



3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο ΑΤΜ

# Ανάλυση χωροσταθμικών υψομέτρων στο κρατικό τριγωνομετρικό δίκτυο της Ελλάδας

*Χ. Κωτσάκης, Μ. Ζουλίδα, Δ. Τερζόπουλος, Κ. Κατσάμπαλος*

*Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών*

*Πολυτεχνική Σχολή*

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*



# Επισκόπηση παρουσίασης

Εισαγωγή

Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;

Χαρακτηριστικά του Ελληνικού  
Υψομετρικού Συστήματος Αναφοράς

Διαγνωστικός έλεγχος ορθομετρικών  
υψομέτρων ΓΥΣ

Αποτελέσματα – σχολιασμός



# Εισαγωγή

## Ελληνικό Υψομετρικό Σύστημα Αναφοράς

**Βασική υλοποίηση:** μέσω χωροσταθμικών δικτύων Ιης και ΙΙης τάξης με ακρίβεια  $1\sqrt{L}$  mm και  $5\sqrt{L}$  mm, αντίστοιχα

**Εναλλακτική υλοποίηση:** μέσω σημείων του κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου που έχουν συνδεθεί με γειτονικές χωροσταθμικές αφετηρίες – ακρίβεια (?)

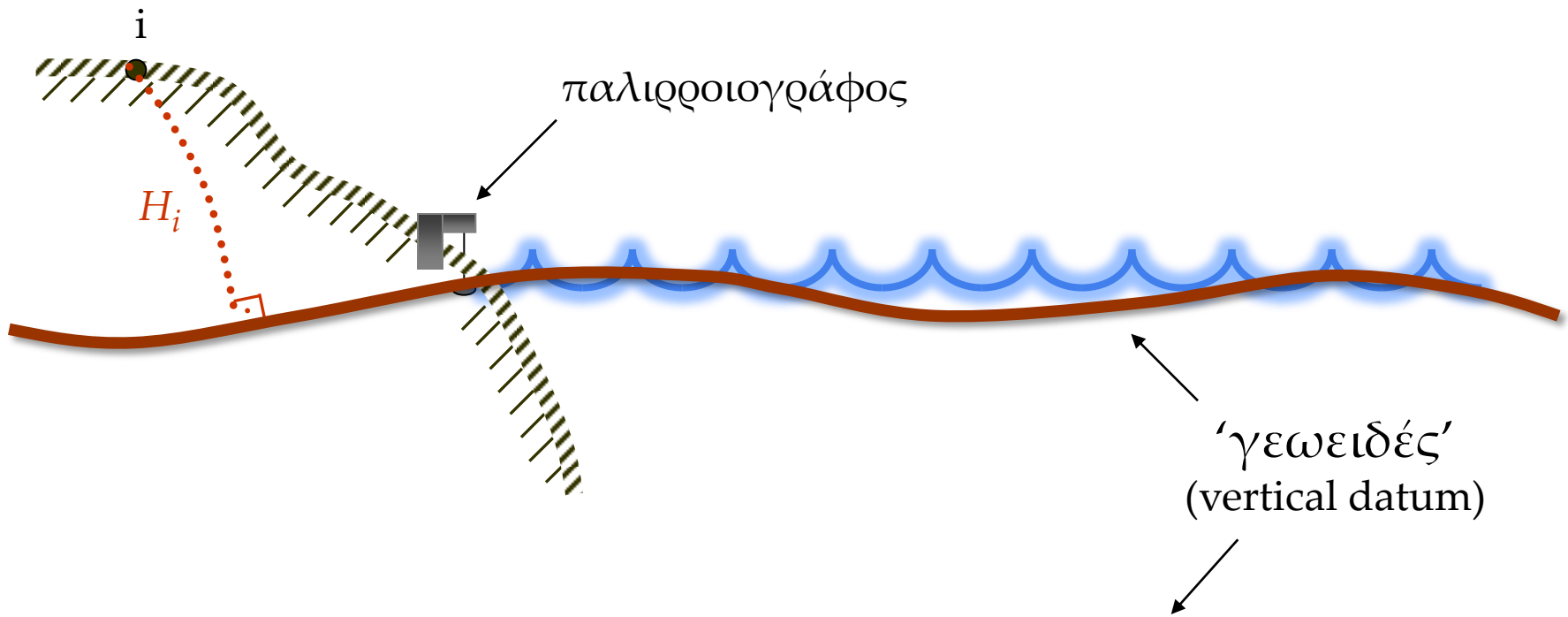
## Επιφάνεια αναφοράς:

‘μέση στάθμη θάλασσας’ (ΜΣΘ)

πολλές, όχι μια και μοναδική (ηπειρωτική Ελλάδα, νησιά)

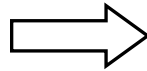
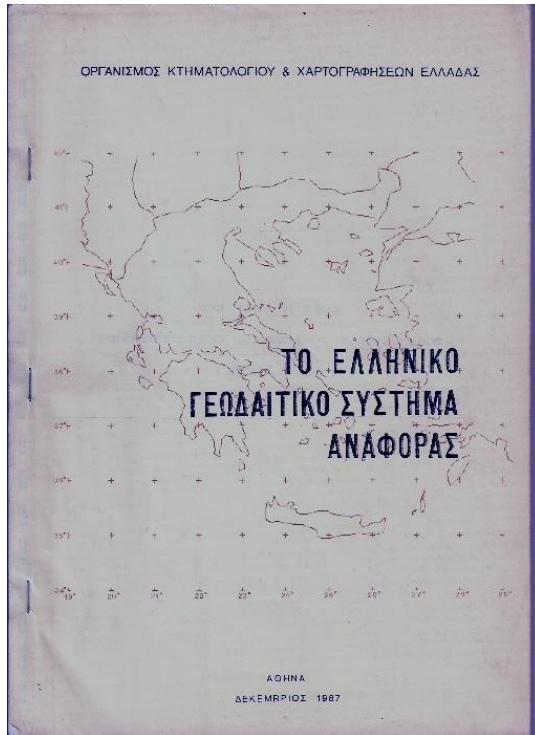
Δεν έχει προσδιορισθεί με την αυστηρή γεωδαιτική έννοια

