής από κατάλληλους καννάβους οριζόντιων διορθώσεων αναφοράς

Κάνναβοι οριζόντιων διορθώσεων

(HTRS07 → ΕΓΣΑ87)



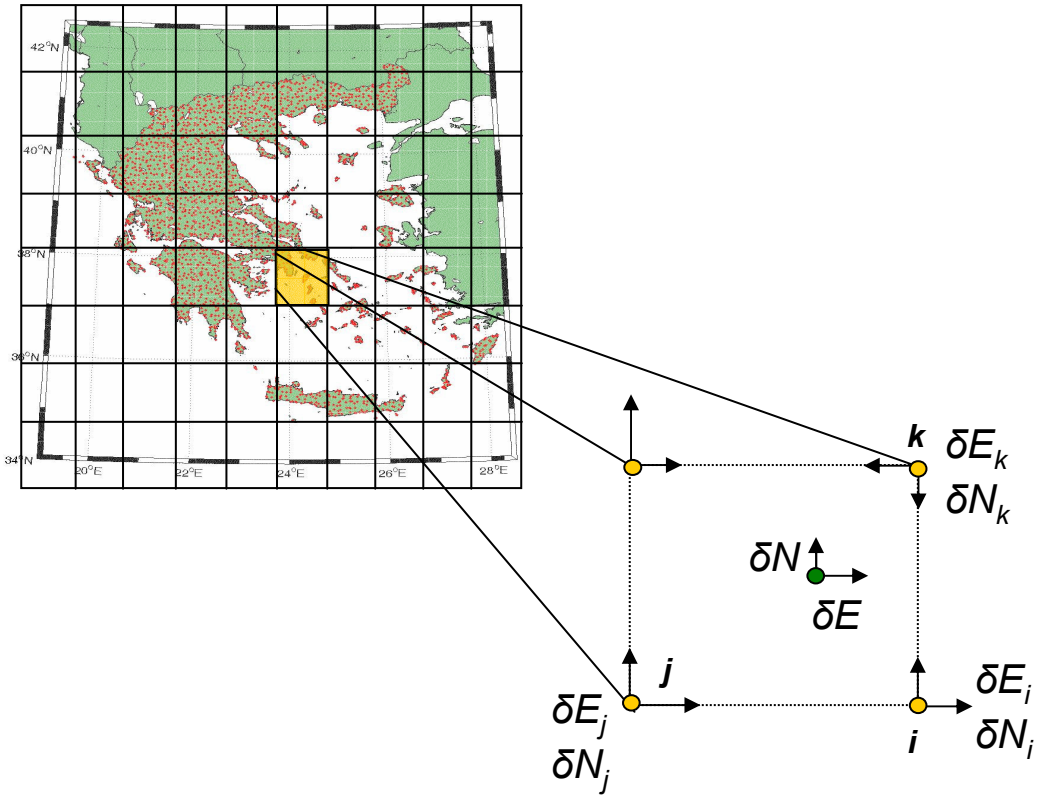
Datum:	HTRS07
Προβολή:	TM07
E_{min}:	41600.00 m
N_{min}:	1845619.00 m
Resolution:	2 km × 2 km
Grid size:	408 γραμμές 422 στήλες

(*) Υπάρχουν δύο κάνναβοι με τα παραπάνω χαρακτηριστικά:

- ένας κάνναβος με 172166 τιμές *δE*
- ένας κάνναβος με 172166 τιμές *δN*

Κάνναβοι οριζόντιων διορθώσεων

(HTRS07 → ΕΓΣΑ87)



'παραμορφωτικός' μετασχηματισμός

$$E''_{\text{ΕΓΣΑ87}} = E'_{\text{ΕΓΣΑ87}} + \delta E$$

$$N''_{\text{ΕΓΣΑ87}} = N'_{\text{ΕΓΣΑ87}} + \delta N$$

Οι τιμές δE και δN υπολογίζονται μέσω 2Δ σημειακής παρεμβολής:

$$\delta E = f(\delta E_i, \delta E_j, \delta E_k, \ldots)$$

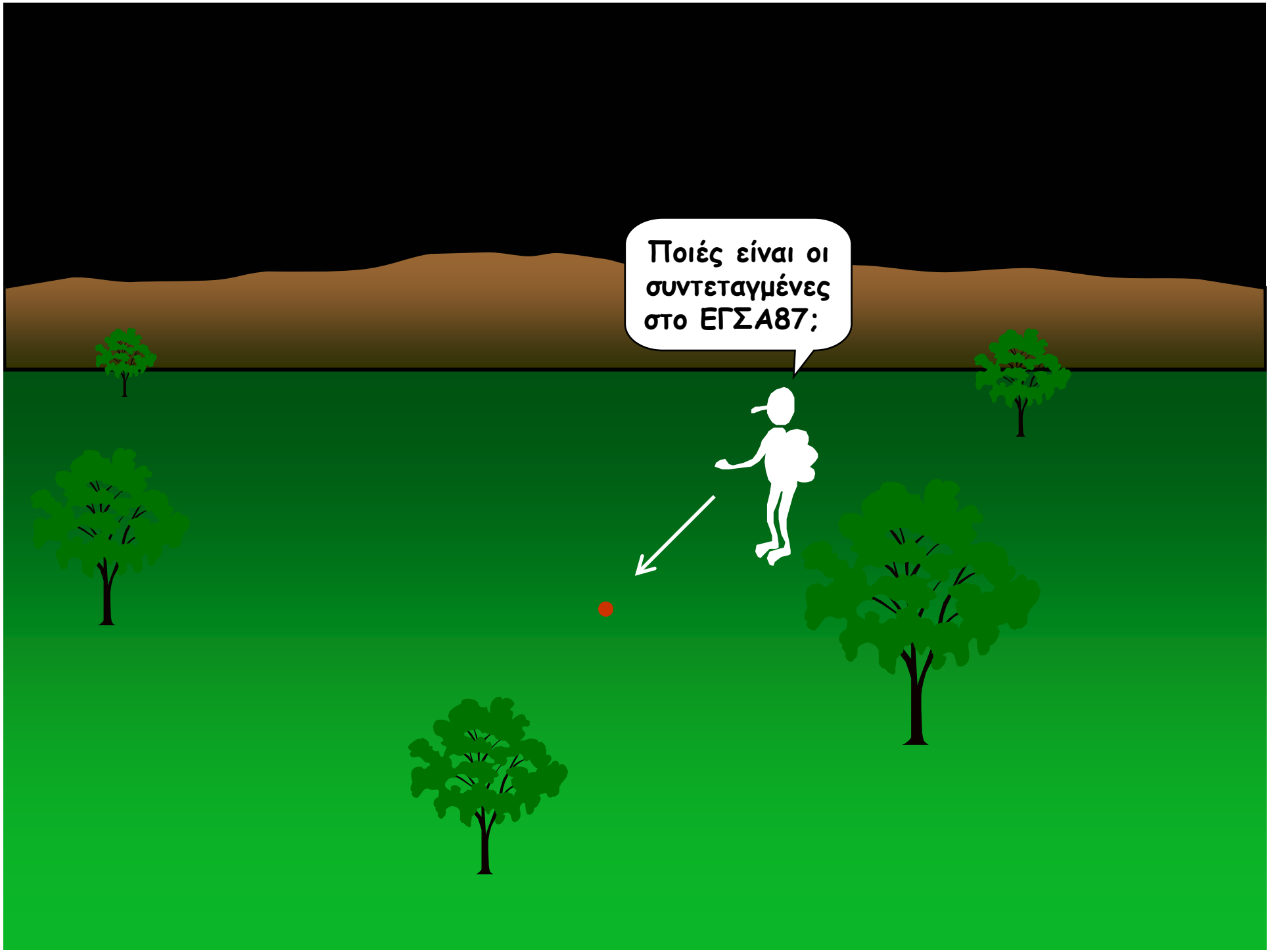
$$\delta N = f(\delta N_i, \delta N_j, \delta N_k, \ldots)$$

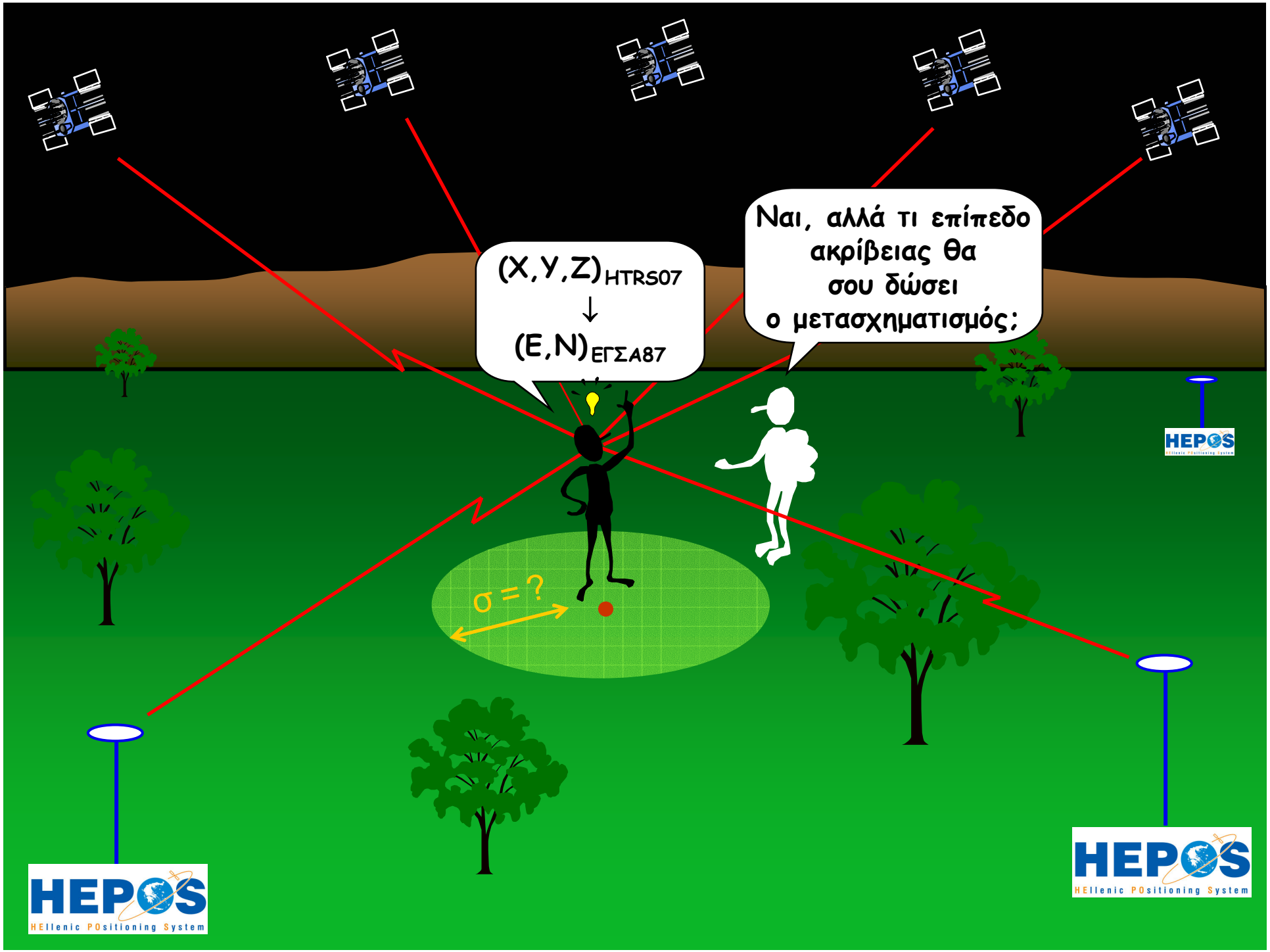
(*) Βασικό πλεονέκτημα

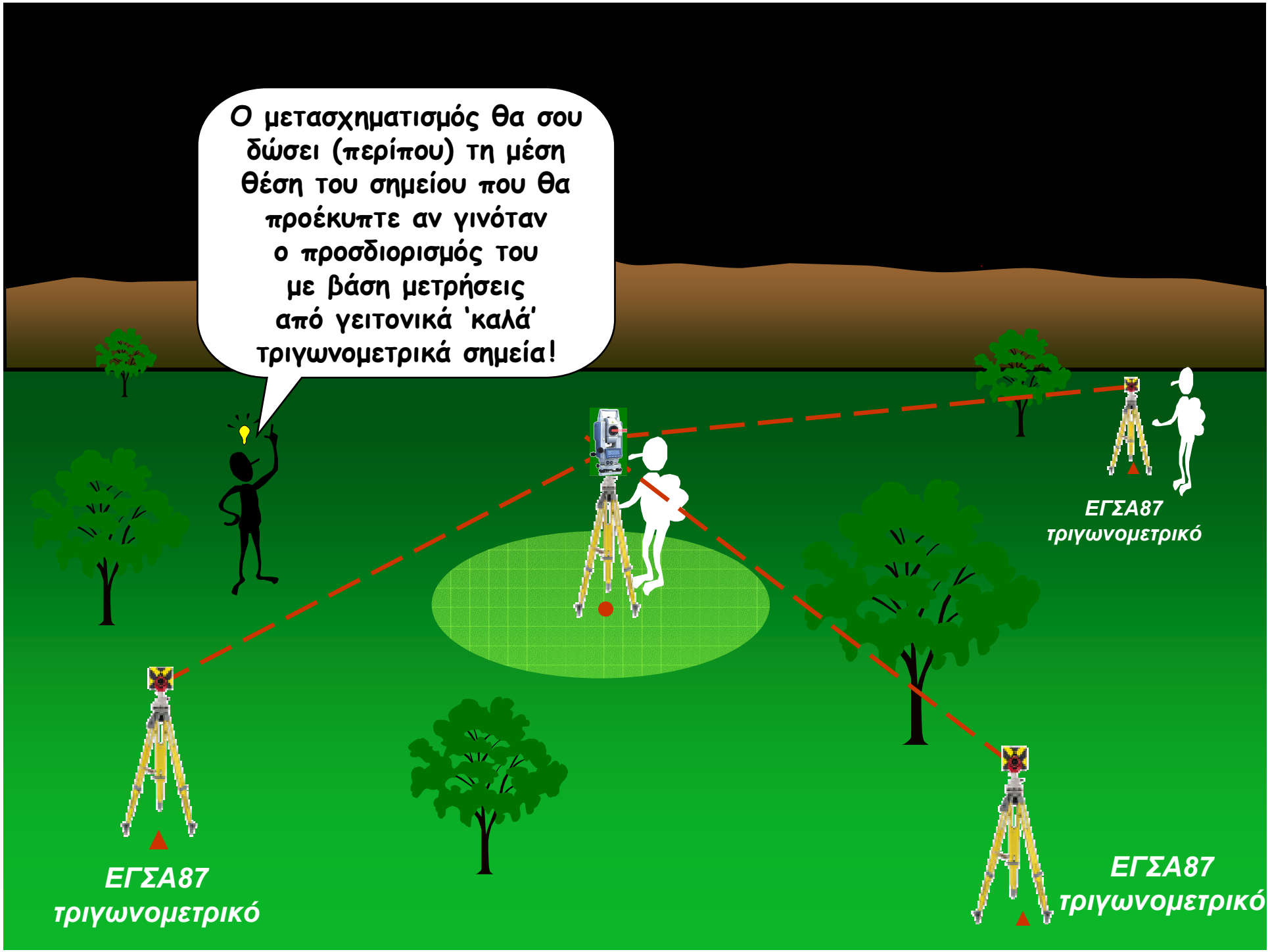
Η ύπαρξη ενός επίσημου & ενιαίου μοντέλου μετασχηματισμού επιτρέπει την εύκολη και σωστή **ένταξη τοπογραφικών εργασιών** (που εκτελούνται με τη βοήθεια του HEPOS οπουδήποτε στην Ελλάδα) **στο ΕΓΣΑ87**

χωρίς την ανάγκη να γίνουν μετρήσεις από/προς γνωστά σημεία του Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου!