# Επιφάνεια αναφοράς υψομέτρων



Αντιστοιχεί σε μια **ισοδυναμική επιφάνεια** του πεδίου βαρύτητας που διέρχεται από κάποιο **συμβατικά επιλεγμένο επίγειο σημείο** που συνήθως σχετίζεται με την τοπική ΜΣΘ.

# Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;



...το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για το Ευρωπαϊκό Datum

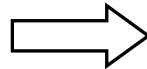
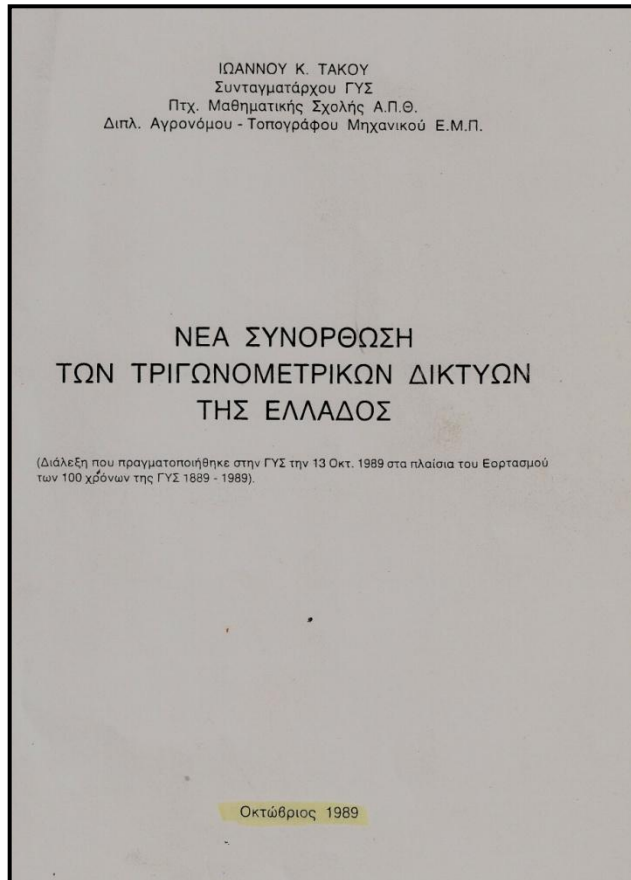
3. Το σύστημα ΕΜΠ (Εγκάρσια Μερκατορικής Προβολής) των 3° με τρεις κεντρικούς μεσημβρινούς και παραμορφώσεις που φθάνουν το 0.1%. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για το Ελληνικό Datum

δ. Από πλευράς αφετηρίας υψομετρίας το μηδέν ορίζεται στη μέση στάθμη της θάλασσας του Πειραιά όπως προσδιορίστηκε με μικρό αριθμό παρατηρήσεων το 1918 (με σημαντικό σφάλμα) η δε υλοποίηση των υψομέτρων γίνεται με χωροσταθμικά δίκτυα που μερικές φορές δεν είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν ανεξάρτητη αφετηρία (αυτό φυσικά συμβαίνει και σ' όλα τα νησιά).

### 3. Προβλήματα και δυσκολίες

Φυσικά η ύπαρξη διαφόρων datums, συνεχώς αναθεωρούμενων τριγωνισμών, διαφόρων προβολικών συστημάτων και υψομετρικών αφετηριών, δημιουργεί προβλήματα και συγχίσεις στις καθημερινές εφαρμογές, αφού μάλιστα η μετατροπή από ένα σύστημα σε άλλο δεν είναι πάντα εύκολη και απλή. Επί πλέον:

# Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;



- 40 -

κε η μέθοδος μετάβασης και επιστροφής σε διαφορετικές ημέρες με διαφορετικούς παρατηρητές και όργανα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά των εξαγωγμένων χωροστάθμισης μήκους  $L$  χιλιομέτρων μεταξύ μετάβασης και επιστροφής τέθηκε:

- Για το δίκτυο Ιης τάξης  $1\text{mm} \times$  τετραγωνική ρίζα του  $L$ .
- Για το δίκτυο ΙΙας τάξης  $5\text{mm} \times$  τετραγωνική ρίζα του  $L$ .
- Σημεία αναφοράς των υψομέτρων έχουν ληφθεί:
- Για την Ηπειρωτική χώρα ο παλιρροιογράφος του λιμανιού του Πειραιά.
- Για την Κρήτη ο παλιρροιογράφος του λιμανιού του Ηρακλείου.
- Για τα υπόλοιπα νησιά τοπικοί παλιρροιογράφοι ή παλιρροιόμετρα.

Ο υπολογισμός των υψομέτρων γινόταν τμηματικά μέχρι το 1986 που ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις πεδίου. Το 1986 έγινε ενιαίος υπολογισμός των υψομέτρων με την μ.ε.τ. χωριστά για τον Ηπειρωτικό χώρο και χωριστά για την Κρήτη. Σε πρώτη φάση έγινε ανίχνευση και απόλλειψη πιθανών συστηματικών σφαλμάτων και σε δεύτερη φάση η συνόρθωση των δικτύων και με τη μέθοδο των εξισώσεων συνθηκών (άμεσες) και με τη μέθοδο μεταβολής των υψομέτρων (έμμεσες). Προσδιορίσαμε για κάθε αφετηρία τρεις παραμέτρους:

- Το συνορθωμένο γεωμετρικό υψόμετρο της
- Το γεωδυναμικό της αριθμό και
- Το ορθομετρικό υψόμετρό της

Στο διάγραμμα Γ23 είναι το συνορθωμένο χωρ/κό δίκτυο Ιης τάξης της Πελοποννήσου όπου φαίνονται:

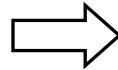
- Τα σφάλματα κλεισίματος των βρόχων, καθώς και τα αντίστοιχα επιτρεπόμενα όρια.
- Τα μήκη των κλαδων σε Km και τα τυπικά τους σφάλματα ανά ένα χιλιόμετρο, τα οποία στο μεγαλύτερο ποσοστό είναι μικρότερα του ενός χιλιοστού.

# Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;

ΤΟ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ  
1ης ΤΑΞΕΩΣ  
ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ  
(Συνόρθωση και Υπολογισμός)

Επιμέλεια εργασίας από  
Μυλωνά - Κοτρογιάννη Ελένη  
Μαθηματικού  
Μονίμου Υπαλλήλου της Υποδιευθύνσεως  
Γεωδαισίας της ΓΥΣ

ΑΘΗΝΑ  
1989



1.3 Ως αφετηρία υπολογισμού των υψομέτρων στον Ηπειρωτικό χώρο, λήφθηκε ο παλιρροιογράφος του Πειραιά. Η συνόρθωση του δικτύου για την ηπειρωτική Ελλάδα έγινε σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιέλαβε τις χωροσταθμικές οδεύσεις που μετρήθηκαν στη Πελοπόννησο και το δεύτερο τις χωροσταθμικές οδεύσεις που μετρήθηκαν στην υπόλοιπη ηπειρωτική χώρα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, στην Πελοπόννησο δημιουργήθηκαν δεκατέσσερις (14) βρόχοι, στην δε υπόλοιπη χώρα είκοσι τρεις (23).

4.1.2. Το δίκτυο υπολογίστηκε χωριστά για την Πελοπόννησο και την υπόλοιπη ηπειρωτική Ελλάδα (Στερεά Ελλάδα, Θεσσαλία, Ήπειρος, Μακεδονία, Θράκη).

4.2. Στην Πελοπόννησο, σημείο αναφοράς ελήφθη το υψόμετρο της Χ.Α. R84 της οδεύσεως R503, που έχει αφετηρία την R - 1 του παλιρροιογράφου του Πειραιά.

4.3. Η ίδια εργασία έγινε και για το χωροσταθμικό δίκτυο 1ης τάξεως της χώρας των περιοχών Στερεάς Ελλάδας - Ηπείρου - Θεσσαλίας - Μακεδονίας - Θράκης. Κατ' αυτή δημιουργήθηκε σύστημα 23 γραμμικών εξισώσεων με 75 αγνώστους, της ίδιας μορφής όπως περιγράφηκε για την Πελοπόννησο και επιλύθηκε κατά τον ίδιο τρόπο.

4.3.1. Ως σημείο αναφοράς των υψομέτρων ελήφθη ο παλιρροιογράφος του Πειραιά με υψόμετρο  $H_0 = 14,66470 \text{ m}$ .

4.5. Ομοια εργασία έγινε και για το χωροσταθμικό δίκτυο της Κρήτης. Ως σημείο αναφοράς των υψομέτρων λήφθηκε ο παλιρροιογράφος του Ηρακλείου, με υψόμετρο:

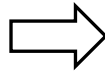
$H = 0,40692 \text{ m}$

# Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;

A. ANTONOPOULOS – A.M. AGATZA-BALODIMOU – D. PARADISSIS



Towards the definition of a new height system  
of reference for the Hellenic area