☺


Ποιές είναι οι συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87;


(X,Y,Z)HTRS07
↓
(E,N)ΕΓΣΑ87
Ναι, αλλά τι επίπεδο ακρίβειας θα σου δώσει ο μετασχηματισμός;
σ = ?
HEPOS
HEllenic POsitioning System


Ο μετασχηματισμός θα σου δώσει (περίπου) τη μέση θέση του σημείου που θα προέκυπτε αν γινόταν ο προσδιορισμός του με βάση μετρήσεις από γειτονικά 'καλά' τριγωνομετρικά σημεία!
ΕΓΣΑ87 τριγωνομετρικό
ΕΓΣΑ87 τριγωνομετρικό
ΕΓΣΑ87 τριγωνομετρικό

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΣ μετασχηματισμός (ΕΓΣΑ87 → HTRS07)

ΕΓΣΑ87

φ, λ ή E, N

$h = H+N$ ή $h = 0$

X, Y, Z

Παράμετροι 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας

$t_x, t_y, t_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \delta s$

Με αντίθετα πρόσημα από τις αντίστοιχες τιμές που χρησιμοποιούνται στον ευθύ μετασχηματισμό

3Δ μετασχηματισμός ομοιότητας

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Η μέση ακρίβεια της οριζοντιογραφικής σύνδεσης είναι της τάξης του ~ **0.6 m** για όλη την Ελλάδα

HTRS07		HTRS07		HTRS07
X', Y', Z'	→	φ', λ', h'	$TM07$ →	E', N'

'παραμορφωτικός' μετασχηματισμός

Η μέση ακρίβεια της οριζοντιογραφικής σύνδεσης είναι καλύτερη από **0.1 m** για όλη την Ελλάδα

$E'' = E' - \delta E$

$N'' = N' - \delta N$

Τελικές συντεταγμένες στο HTRS07

όπου οι όροι δE και δN λαμβάνονται μέσω 2Δ σημειακής παρεμβολής από κατάλληλους καννάβους οριζόντιων διορθώσεων αναφοράς

HTRS07 ↔ ΕΓΣΑ87

Συμπερασματικά, για την εφαρμογή του μετασχηματισμού μεταξύ του ΕΓΣΑ87 και του συστήματος αναφοράς του HEPOS χρειάζονται:

- **οι επίσημες τιμές των 7 παραμέτρων ενός 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας**
  (3 μεταθέσεις, 3 στροφές, 1 συντελεστής κλίμακας)

- **οι κάνναβοι των επίσημων οριζόντιων διορθώσεων αναφοράς (*δE, δN*) για όλη την Ελλάδα**
  (ως προς δεδομένο γεωγραφικό/προβολικό υπόβαθρο)

Καστελόριζο...

Η προηγούμενη διαδικασία μετασχηματισμού **δεν ισχύει** για την περιοχή του Καστελόριζου.

Ο μετασχηματισμός HTRS07 ↔ ΕΓΣΑ87 για την περιοχή του Καστελόριζου περιλαμβάνει μόνο ένα **απλό μοντέλο 3Δ μετάθεσης**.

(*) Οι τιμές των παραμέτρων t_x, t_y, t_z είναι **σημαντικά διαφορετικές** από τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων που ισχύουν για την υπόλοιπη Ελλάδα.

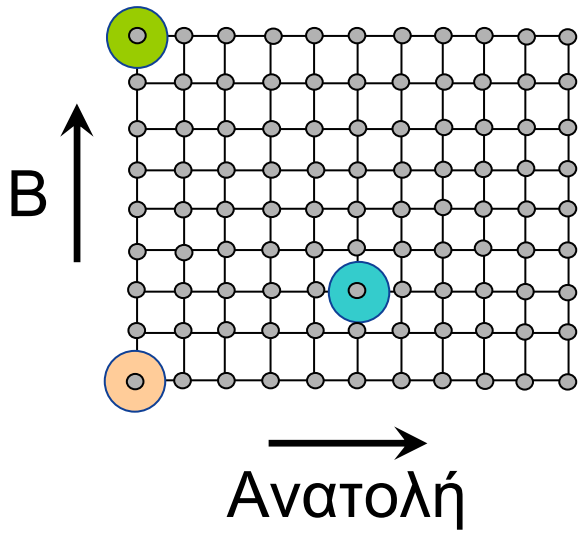
Αρχεία καννάβων «διορθώσεων»

```
408
422
2000.00
1845619.000
41600.000
```

Header info

Τιμές σε cm

```
-33.20 -33.14 -33.08 -33.02 -32.95 -32.89 -32.83 -32.76 ....
-32.93 -32.87 -32.81 -32.74 -32.68 -32.62 -32.55 -32.49 ....
-32.66 -32.60 -32.54 -32.47 -32.41 -32.35 -32.28 -32.22 ....
 ..............................................................
 ..............................................................
-27.88 -27.80 -27.73 -27.65 -27.57 -27.49 -27.40 -27.32 ...
```



dE_2km_v1.grd ~ 1200 kb

dN_2km_v1.grd ~ 1200 kb

Προσεχώς…

ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ HEPOS & ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΕΓΣΑ87)

Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα

Σύνταξη τεύχους

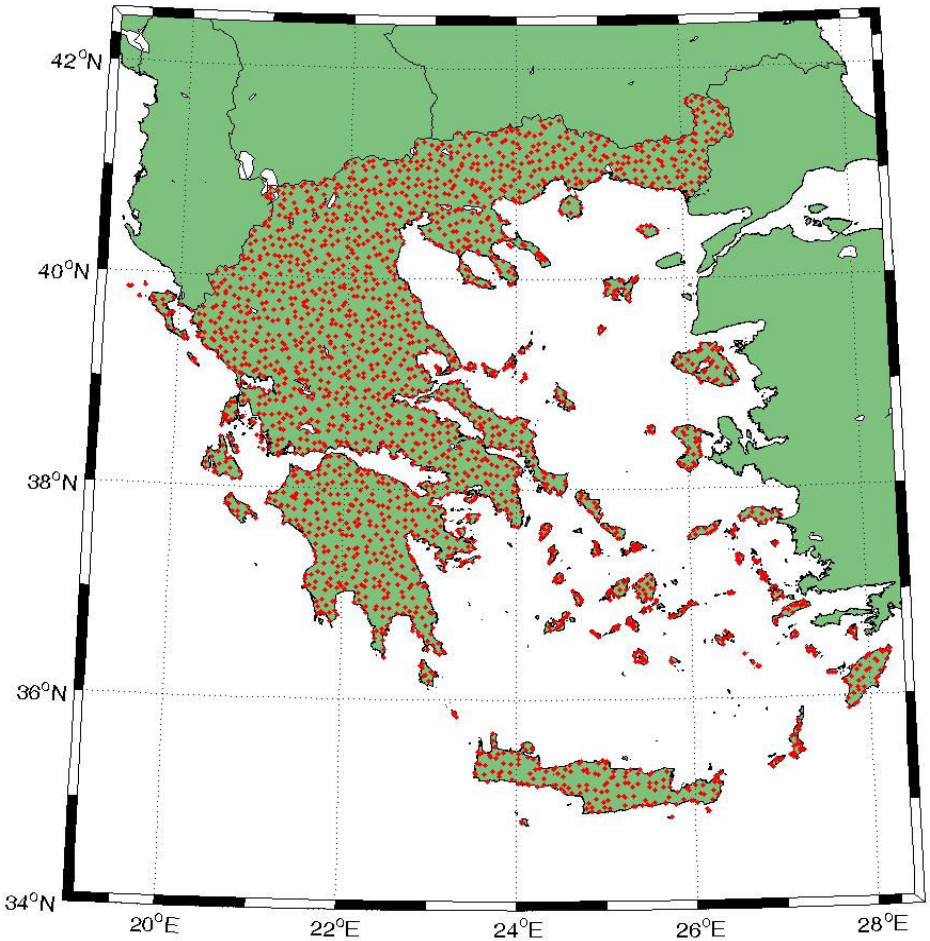
Χ. Κωτσάκης, Επίκ. Καθηγητής ΤΑΤΜ/ΑΠΘ

Κ. Κατσάμπαλος, Καθηγητής ΤΑΤΜ/ΑΠΘ

Μ. Γιαννίου, Τεχνικός Σύμβουλος ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ/Α.Ε.

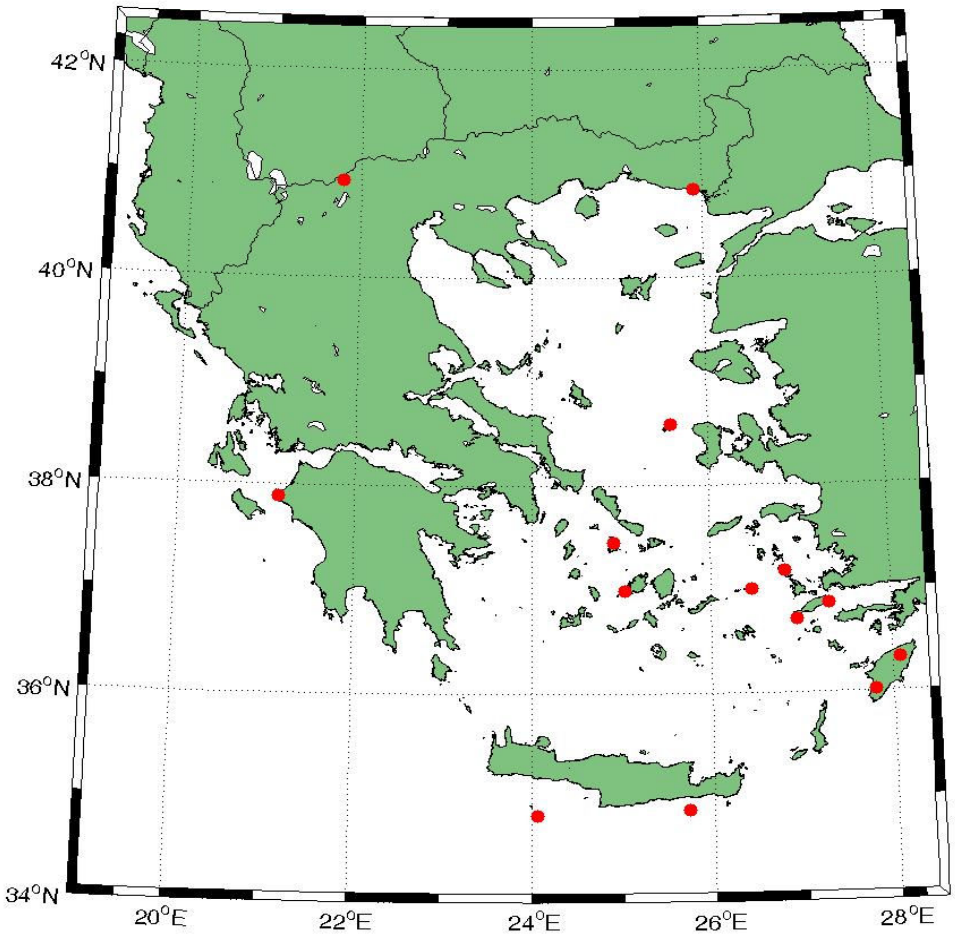
Σεπτέμβριος 2008

Δίκτυο κοινών σημείων



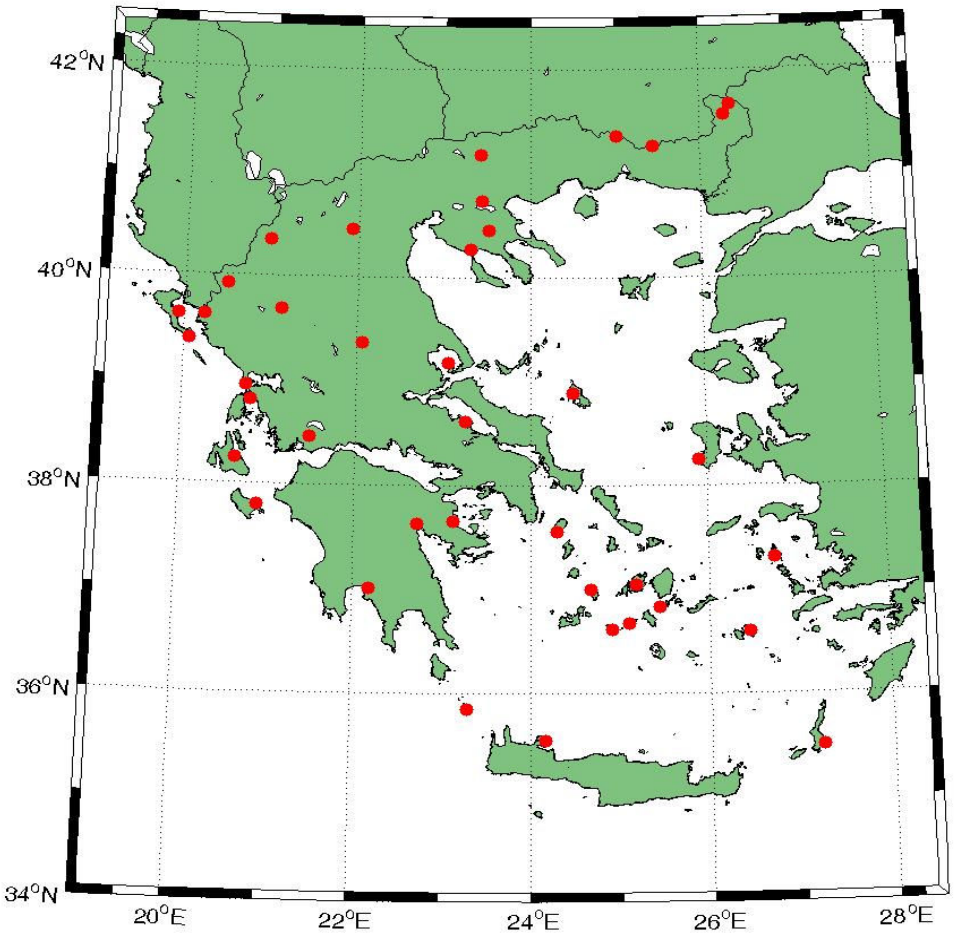
- 2466 σημεία (!)
- $(\varphi, \lambda)_{ΕΓΣΑ87}$
- $(E, N)_{ΕΓΣΑ87}$
- $(X, Y, Z)_{HTRS07}$
- $H_{ΓΥΣ}$, N_{EGM08}

Δίκτυο κοινών σημείων



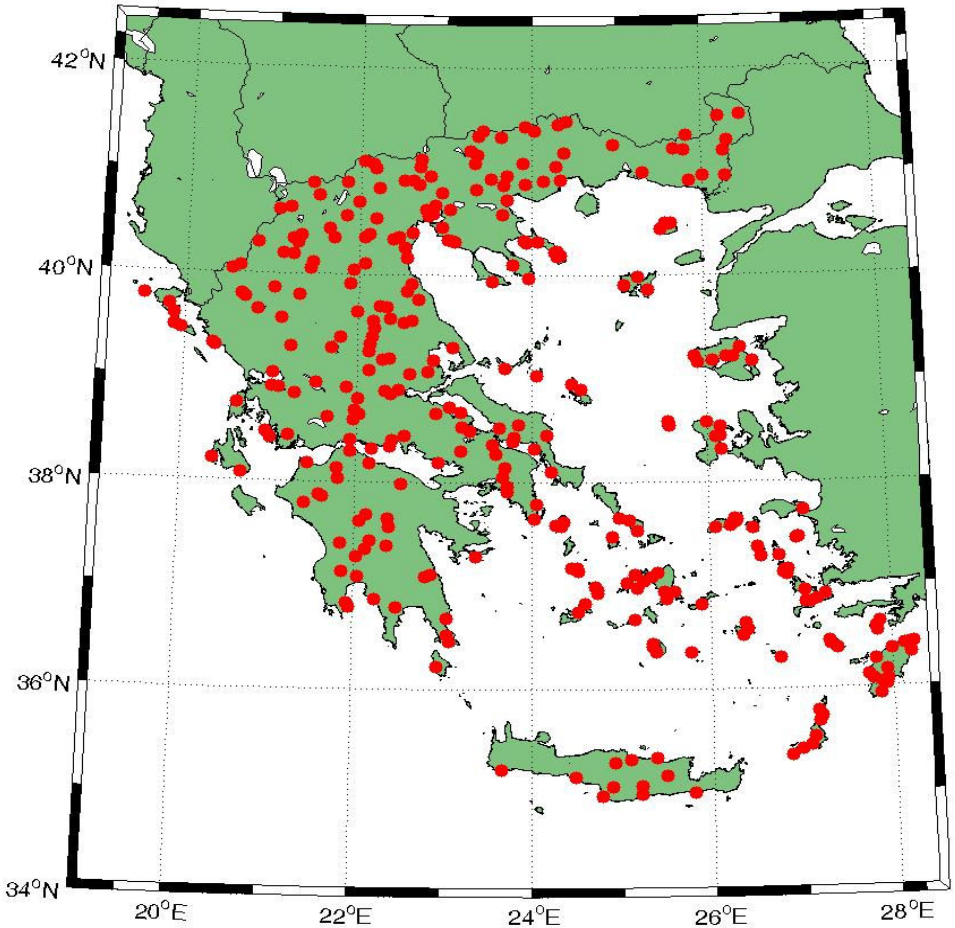
14 σημεία Ι τάξης

Δίκτυο κοινών σημείων



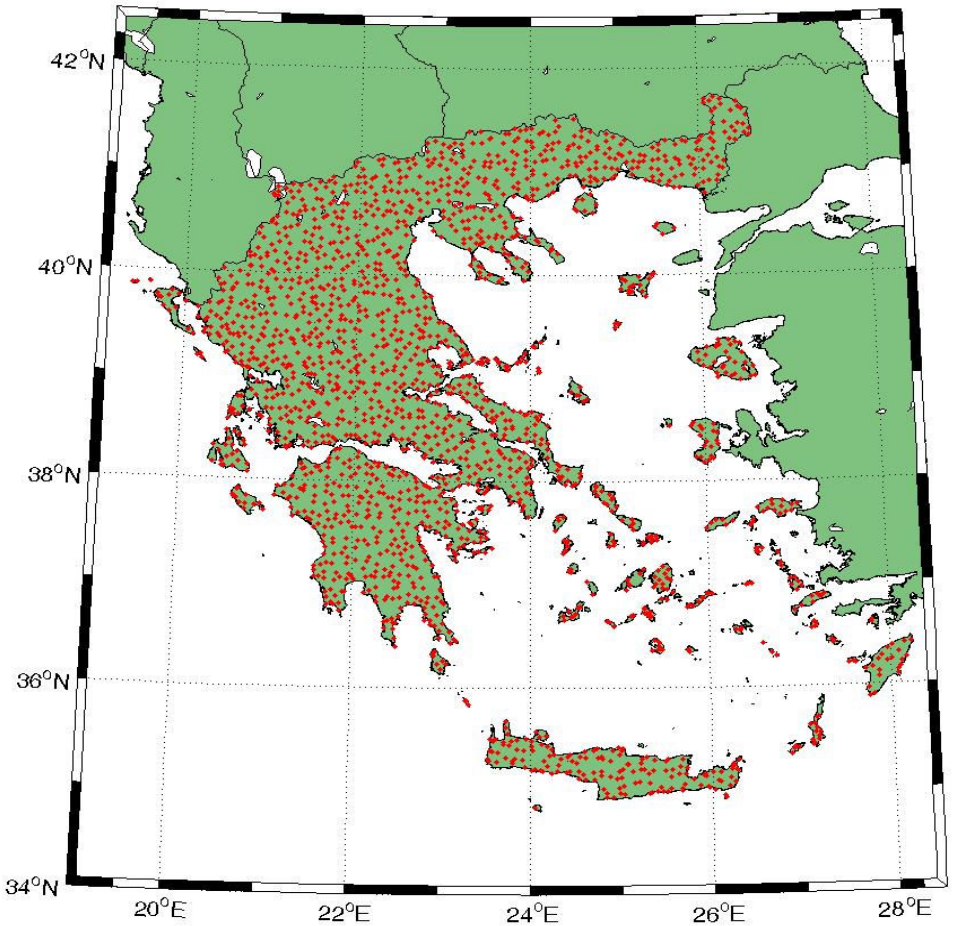
39 σημεία ΙΙ τάξης

Δίκτυο κοινών σημείων



328 σημεία ΙΙΙ τάξης

Δίκτυο κοινών σημείων

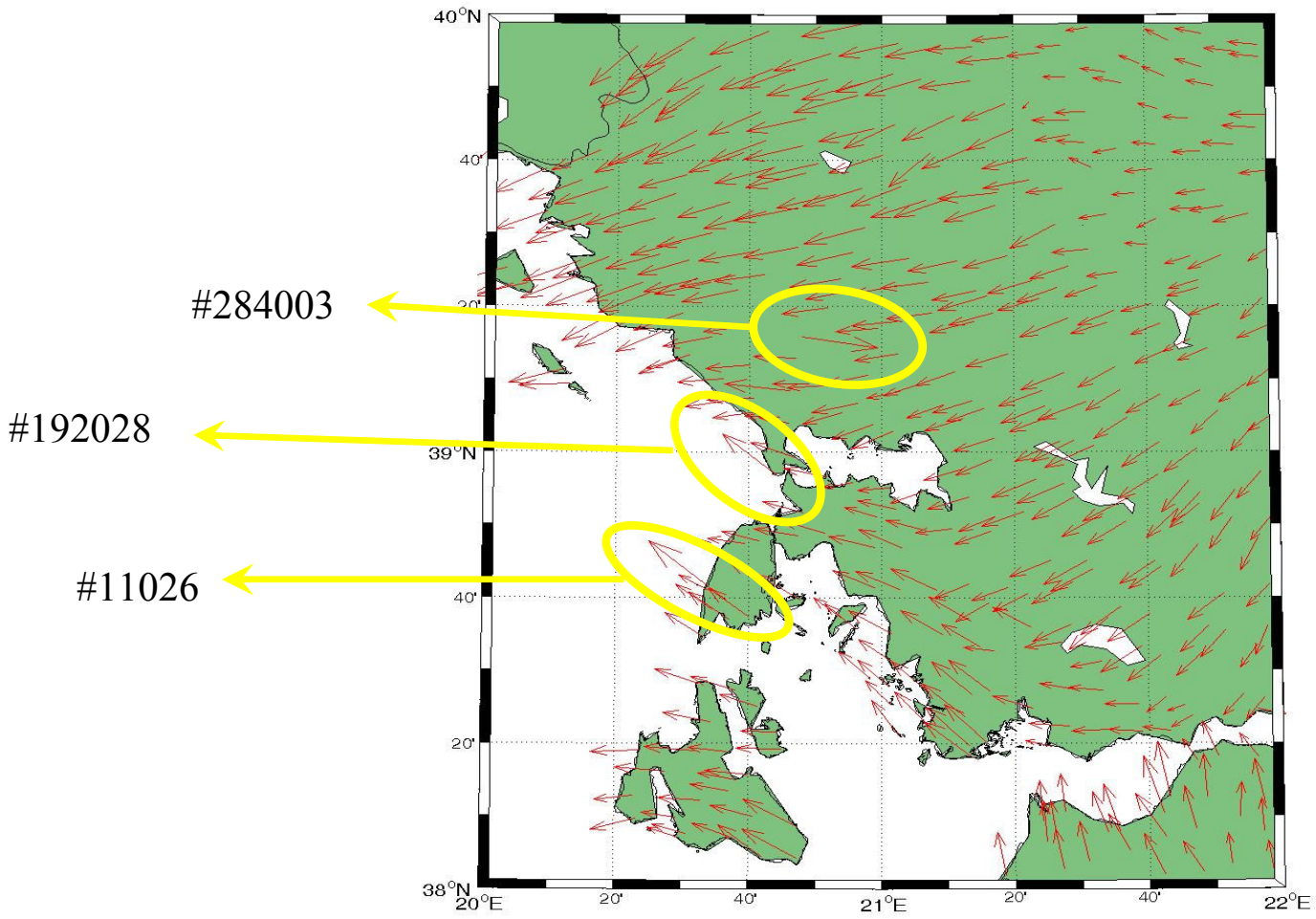


2085 σημεία IV τάξης

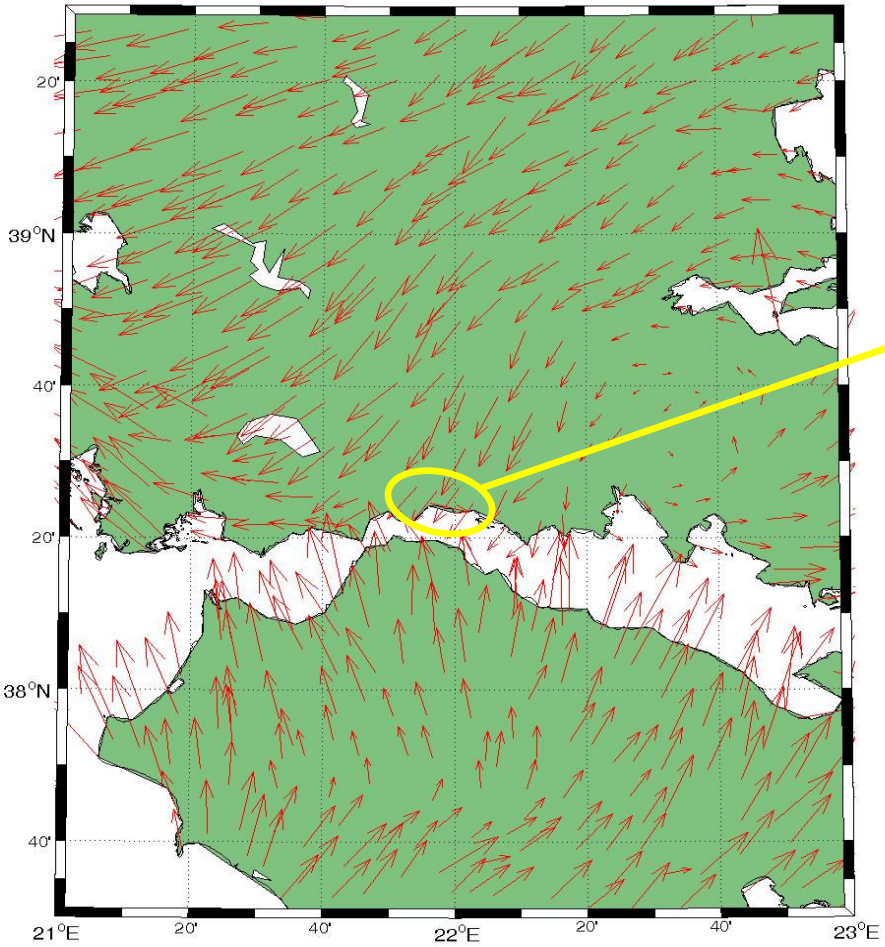
Προβληματικά σημεία

Από το δίκτυο των 2466 κοινών σημείων αφαιρέθηκαν συνολικά **36 σημεία ως 'προβληματικά'** με βάση τη συμπεριφορά τους μετά από έναν αρχικό (προσεγγιστικό) 3Δ μετασχηματισμό ομοιότητας.

Π.χ.

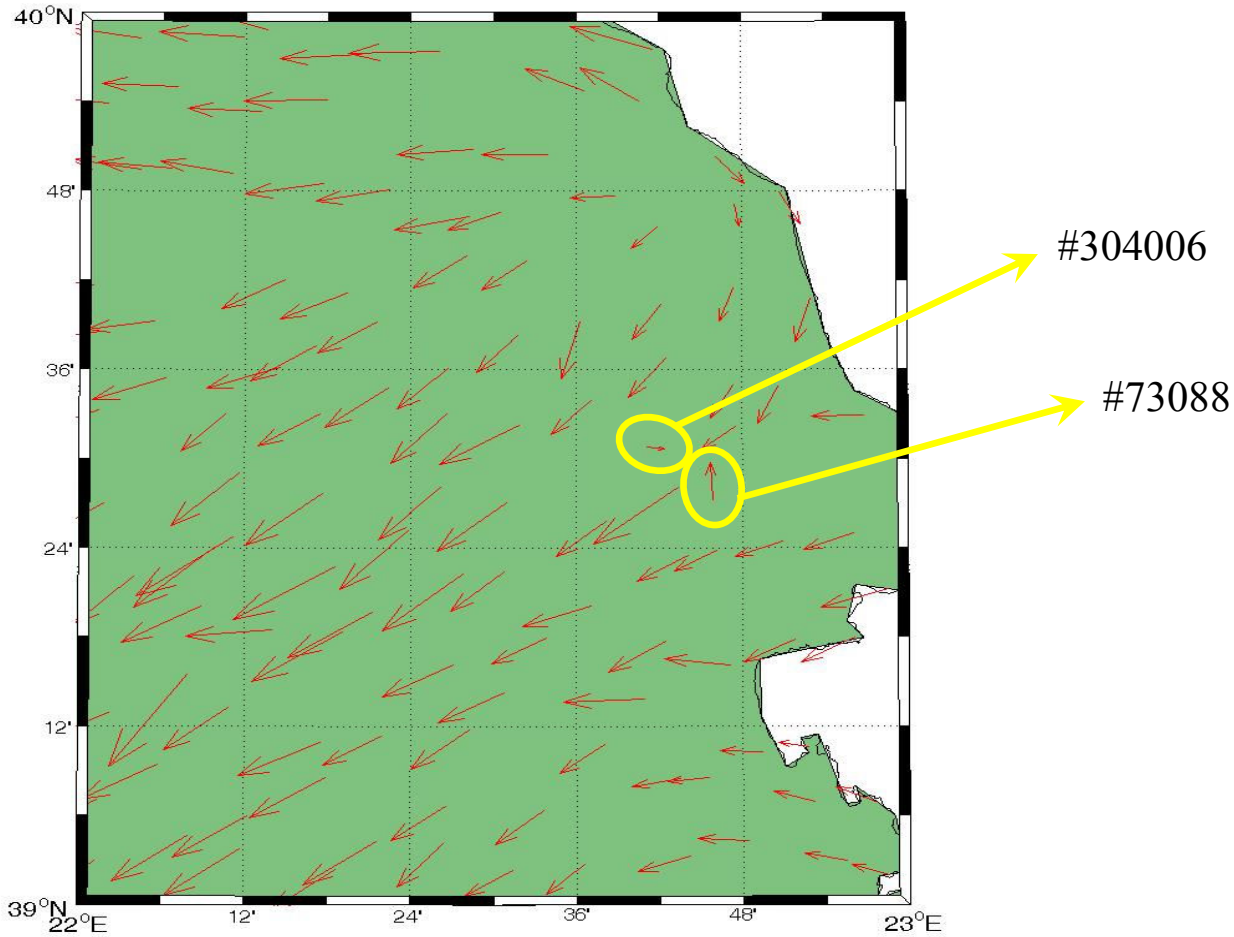

#284003
#192028
#11026
40°N
40'
20'
39°N
40'
20'
38°N
20°E
20'
40'
21°E
20'
40'
22°E

Π.χ.