## 4. – EXISTING VERTICAL CONTROL NETWORKS AND TIDE GAUGES

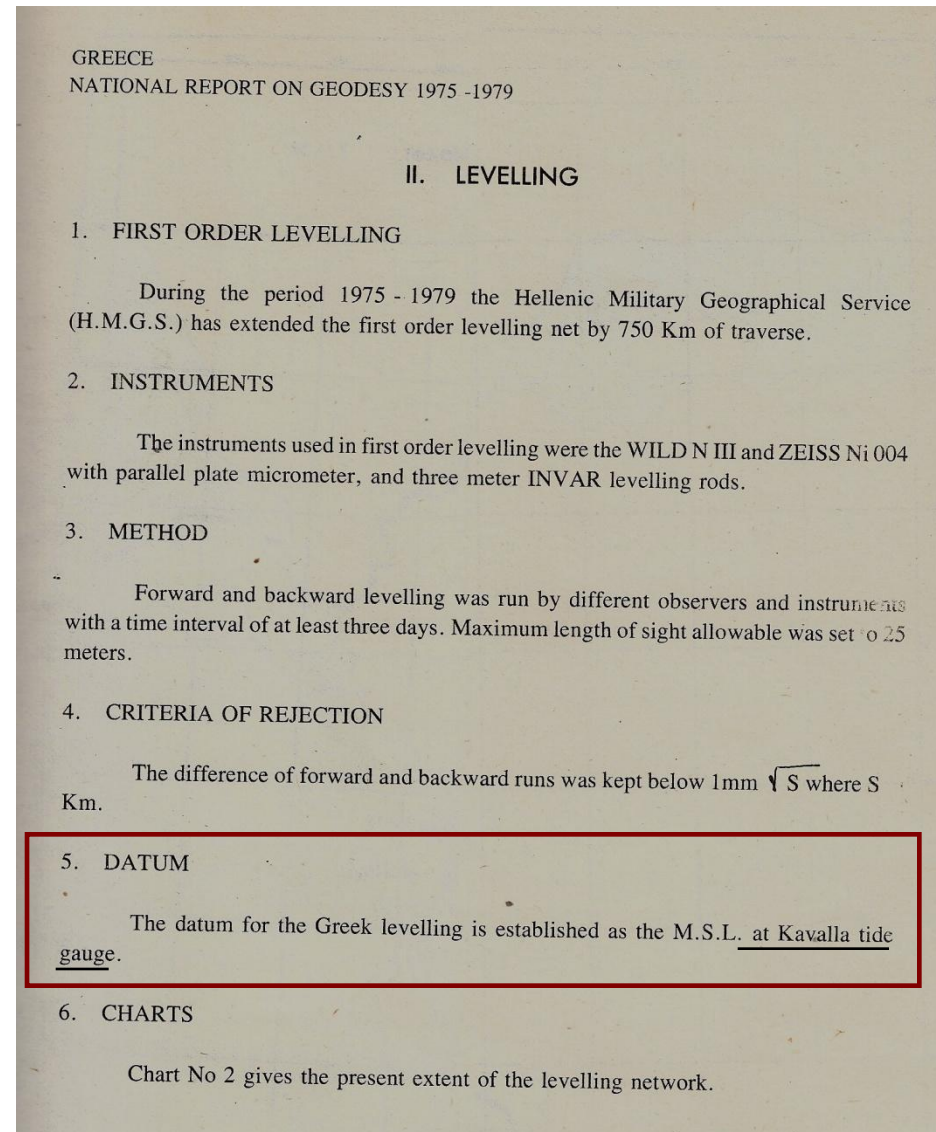
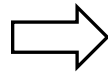
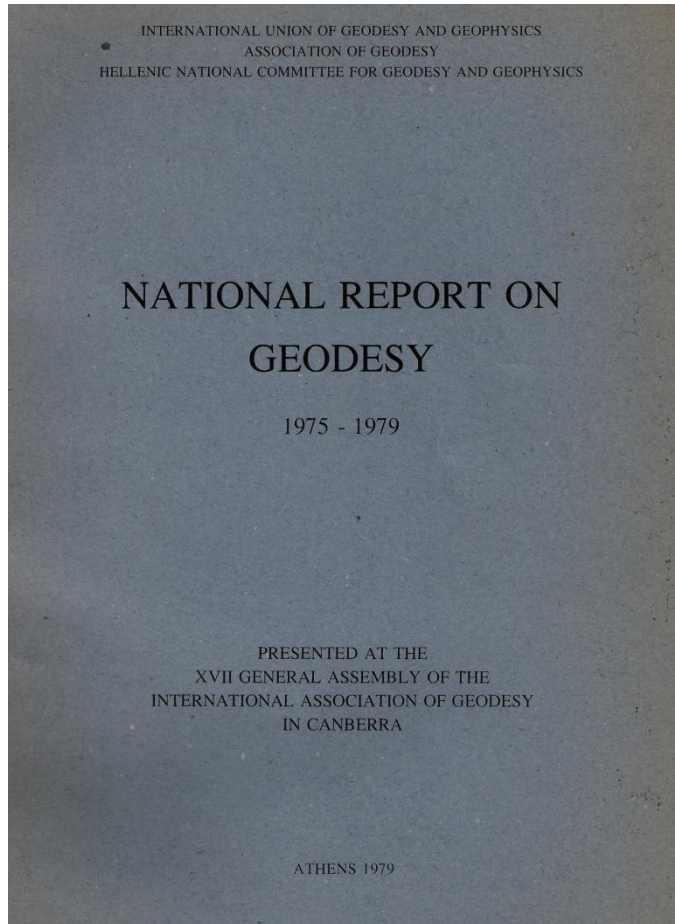
In Greece, «precise heights» are provided by the adjustment of the 1st and 2nd Order Levelling Networks designed in loops or open traverses, and having total lengths of about 10500 km and 5000 km, respectively. The former separately covers continental Greece (including Peloponnese) and Crete, while the latter spreads in continental Greece and some major islands (Rhodes, Lesbos etc.). Levelling lines follow the (old main) roadways of the country and are realized by bench marks at 1 km separations (Takos, 1989).

Heights have also been given to other points of high elevation, throughout the country, by the less precise method of trigonometric levelling.

The official height system is Helmert orthometric heights. The reference surface of these heights is given for continental Greece by M.S.L. of the period 1933-1978 at the port of Pireaus, for Crete by M.S.L. at the port of Heraklion (1955-1978), and for the other islands by the local M.S.L.