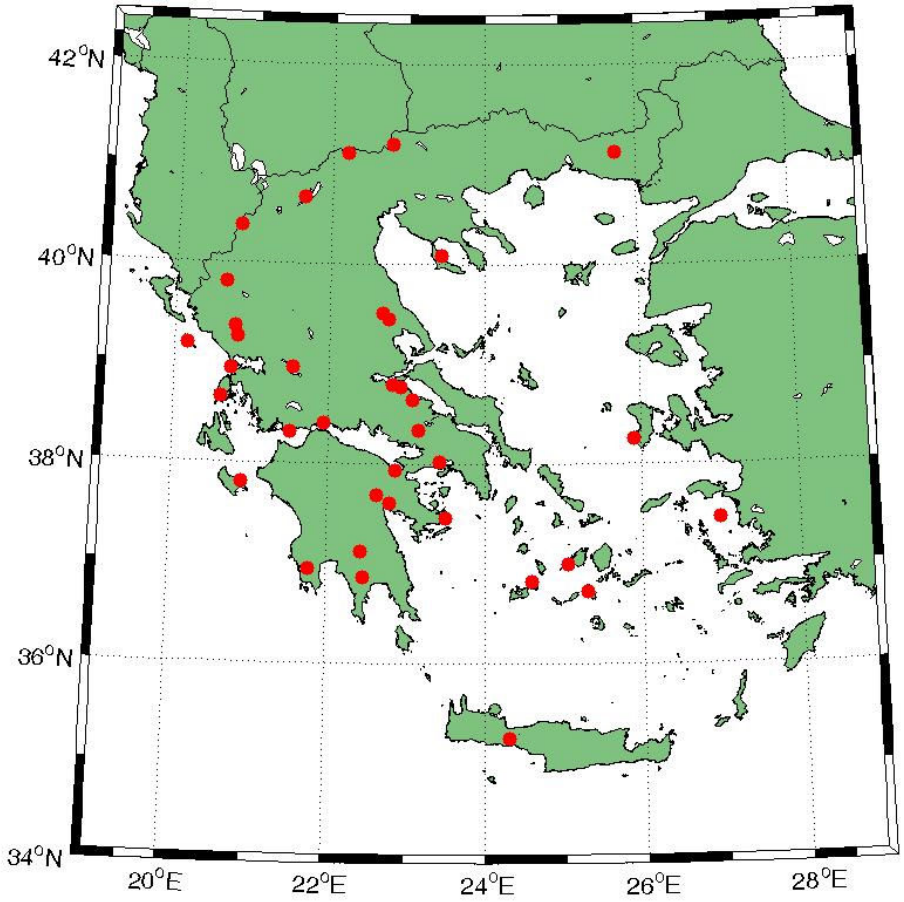


#233054

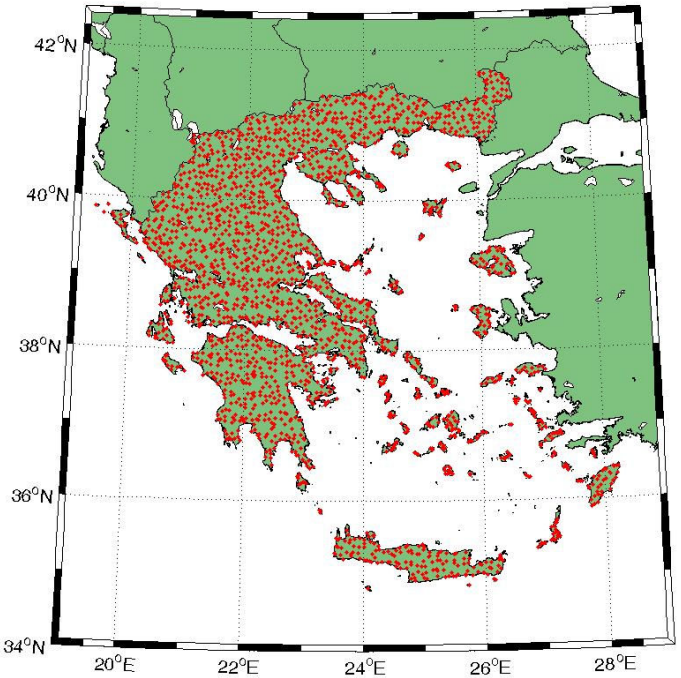
Προβληματικά σημεία

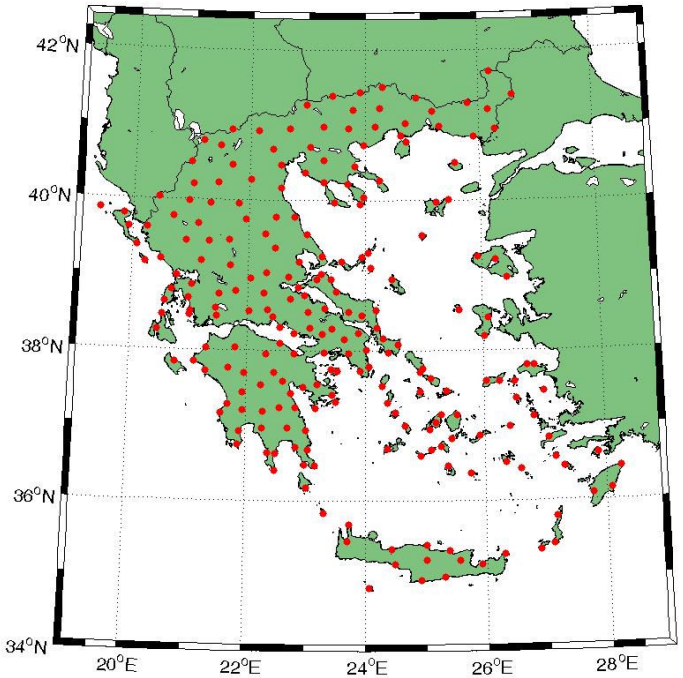


Τα 36 ‘προβληματικά’ σημεία



2430 ‘μη-προβληματικά’ σημεία





2199 κοινά σημεία

(*) βάση των οποίων **θα προσδιοριστεί** το αμφίδρομο μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 & ΕΓΣΑ87

231 κοινά σημεία

(*) βάση των οποίων **θα ελεχθεί ‘εξωτερικά’** η ακρίβεια του αμφίδρομου μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 & ΕΓΣΑ87

Μοντέλο συνόρθωσης

Υπολογισμός παραμέτρων για τον 3Δ μετασχηματισμό ομοιότητας μεταξύ του ΕΓΣΑ87 και του HTRS07 μέσω συνόρθωσης του γραμμικοποιημένου μοντέλου:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{ΕΓΣΑ87} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1+\delta s) & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & (1+\delta s) & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & (1+\delta s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HTRS07}$$

(*) 'Τρισδιαστατοποίηση του ΕΓΣΑ87'

πως θα υπολογίσω τις 3Δ Καρτεσιανές συντ/νες (ως προς το ΕΓΣΑ87) στο δίκτυο των κοινών σημείων, αφού δεν γνωρίζω το γεωμετρικό υψόμετρο ως προς το ΕΓΣΑ87 ?

Εκτιμήσεις των παραμέτρων

Με βάση τα αποτελέσματα της συνόρθωσης στο δίκτυο των 2199 κοινών σημείων

(HTRS07 ↔ ΕΓΣΑ87)

t_x = 203.437 (± 0.265) m	ε_x = -0".170 (± 0".007)
t_y = -73.461 (± 0.285) m	ε_y = -0".060 (± 0".009)
t_z = -243.594 (± 0.244) m	ε_z = -0".151 (± 0".009)

δs = -0.294 (± 0.031) ppm

Ενδεικτικές τιμές 3Δ μεταθέσεων για τη σύνδεση του ΕΓΣΑ87 με διάφορα γεωκεντρικά ΓΣΑ

	t_x	t_y	t_z	
BTS87 → ΕΓΣΑ87 *(Βέης/ΟΚΧΕ 1987)*	199.87	-74.79	-246.62	
ITRF89 → ΕΓΣΑ87 *(Βέης 1994)*	199.695	-74.815	-246.045	*(*) μαζί με συντελεστή κλίμακας*
ITRF91 → ΕΓΣΑ87 *(βλέπε Φωτίου 2007)*	199.723	-74.030	-246.018	
HTRS07 → ΕΓΣΑ87 *(Κωτσάκης & Κατσάμπαλος 2008)*	201.808	-73.968	-244.472	*(*) μόνο μεταθέσεις*
HTRS07 → ΕΓΣΑ87 *(Κωτσάκης & Κατσάμπαλος 2008)*	203.437	-73.461	-243.594	*(*) μαζί με στροφές και συντελεστή κλίμακας*

Αξιολόγηση ακρίβειας του 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{ΕΓΣΑ87} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HTRS07} + \begin{bmatrix} \hat{t}_x \\ \hat{t}_y \\ \hat{t}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\delta}s & \hat{\varepsilon}_z & -\hat{\varepsilon}_y \\ -\hat{\varepsilon}_z & \hat{\delta}s & \hat{\varepsilon}_x \\ \hat{\varepsilon}_y & -\hat{\varepsilon}_x & \hat{\delta}s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HTRS07}$$

$$\varphi'_{ΕΓΣΑ87} \quad \lambda'_{ΕΓΣΑ87}$$

$E'_{ΕΓΣΑ87}$ $N'_{ΕΓΣΑ87}$

Μετασχηματισμένες τιμές

$E_{ΕΓΣΑ87}$ $N_{ΕΓΣΑ87}$

Επίσημες τιμές

Διάνυσμα 'οριζοντιογραφικού σφάλματος'

$$\delta r = \sqrt{\underbrace{(E_{ΕΓΣΑ87} - E'_{ΕΓΣΑ87})}_{\delta E}{}^2 + \underbrace{(N_{ΕΓΣΑ87} - N'_{ΕΓΣΑ87})}_{\delta N}{}^2}$$

Αξιολόγηση ακρίβειας του 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας

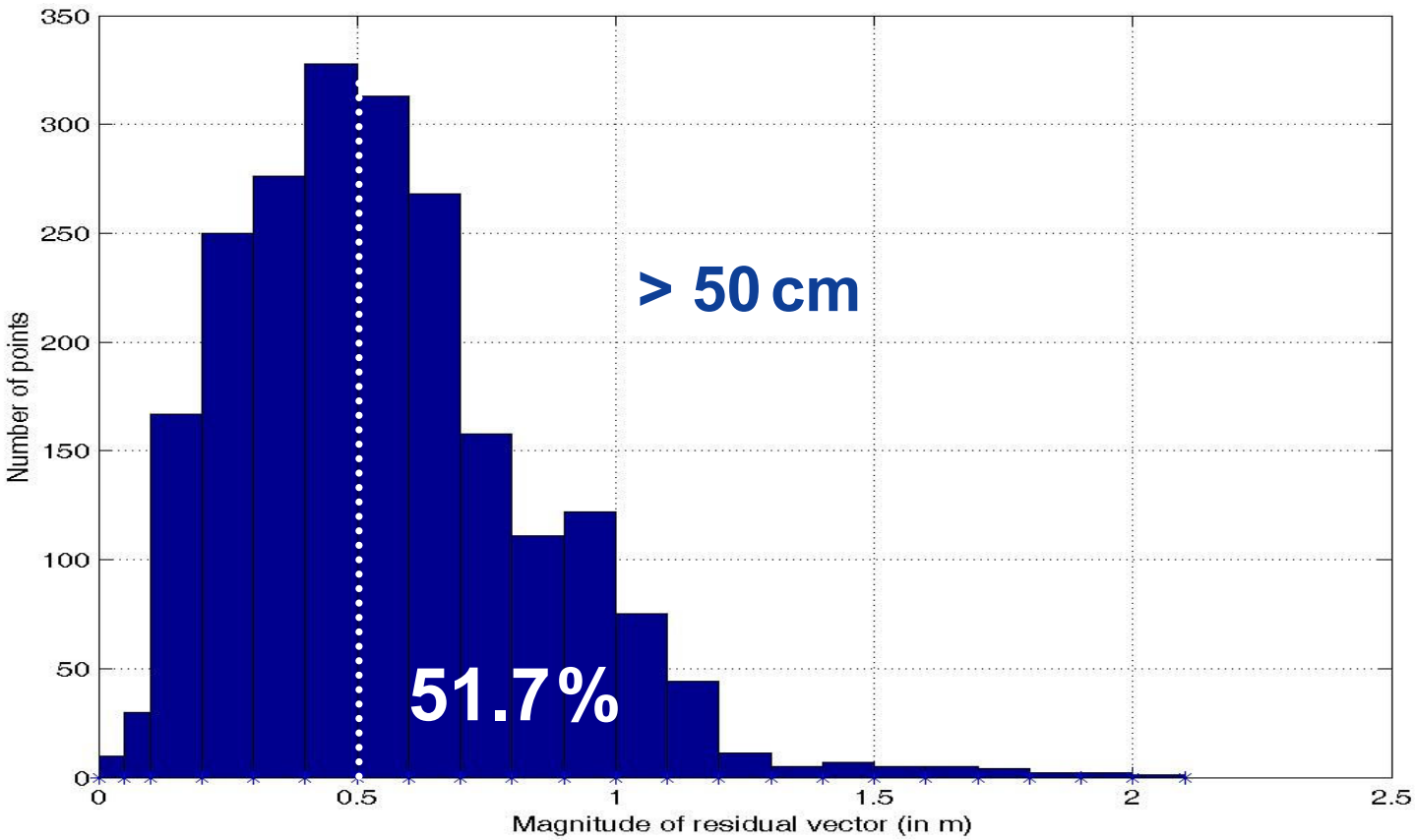
Στατιστικά στοιχεία
για το μέγεθος του 'οριζοντιογραφικού σφάλματος' *δr*
κατά τον 3Δ μετασχηματισμό ομοιότητας HTRS07 → ΕΓΣΑ87

	Max	Min	Mean	σ	RMS
*Δίκτυο **2199** κοινών σημείων (internal validation)*	2.342	0.010	0.550	0.301	**0.627**
*Δίκτυο **231** κοινών σημείων (cross validation)*	2.585	0.019	0.584	0.350	**0.680**

(*) *όλες οι τιμές σε m*

Ιστόγραμμα οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*

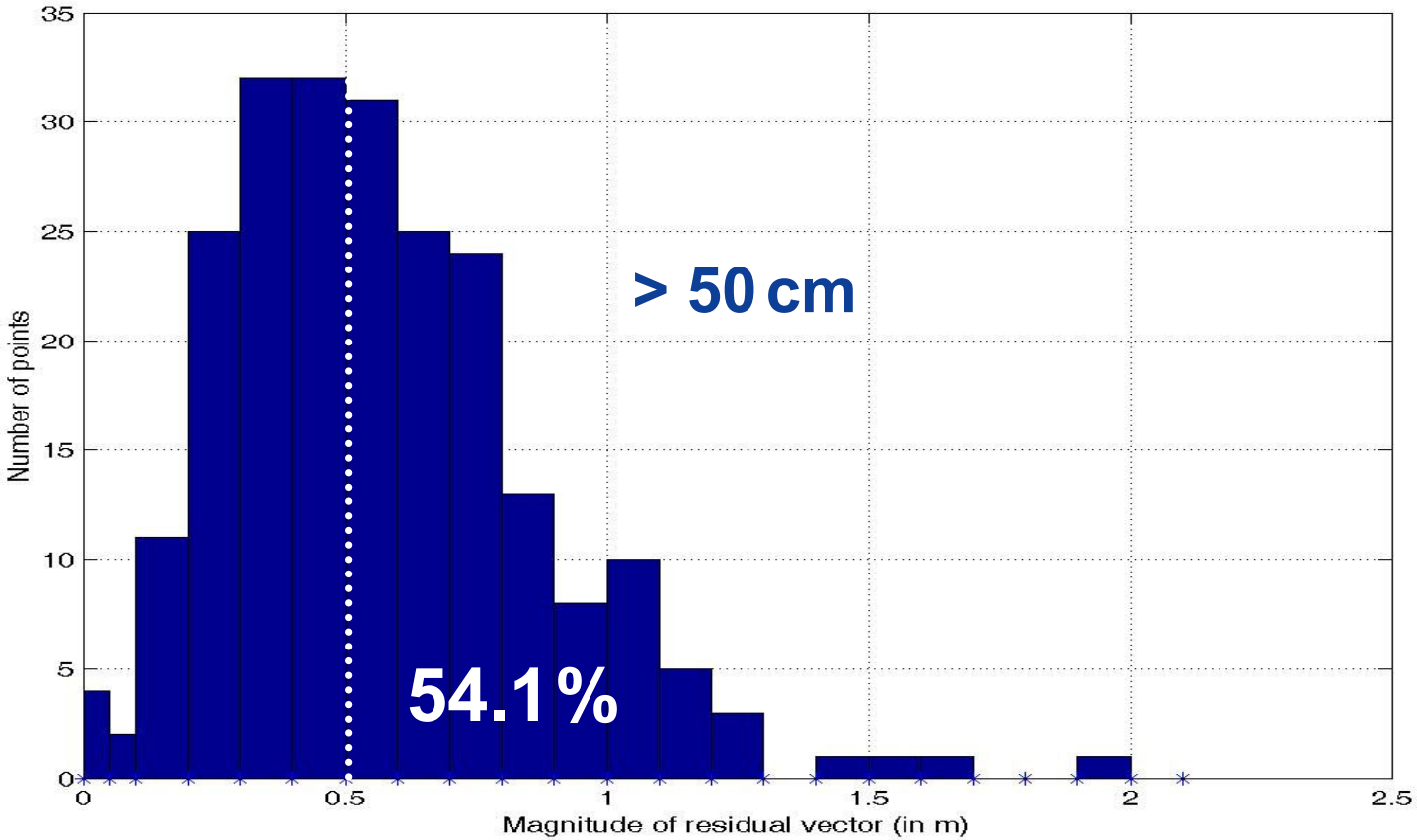
(στο δίκτυο των 2199 κοινών σημείων)



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

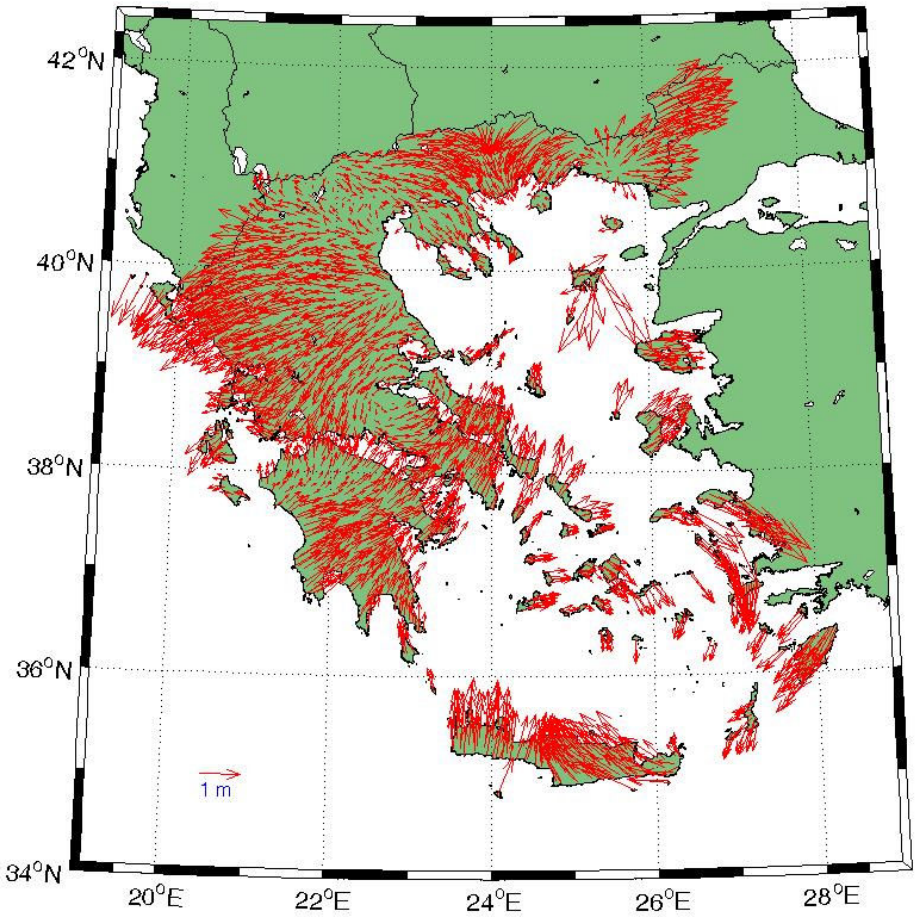
Ιστόγραμμα οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*

(στο δίκτυο των 231 κοινών σημείων)



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

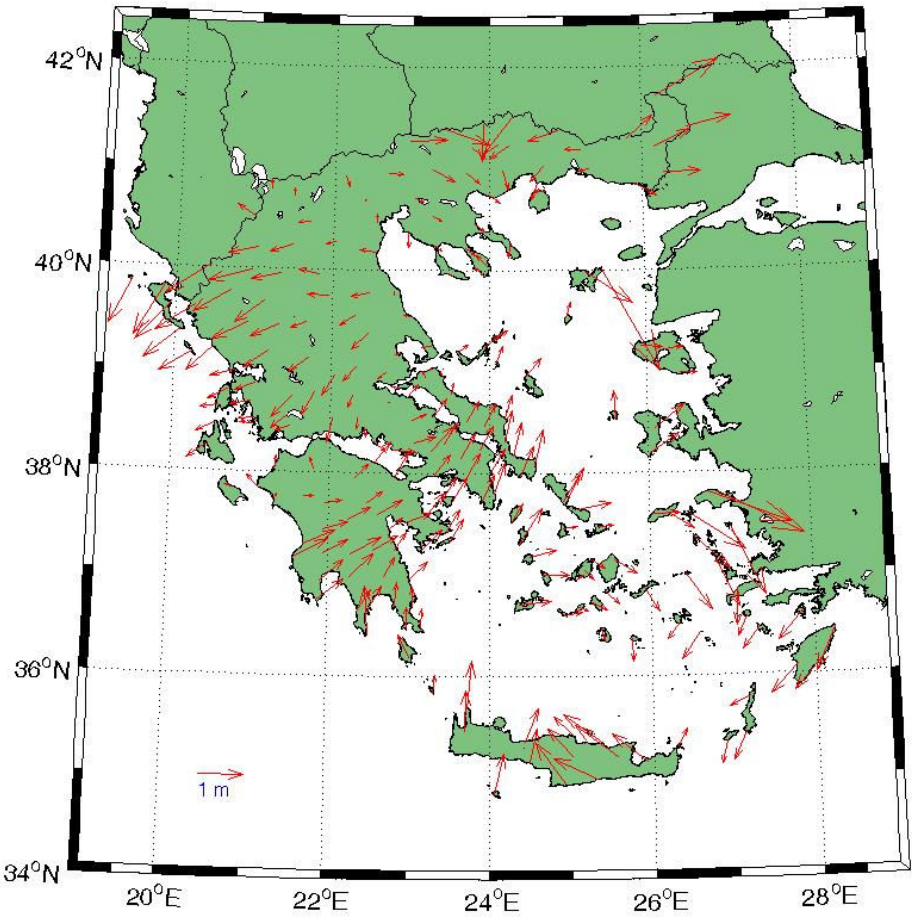
Residuals *δr*



Χάρτης οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*
(δίκτυο 2199 κοινών σημείων)

Έντονες συστηματικές παραμορφώσεις στο ΕΓΣΑ87 !

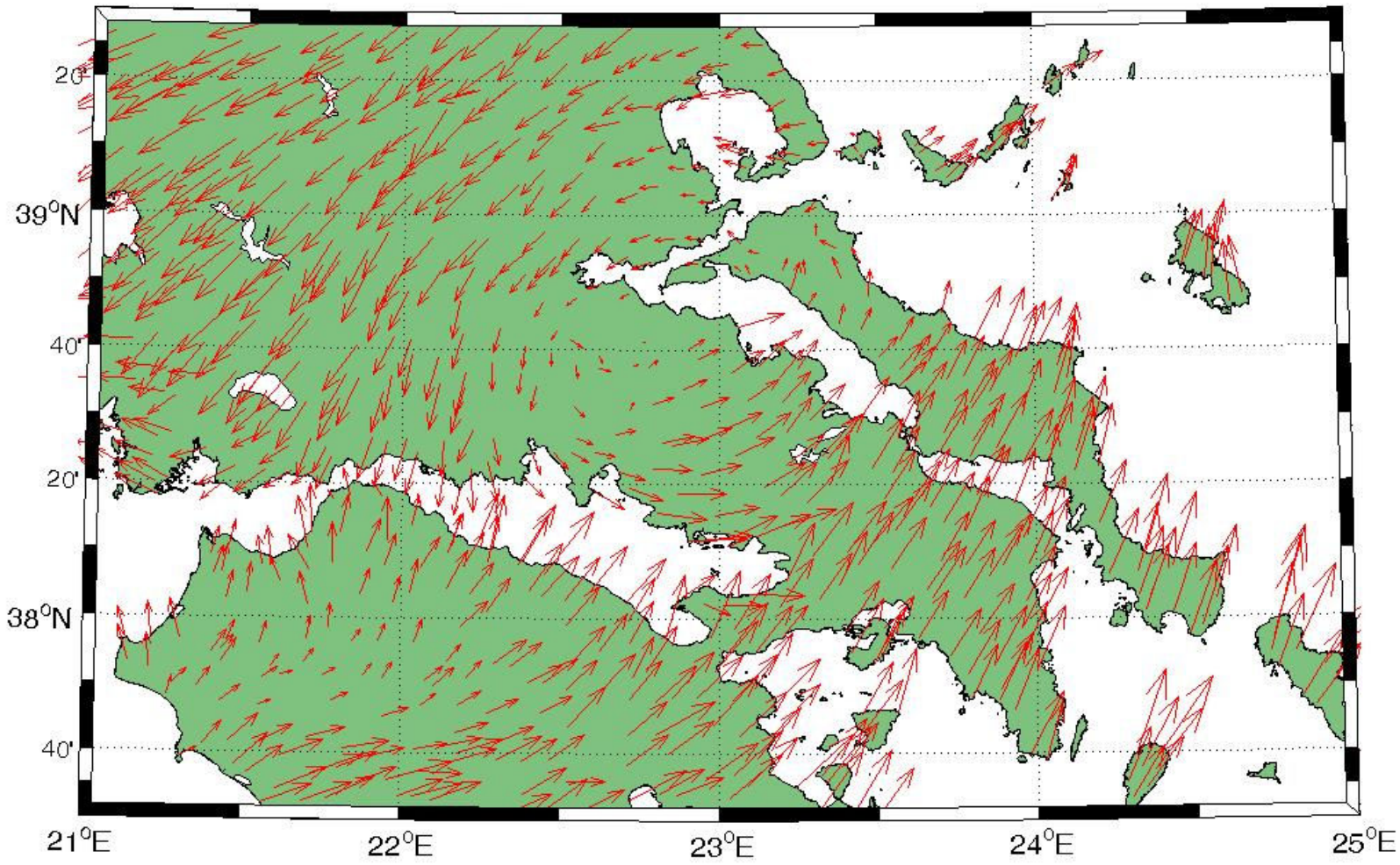
Residuals *δr*



Χάρτης οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*
(δίκτυο 231 κοινών σημείων)

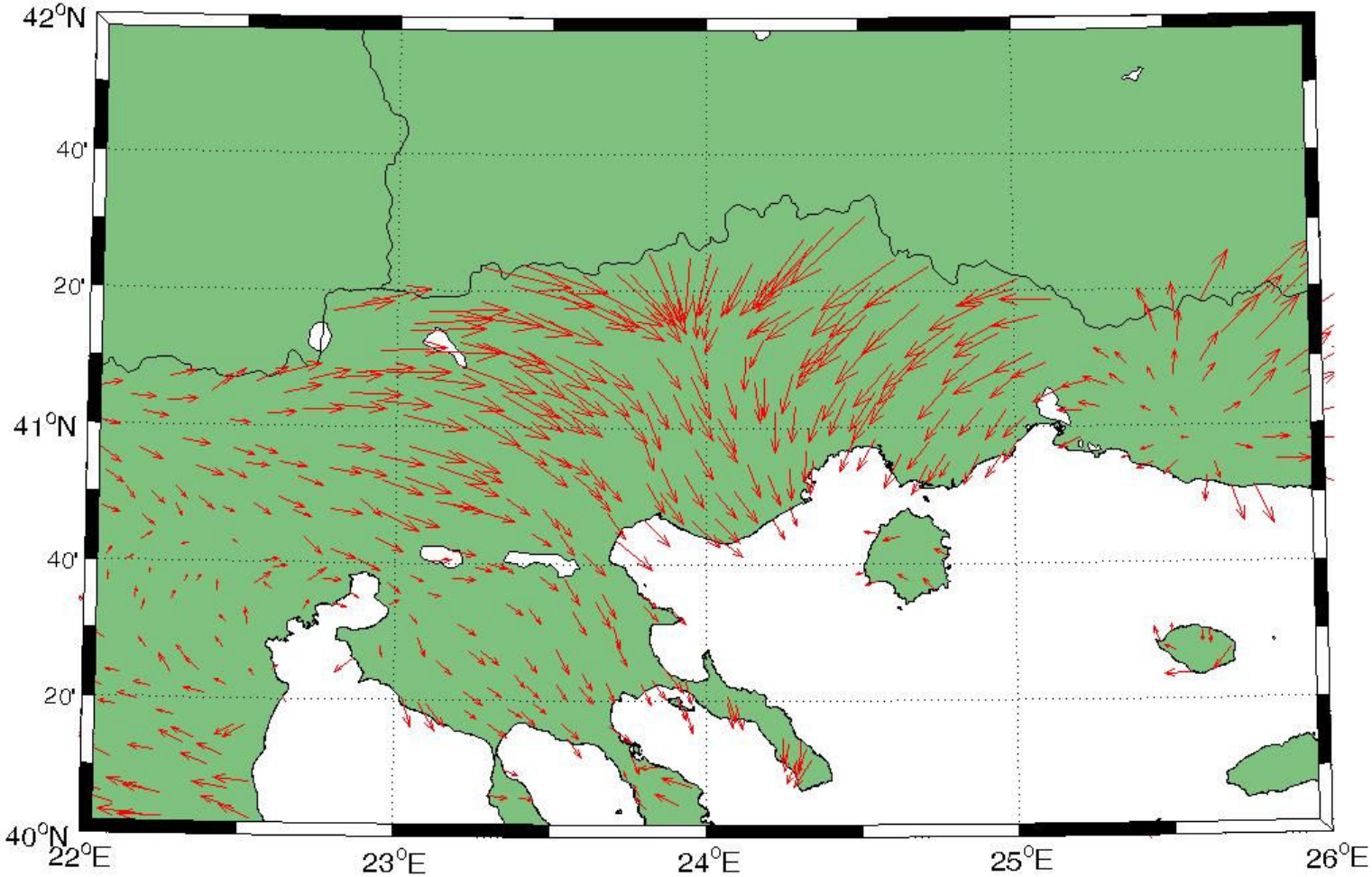
Έντονες συστηματικές παραμορφώσεις στο ΕΓΣΑ87 !

(1)



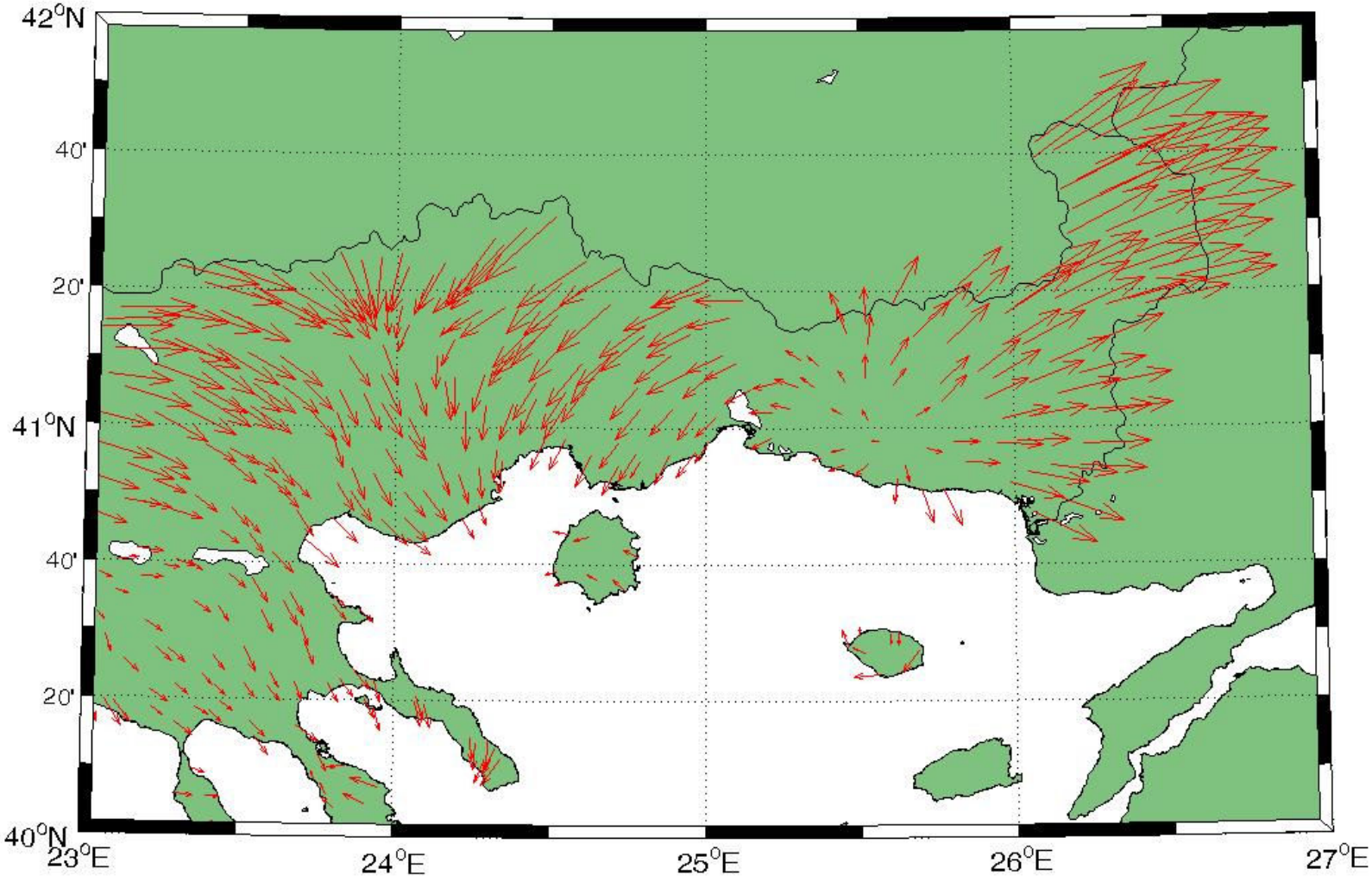
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, ΗΕΡΟS

(2)