# Ποιο είναι το Ελληνικό vertical datum;

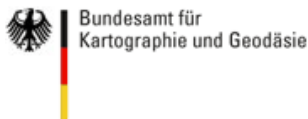


# Ποιο είναι (τελικά) το Ελληνικό vertical datum;

- Δεν υπάρχει ένα ομοιογενές vertical datum στην Ελλάδα
- Υπάρχουν χρήσιμα διαθέσιμα στοιχεία, σε αρκετές περιπτώσεις όμως είναι ιδιαίτερα ελλιπή
  - Ποια είναι η εποχή αναφοράς του;
  - Ποιο είναι το ακριβές χρονικό διάστημα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ΜΣΘ;
  - Πόσες συνορθώσεις και σε ποιές περιοχές/δίκτυα έγιναν;
  - Ποιά σημεία κρατήθηκαν σταθερά στις χωροσταθμικές συνορθώσεις για τον ορισμό του vertical datum; Υπάρχουν αυτά τα σημεία σήμερα; Τα σταθερά υψόμετρα τους ήταν ανεξάρτητα μεταξύ τους;
  - Έχουν εφαρμοσθεί παλιροροϊκές διορθώσεις στις μετρήσεις πεδίου;
- Ανάγκη σύνδεσης με άλλα υψομετρικά συστήματα αναφοράς!

# Χαρακτηριστικά του Ελληνικού Υψομετρικού Συστήματος Αναφοράς

- Δεν έχει επηρεαστεί από παραμορφώσεις λόγω **‘ταυτόχρονων δεσμεύσεων’** σε ξεχωριστούς παλιρροιογράφους αναφοράς
- Η επίδραση του πεδίου βαρύτητας λήφθηκε υπόψη για τον υπολογισμό ορθομετρικών υψομέτρων, **όχι όμως μέσω απευθείας μετρήσεων βαρύτητας** (εκτός από την περιοχή της Κρήτης)
- **Μη-διαθεσιμότητα** μετρήσεων GPS σε χωροσταθμικές αφετηρίες
- Υπάρχει **μεγάλη ασάφεια** σχετικά με τον τρόπο προσδιορισμού και το επίπεδο ακρίβειας των επίσημων υψομέτρων στο κρατικό τριγωνομετρικό δίκτυο
- **Πλήρης απουσία** από τις Ευρωπαϊκές και διεθνείς «γεωδαιτικές εξελίξεις» !



You are here: [Home](#) [CRS Description](#) [national CRS](#)

[back](#)

### Coordinate Reference Systems of Greece - GR

CRS Identifier	CRS Annotation	Select		
		Descr. of CRS	Descr. of Transf.	Online Transf.
<b>Position</b>				
GR_GGRS87 / GR_TM	Datum GGRS87 in Transverse Mercator Projection with special Greek parameters	<input type="checkbox"/>		

[History / Changes](#)

[National Mapping Agency / Source](#)

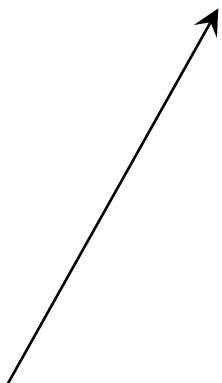
[back](#)

Hellenic Military Geographical Service  
Pedion Areos  
113 62 Athina

[to the top](#)

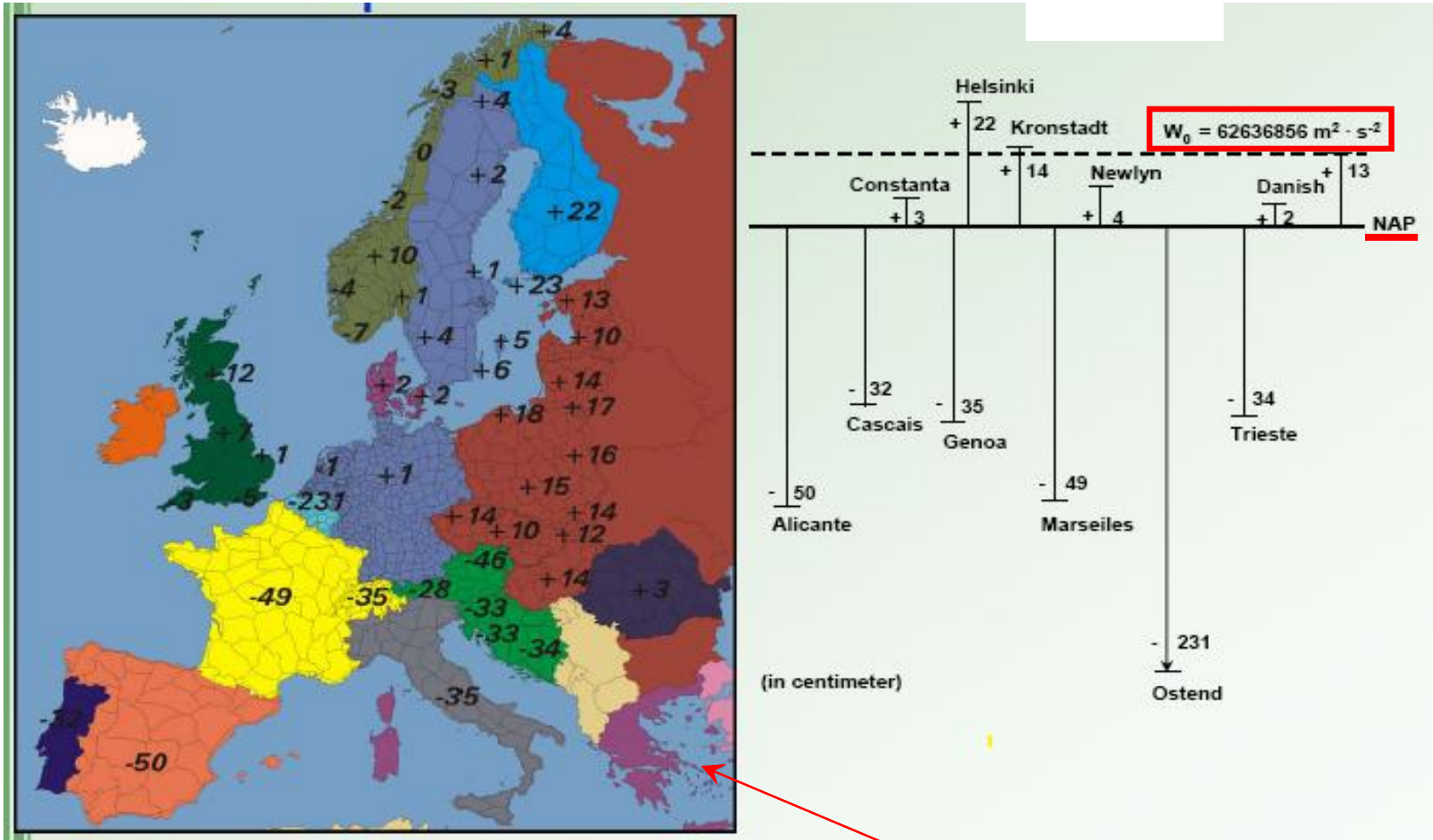
[to the top](#)

© CRS-EU 2010



Ελληνικό υψομετρικό σύστημα αναφοράς;

# Παράμετροι υψομετρικού μετασχηματισμού για διάφορα vertical datums στην Ευρώπη (ως προς το EVRF2000/NAP)

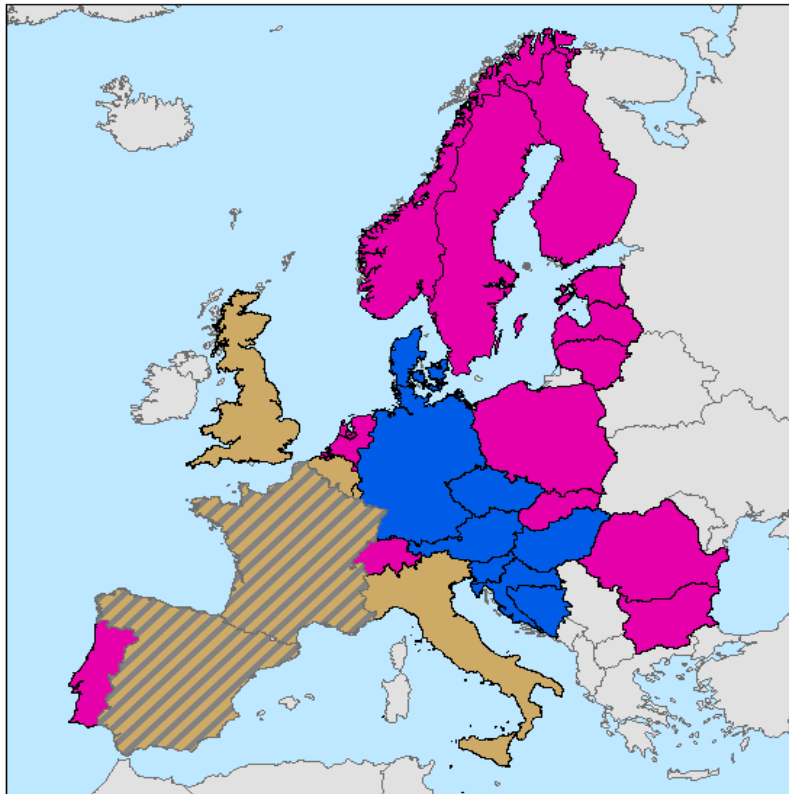






Differences between UELN heights and national heights in Europe (in cm)