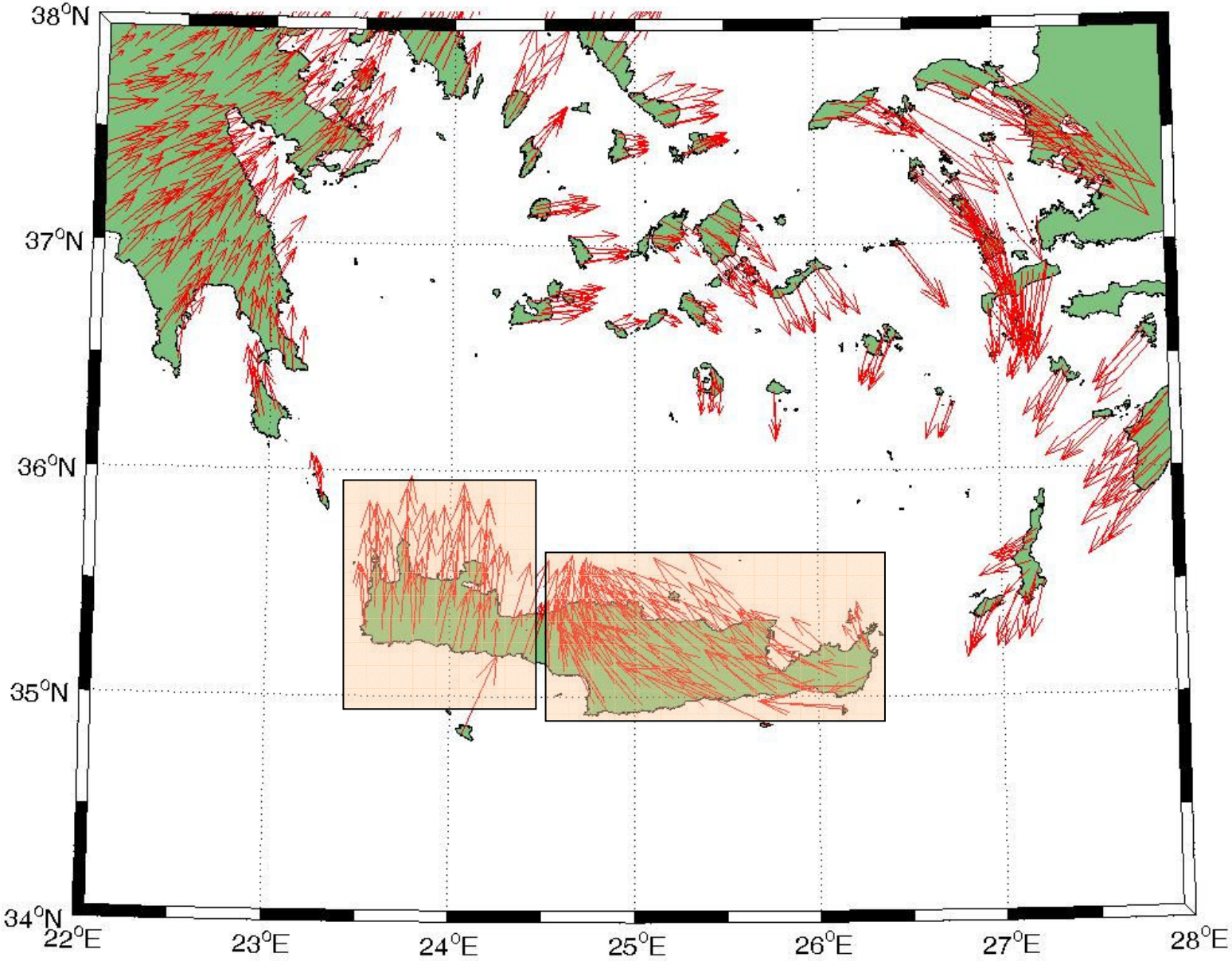
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

(3)



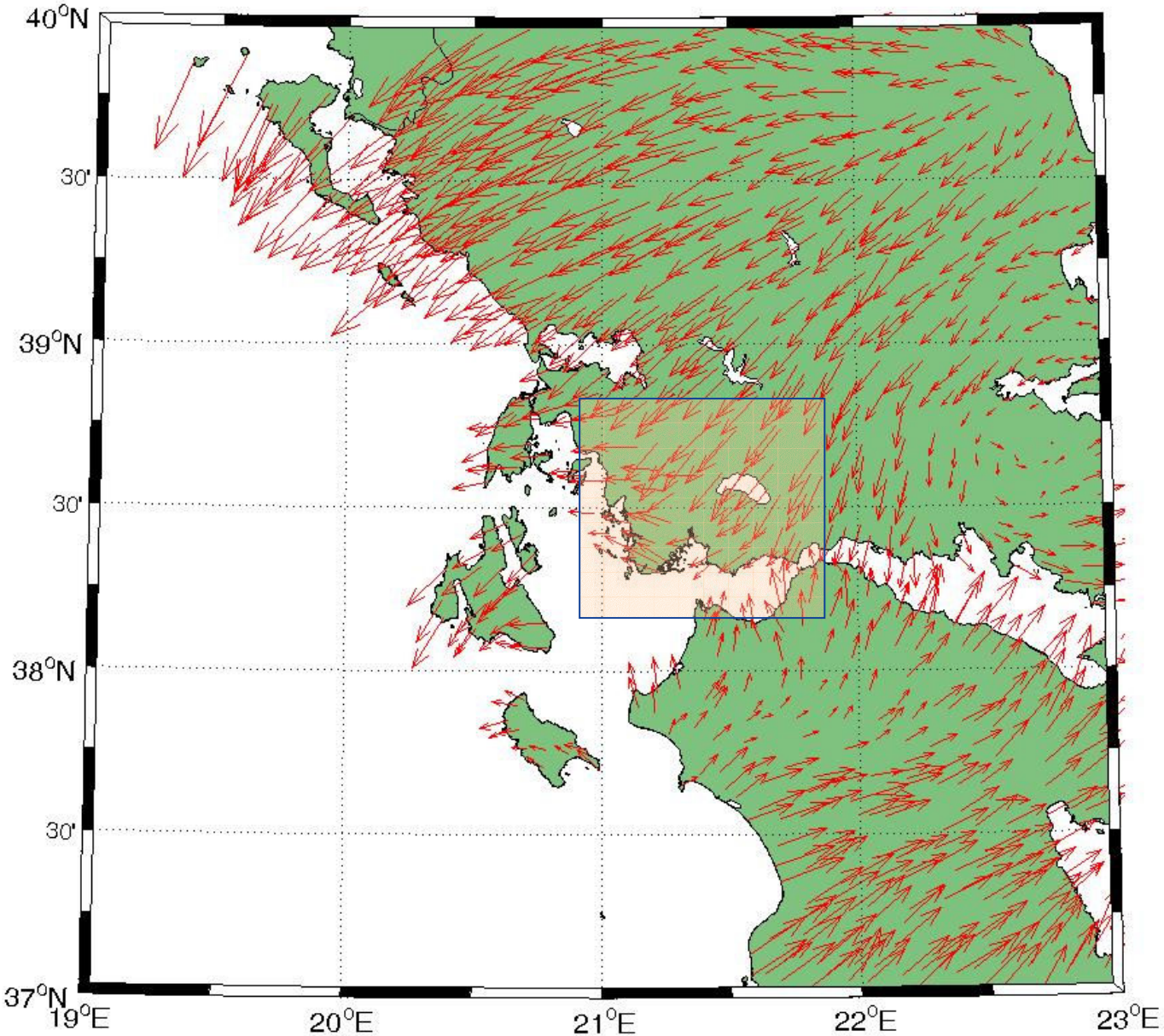
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, ΗΕΡΟS

(4)



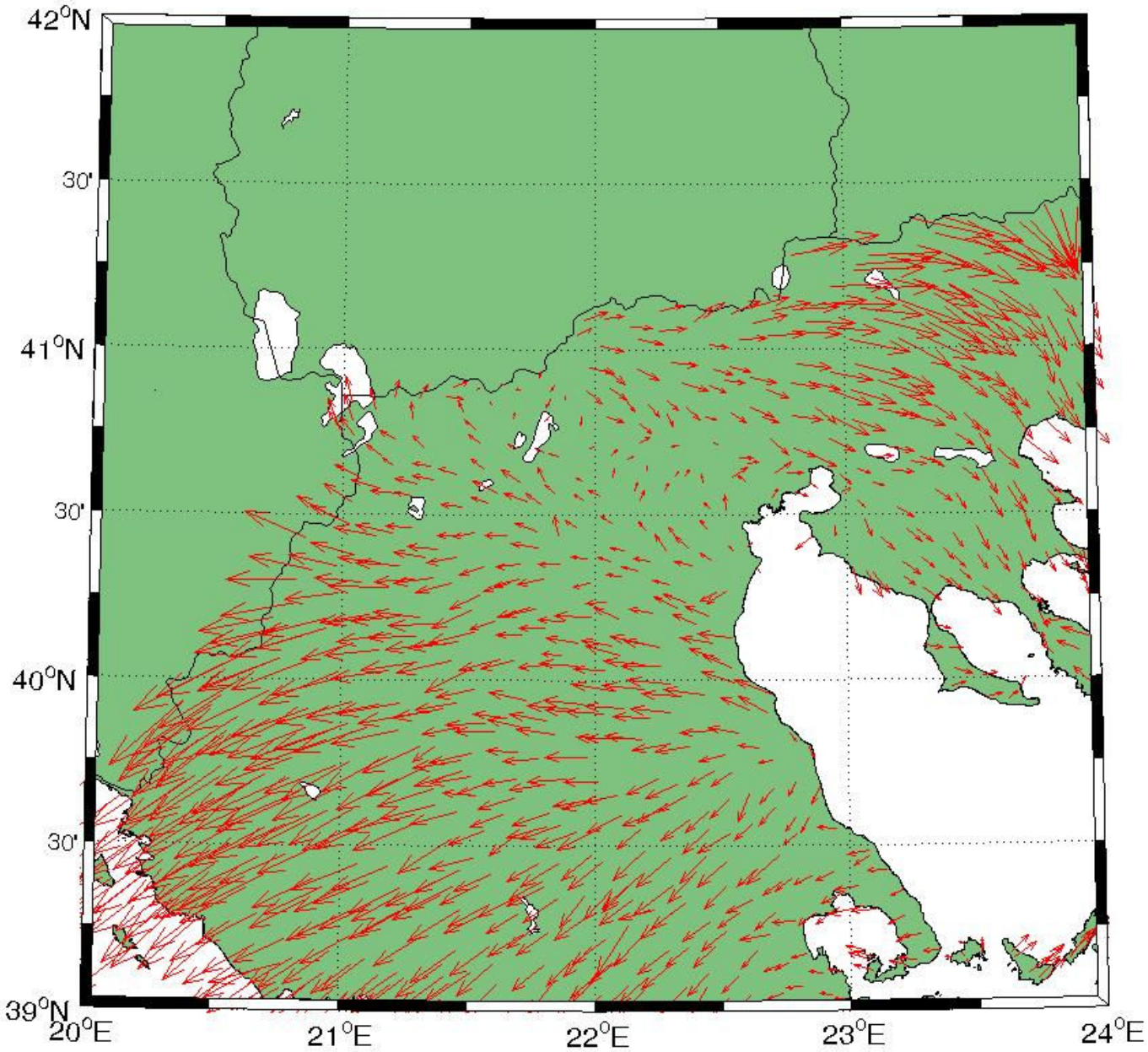
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

(5)



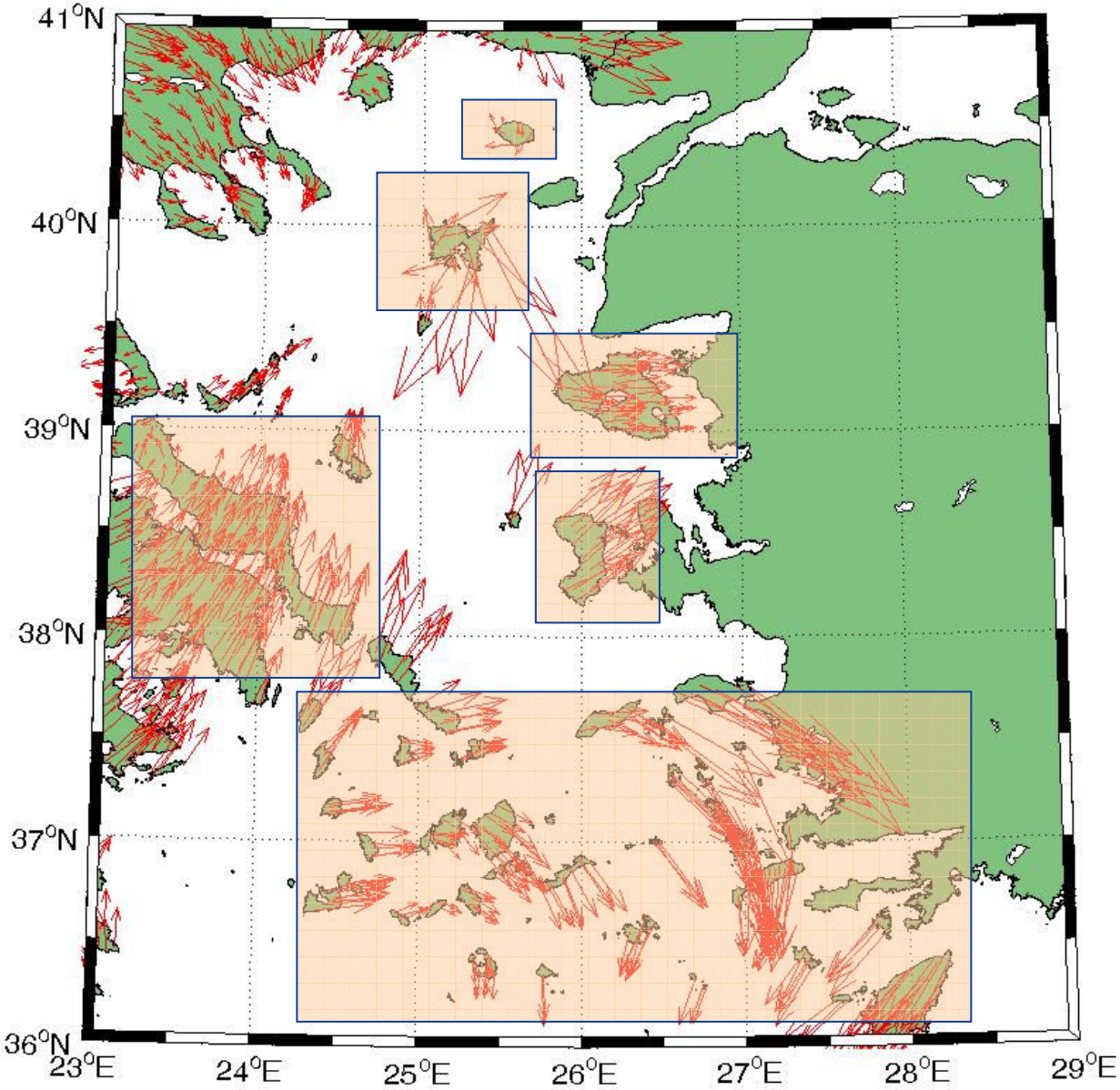
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

(6)



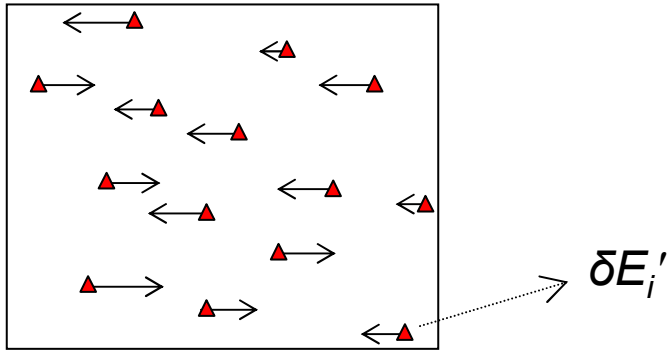
ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

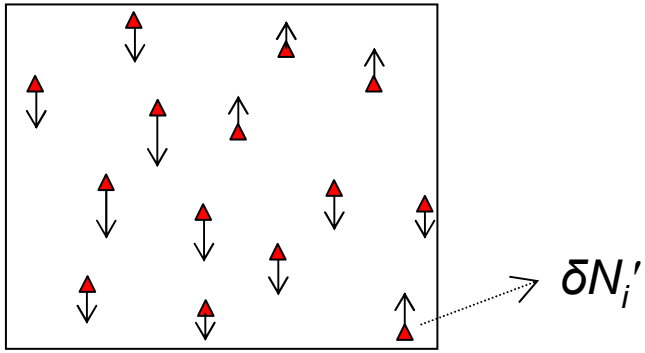
(7)