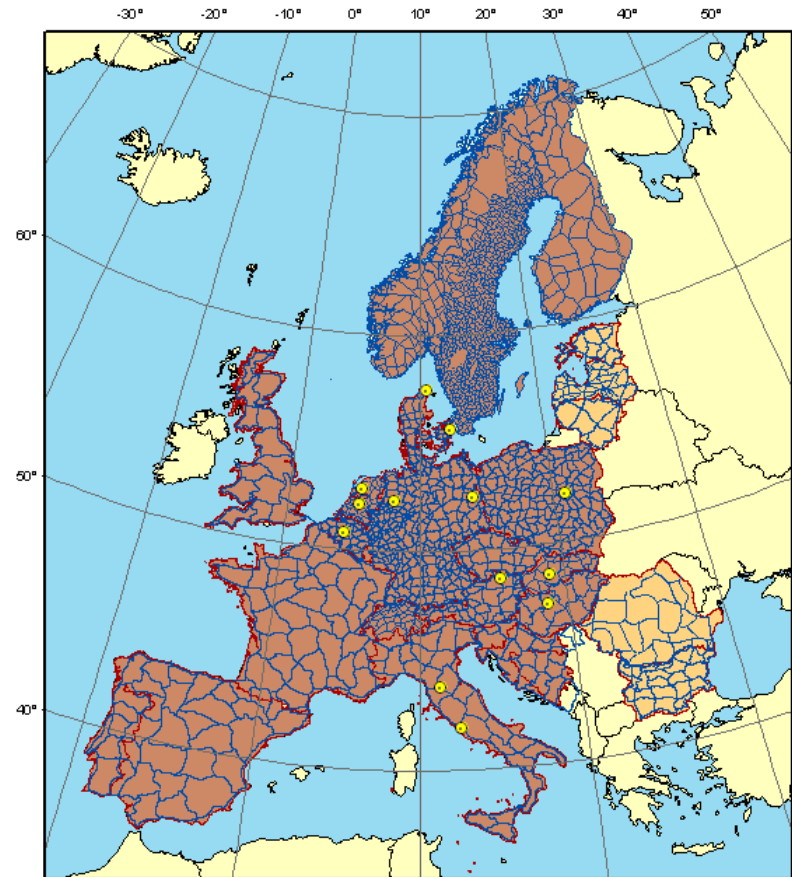


Πειραιάς, νησιά ?

# Η Ελλάδα δεν συμμετέχει στο ενιαίο Ευρωπαϊκό χωροσταθμικό δίκτυο (UELN) !



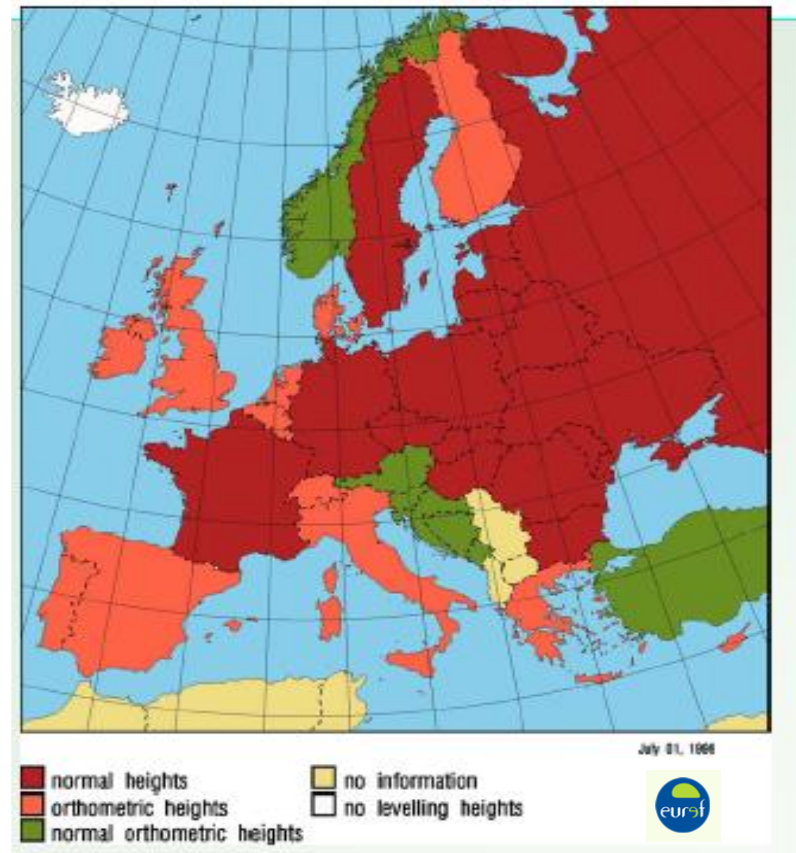
-  data part of UELN 73/86
-  data part of UELN 95/98
-  data provided after 1998
-  new data announced



## Extension of UELN

-  up to 1998
-  as from 2003
-  Datum points of EVRF2007
-  UELN lines

# Τι είδους υψόμετρα χρησιμοποιούνται στις διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες;



Η Ελλάδα χρησιμοποιεί ορθομετρικά υψόμετρα (Helmert type)

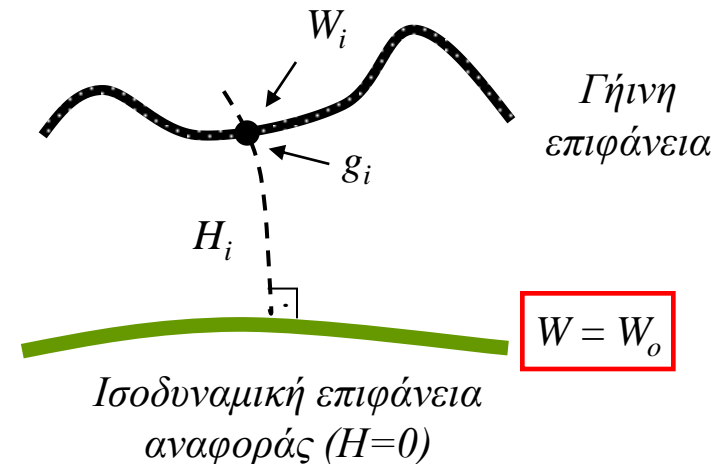


# Τι είναι ορθομετρικό υψόμετρο;

## Βασική σχέση υπολογισμού

(κατά Helmert)

$$H_i = \frac{W_o - W_i}{g_i + 0.0424H_i}$$



Η παράμετρος  $W_o$  ταυτοποιεί την επιφάνεια αναφοράς υψόμετρων & επιτρέπει τη σύνδεση με άλλα vertical datums