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, ΗΕΡΟS

Προσδιορισμός καννάβων



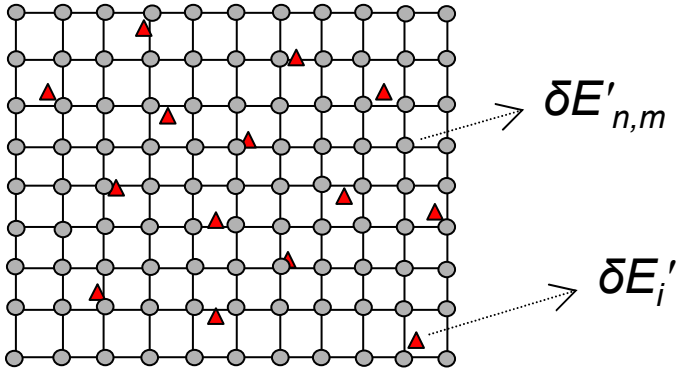


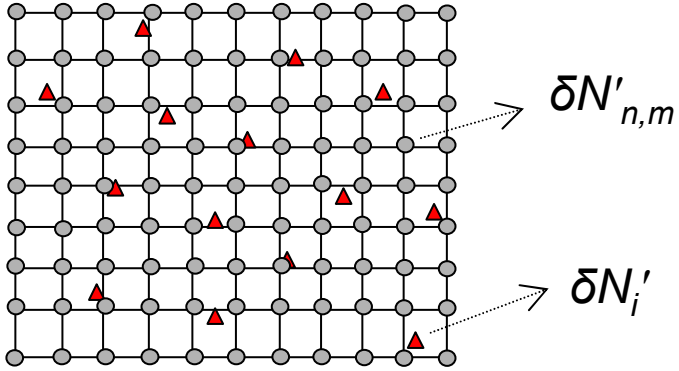
Σε κάθε κορυφή του δικτύου των 2199 ‘κοινών σημείων’ υπολογίζουμε τις εξής τιμές (residuals):

$$\delta E'_i = E_{ΕΓΣΑ87} - E'_{HTRS07 \rightarrow ΕΓΣΑ87}$$

$$\delta N'_i = N_{ΕΓΣΑ87} - N'_{HTRS07 \rightarrow ΕΓΣΑ87}$$

Προσδιορισμός καννάβων



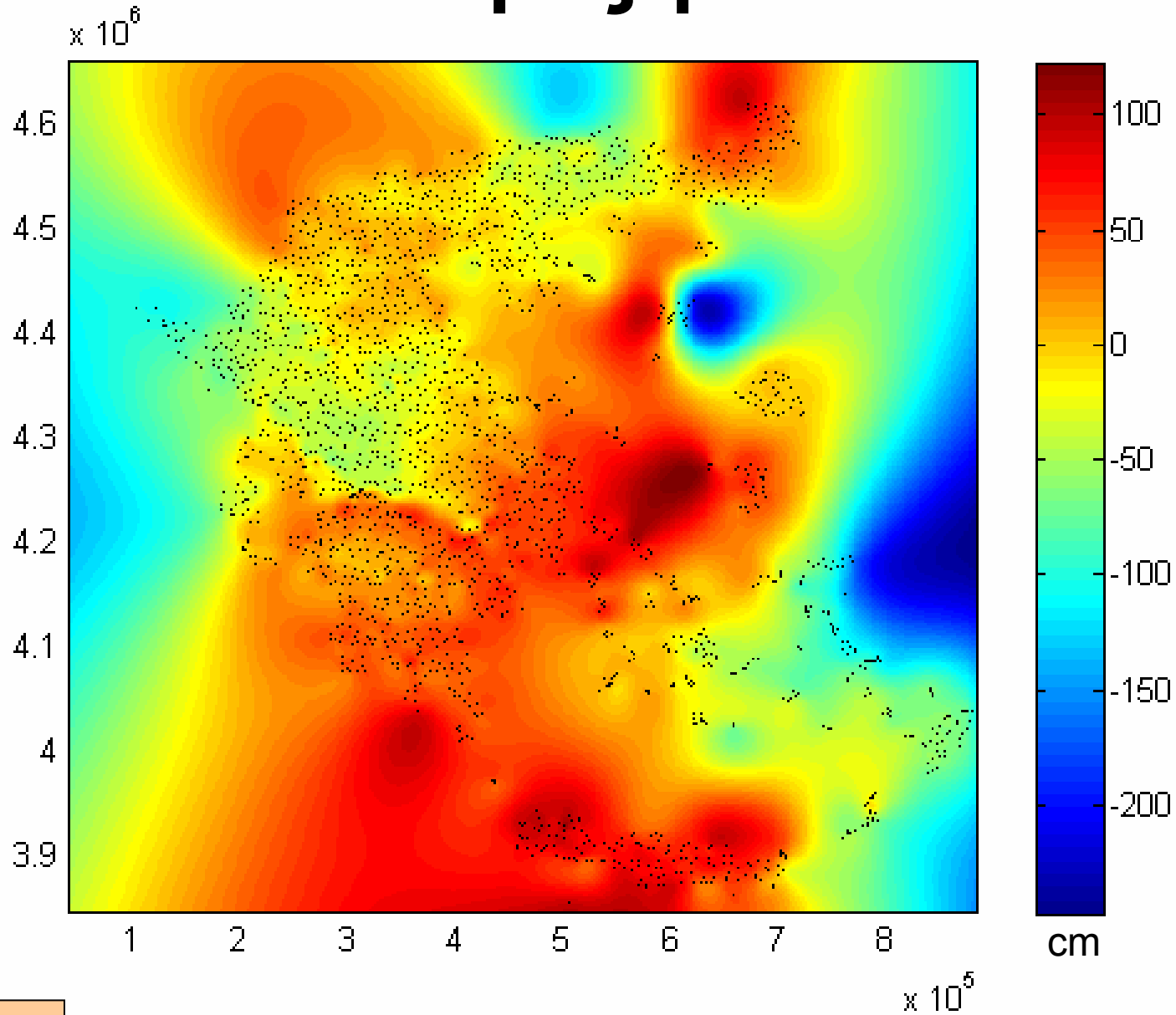


Μέσω των διαθέσιμων τιμών $\delta E_i'$ και $\delta N_i'$ δημιουργούμε δύο ορθογωνικούς καννάβους $\delta E'_{n,m}$ και $\delta N'_{n,m}$ με χρήση κατάλληλου αλγόριθμου gridding:

Sandwell D.T. ***"Biharmonic Spline Interpolation of GEOS-3 and SEASAT Altimeter Data"****, Geophysical Research Letters, 2, 139-142, 1987.*

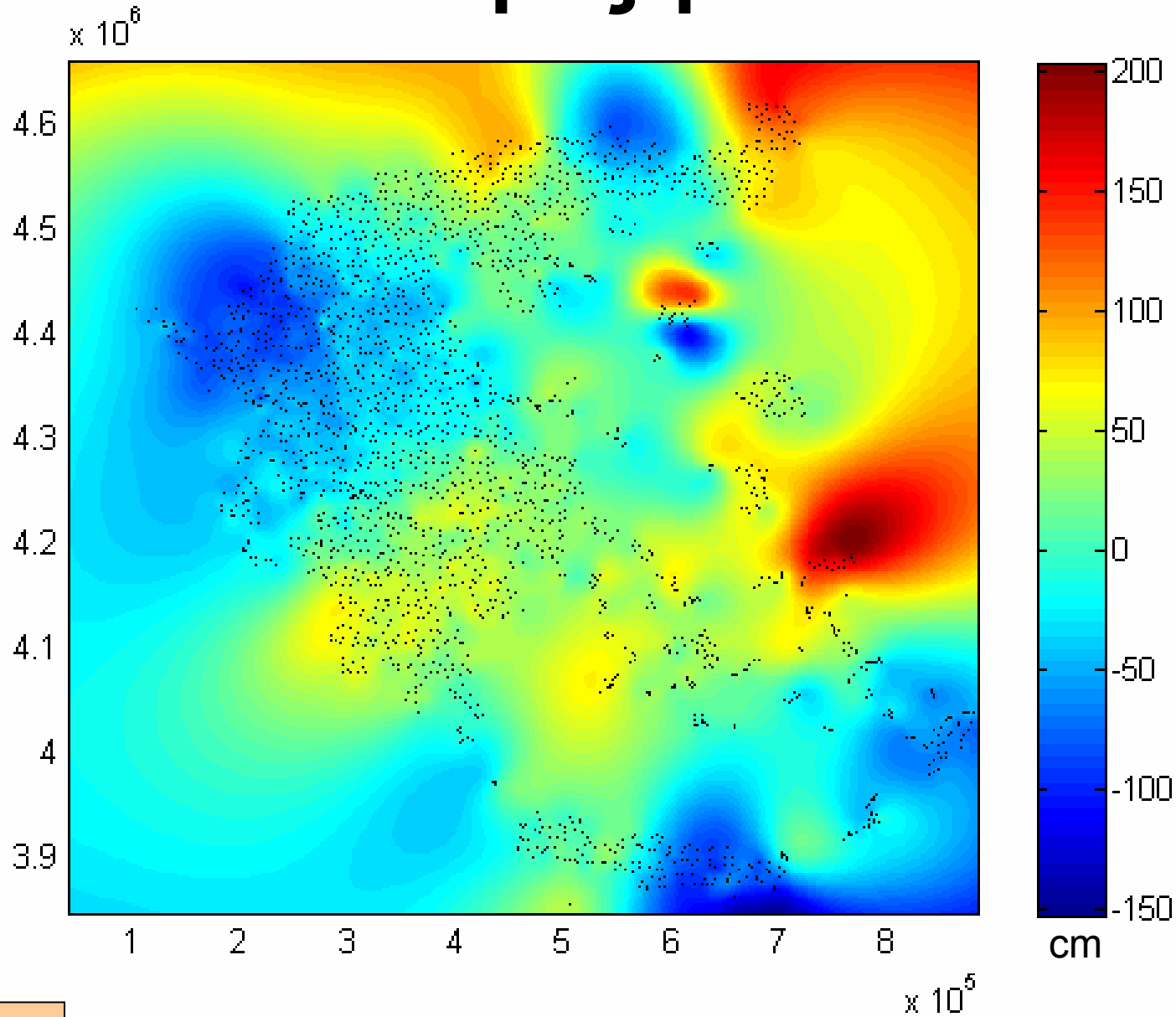
(*) οι κάνναβοι αυτοί περιγράφουν, μέσω μίας διακριτοποιημένης 2Δ συνάρτησης τη συμπεριφορά των συστηματικών παραμορφώσεων του ΕΓΣΑ87 στο προβολικό επίπεδο

Κάνναβος για *δN*



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, ΗΕΡΟS

Κάνναβος για *δE*



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, ΗΕΡΟS

Αξιολόγηση ακρίβειας του μοντέλου μετασχηματισμού

Στατιστικά στοιχεία για το μέγεθος
του ‘οριζοντιογραφικού σφάλματος’ *δr*
κατά τον πλήρη μετασχηματισμό HTRS07 → ΕΓΣΑ87

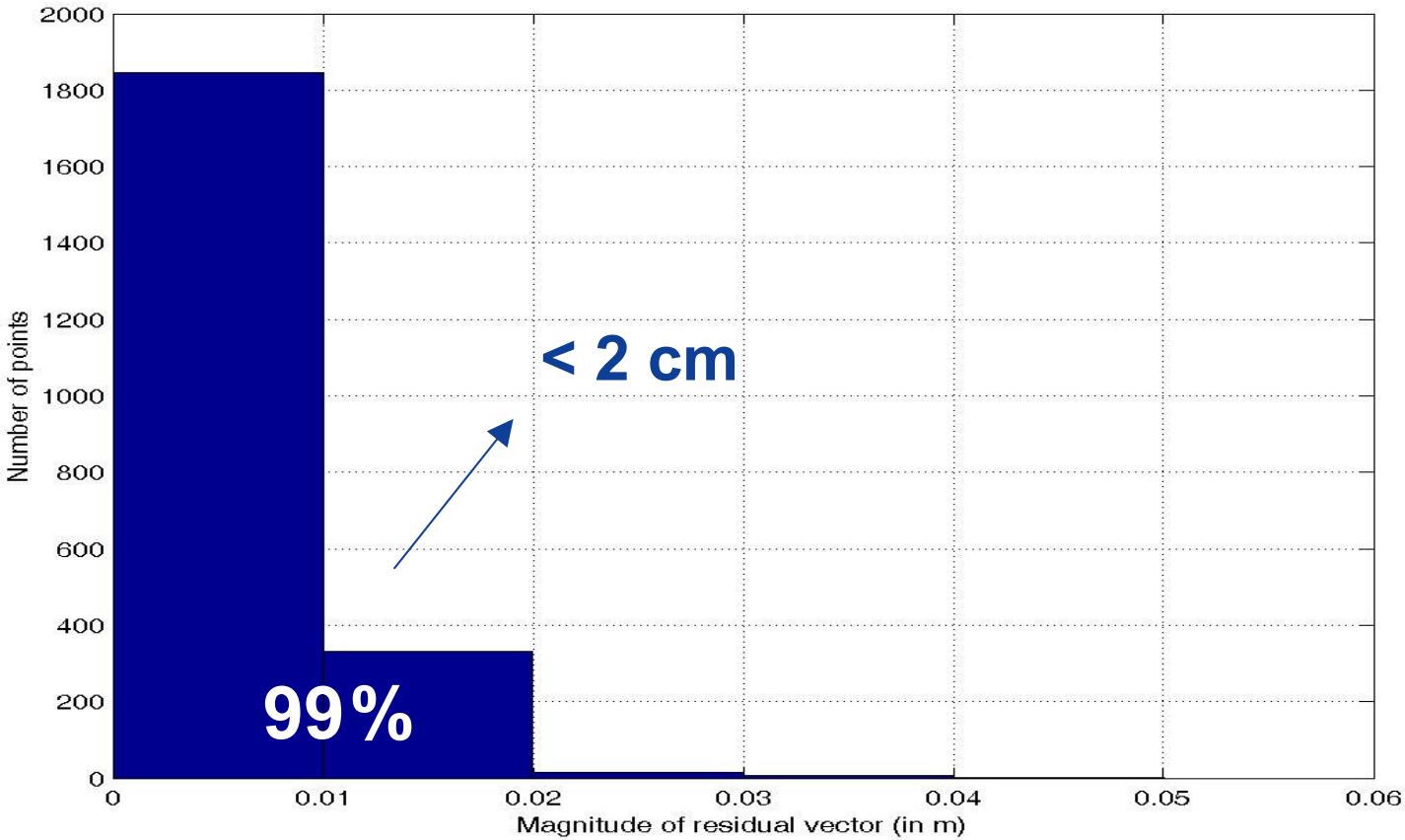
	Max	Min	Mean	σ	RMS
*Δίκτυο **2199** κοινών σημείων (internal validation)*	0.049	0.000	0.007	0.004	**0.008**
*Δίκτυο **231** κοινών σημείων (cross validation)*	0.244	0.006	0.068	0.047	**0.082**

(*) *όλες οι τιμές σε m*

$$\delta r = \sqrt{(E_{ΕΓΣΑ87} - E'_{ΕΓΣΑ87})^2 + (N_{ΕΓΣΑ87} - N'_{ΕΓΣΑ87})^2}$$

Ιστόγραμμα οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*

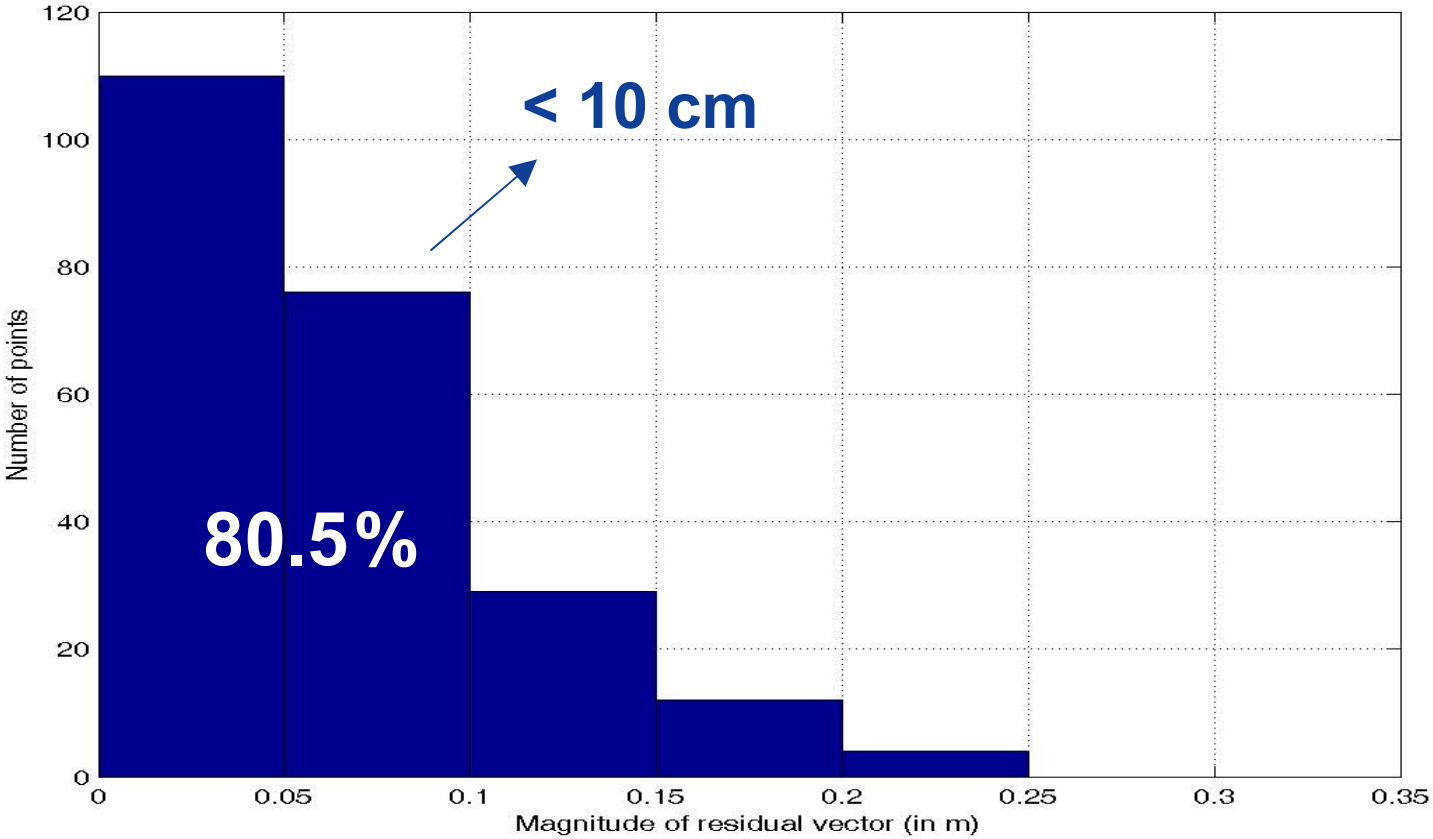
(στο δίκτυο των 2199 κοινών σημείων)



ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

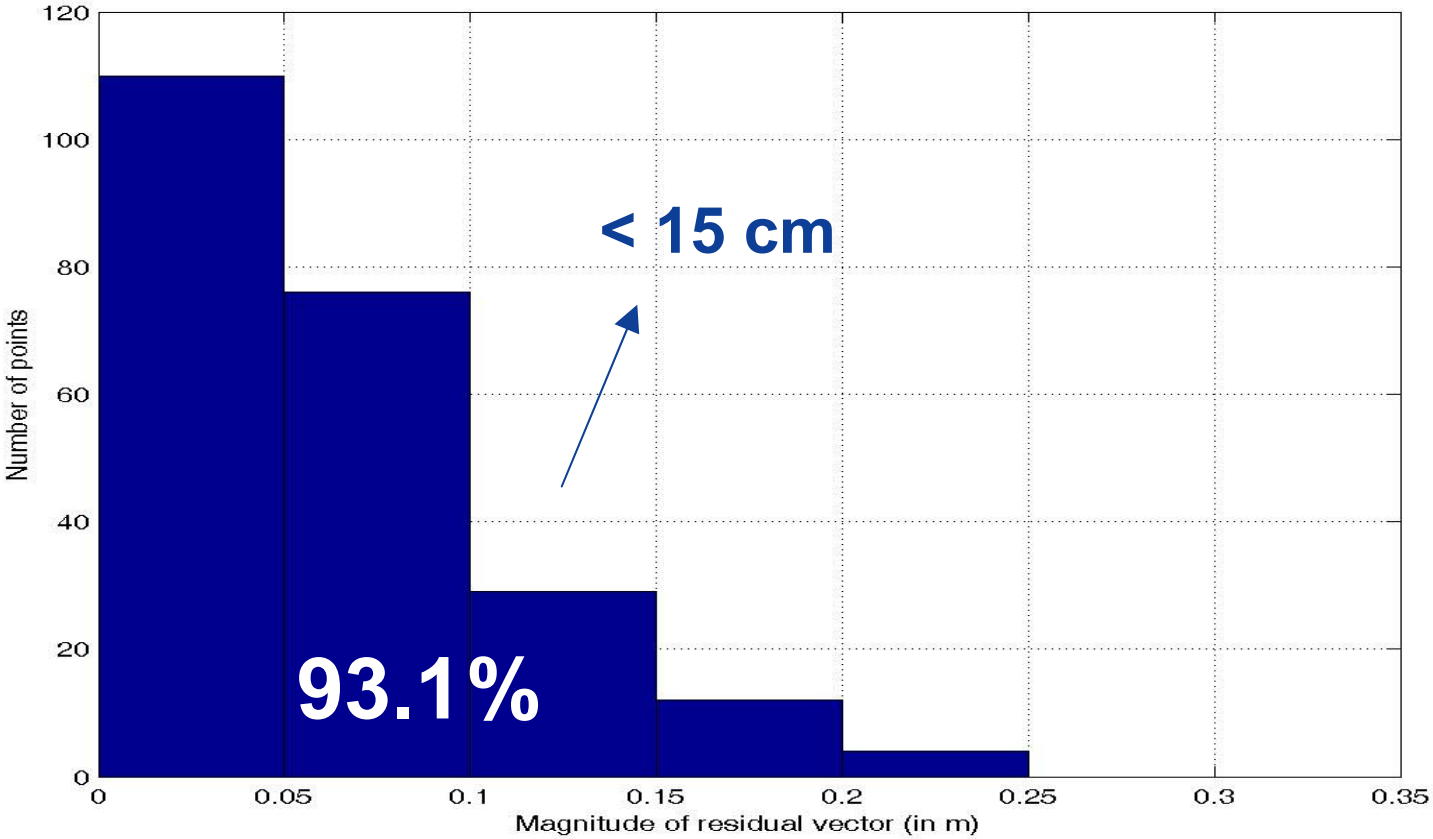
Ιστόγραμμα οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*

(στο δίκτυο των 231 κοινών σημείων)



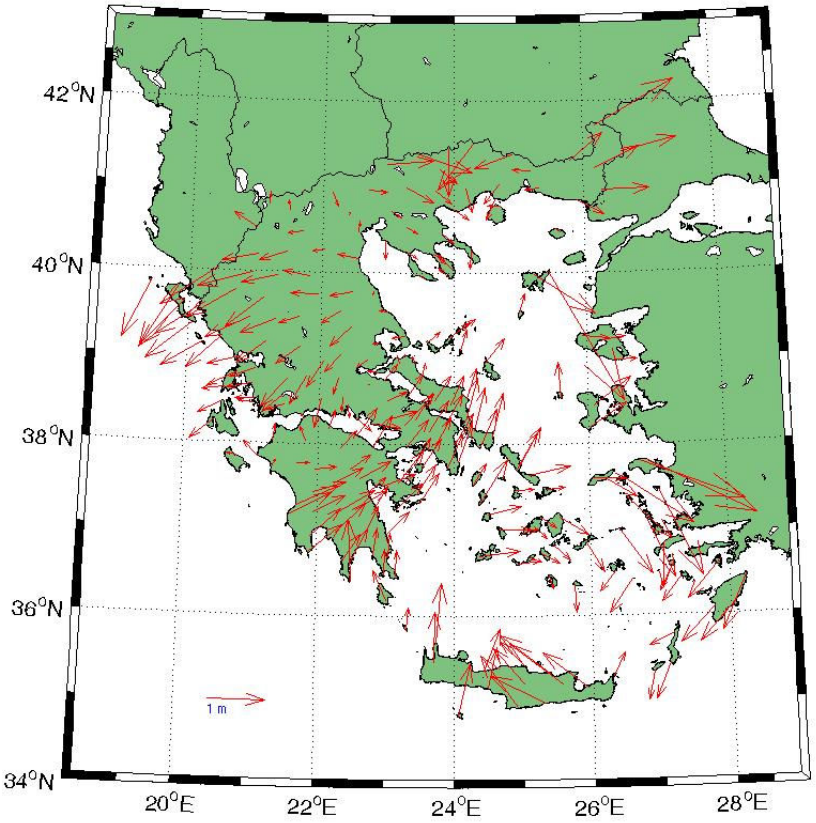
Ιστόγραμμα οριζοντιογραφικών σφαλμάτων *δr*

(στο δίκτυο των 231 κοινών σημείων)

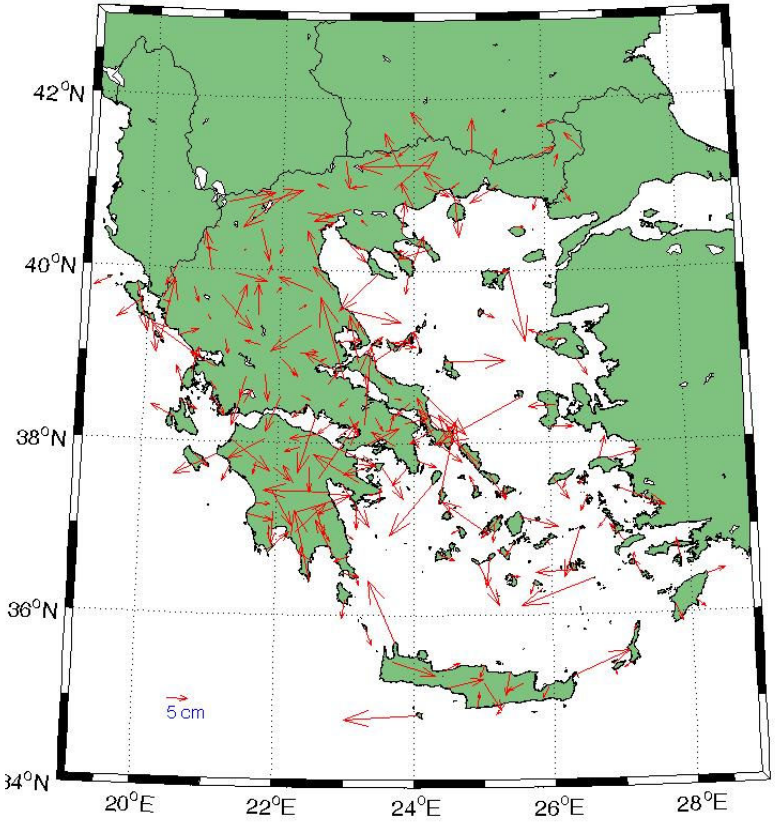


ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

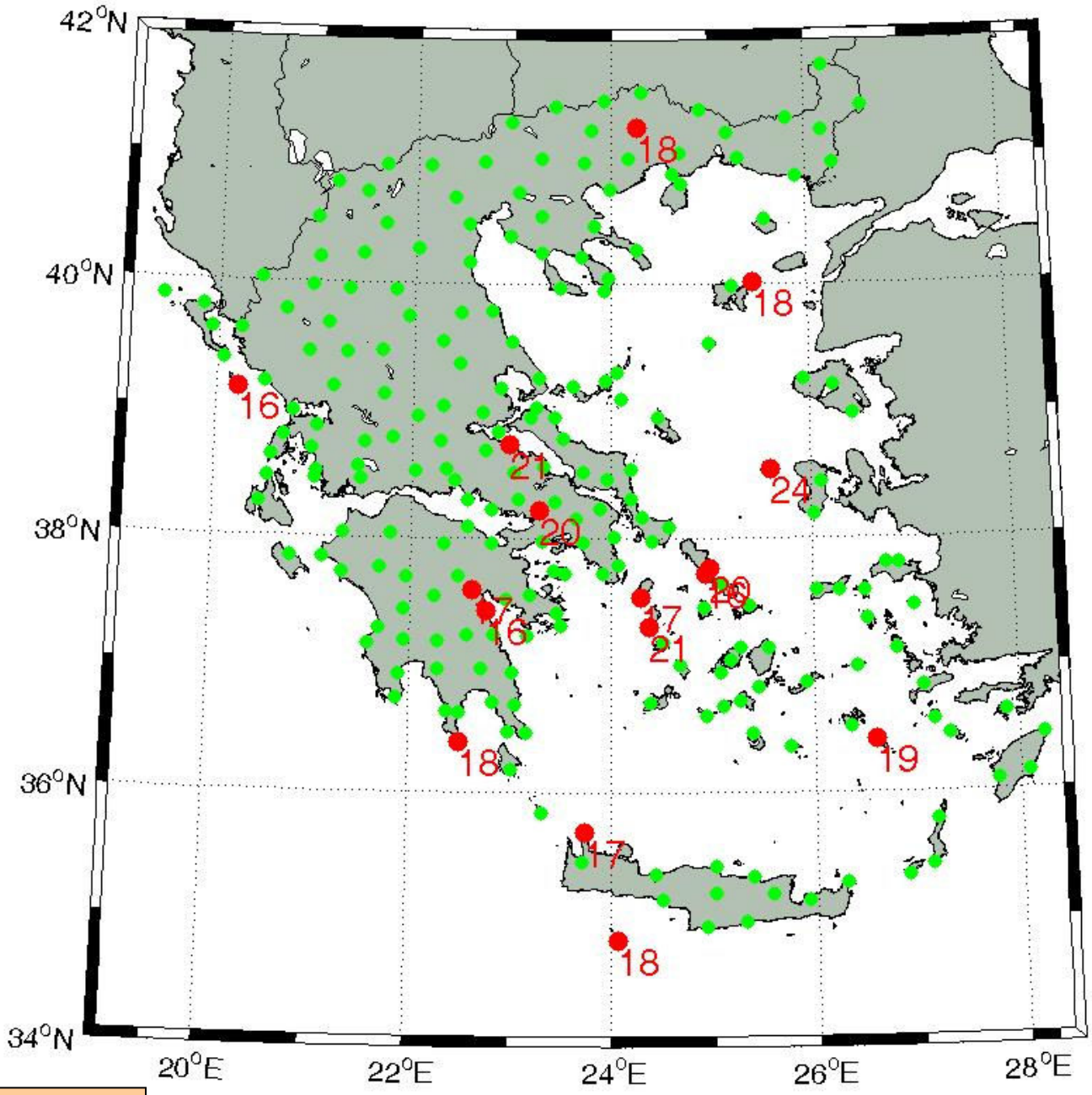
Residuals *δr*



μετά από τον 3Δ μετασχηματισμό ομοιότητας



μετά από τον πλήρη μετασχηματισμό



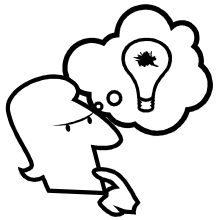
- <15cm
- >15cm

ΤΕ.ΒΟ ΑΠΘ, HEPOS

Γενικό Συμπέρασμα

Η εφαρμογή ενός 3Δ μετασχηματισμού ομοιότητας με την ταυτόχρονη διόρθωση μέσω 2Δ παρεμβολής από καννάβους «συστηματικών παραμορφώσεων αναφοράς» προσφέρει μία **μέση ακρίβεια** για την **οριζοντιογραφική σύνδεση** μεταξύ του ΕΓΣΑ87 και του HTRS07/HEPOS **καλύτερη των 10 cm (rms: 8cm)**.

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις, οι μέγιστες αποχές από την εφαρμογή του συνολικού μετασχηματισμού μπορούν να φτάσουν μέχρι **25 cm.**



Ανοικτά ζητήματα...

- Μελλοντική ‘αναβάθμιση’ του μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07/HEPOS

- Δημιουργία ‘χάρτη ακρίβειας’ μετασχηματισμού

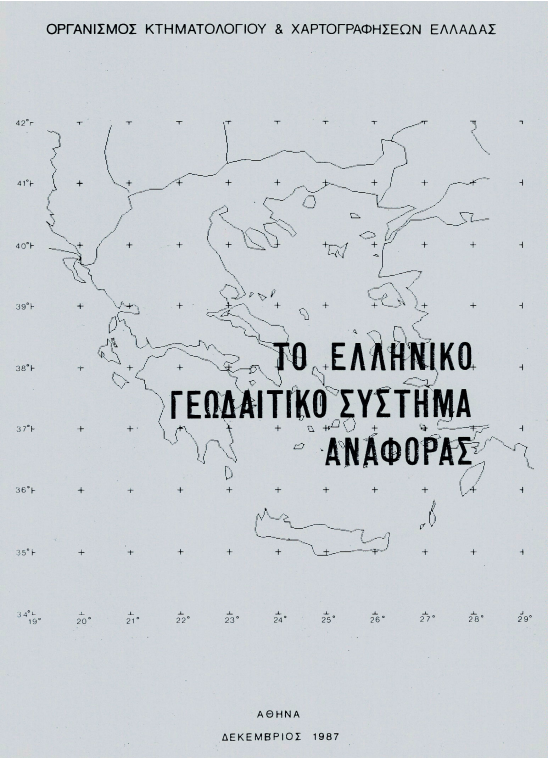
- HEPOS και υψομετρικός μετασχηματισμός θέσης
  (προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων μέσω μετρήσεων GPS και πληροφορίας γεωειδούς, με ακρίβεια < 10 cm, οπουδήποτε στην Ελλάδα)

ΕΓΣΑ87: 20 χρόνια πριν...

Απόσπασμα από το Εισαγωγικό Σημείωμα:

«...το προτεινόμενο εδώ γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς είναι ένα από τα τελειότερα και πλέον σύγχρονα που υπάρχουν και μπορεί άνετα να καλύψει τις ανάγκες για τουλάχιστον την επόμενη εικοσαετία...»

Γ. Βέης, Δεκέμβριος 1987



20xx → **HEPOS** → **ΕΓΣΑ 20**xx

INSPIRE

Οδηγία για τη δημιουργία υποδομής χωρικών πληροφοριών στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (2007/2/ΕΚ)

Τέλος...

Ευχαριστώ για την προσοχή σας !

(και την υπομονή σας...)

Χ. Κωτσάκης
✉: kotsaki@topo.auth.gr

Κ. Κατσάμπαλος
✉: kvek@topo.auth.gr