Δεν έχει προσδιορισθεί για το Ελληνικό ΥΣΑ  
(ούτε για την ηπειρωτική χώρα, ούτε για τα νησιά)



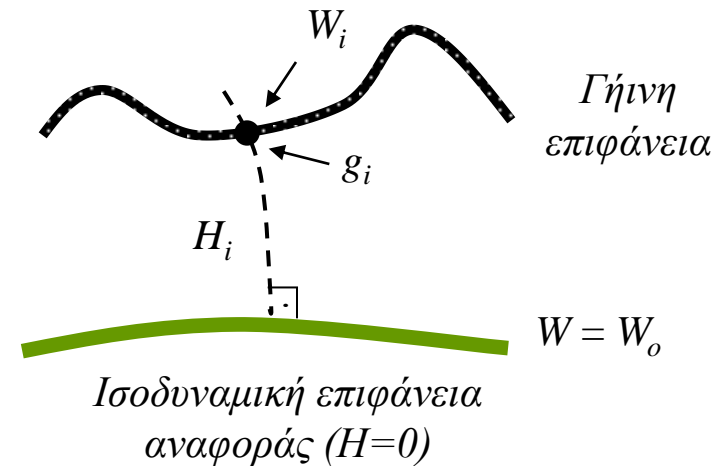


# Τι είναι ορθομετρικό υψόμετρο;

## Βασική σχέση υπολογισμού

(κατά Helmert)

$$H_i = \frac{W_o - W_i}{g_i + 0.0424H_i}$$



Η ΓΥΣ, αντί για μετροημένες τιμές επίγειας βαρύτητας, έχει χρησιμοποιήσει (κυρίως) έμμεσα υπολογισμένες τιμές μέσω παρεμβολής από χάρτες ανωμαλιών βαρύτητας.



# Διαγνωστικός έλεγχος ΥΣΑ

## Βασικό μοντέλο συνόρθωσης

(σε ένα δίκτυο σημείων ελέγχου)

$$H_i^{\text{ΓΥΣ}} = \frac{\underline{W}_o^{\text{ΓΥΣ}} - W_i}{g_i + 0.0424 H_i^{\text{ΓΥΣ}}} + \underline{e}_i$$

$W_i, g_i$ : γνωστές ποσότητες μέσω EGM08 και των 3Δ γεωμετρικών συντεταγμένων του σημείου  $i$

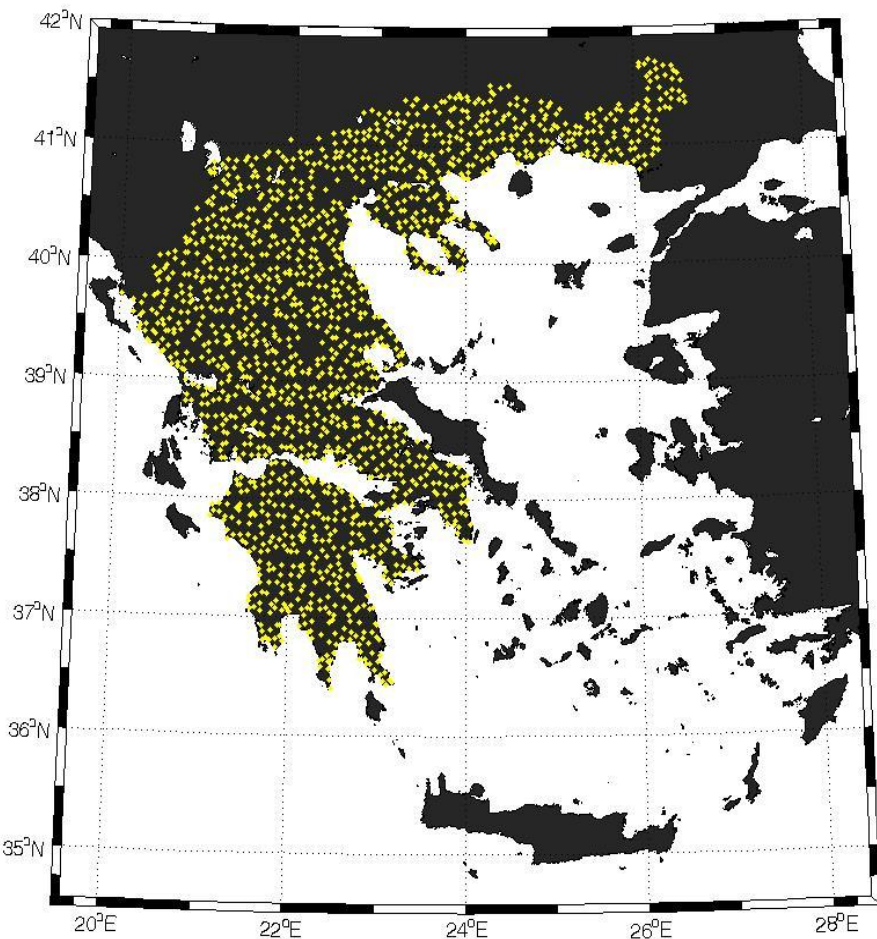
$W_o^{\text{ΓΥΣ}}$ : **άγνωστη παράμετρος** που προσδιορίζει την επιφάνεια αναφοράς των ορθομετρικών υψομέτρων

$e_i$ : **άγνωστο σφάλμα** που περιγράφει την εξωτερική ακρίβεια ορθομετρικών υψομέτρων ως προς το EGM08

# Αποτελέσματα



# Δίκτυο σημείων ελέγχου



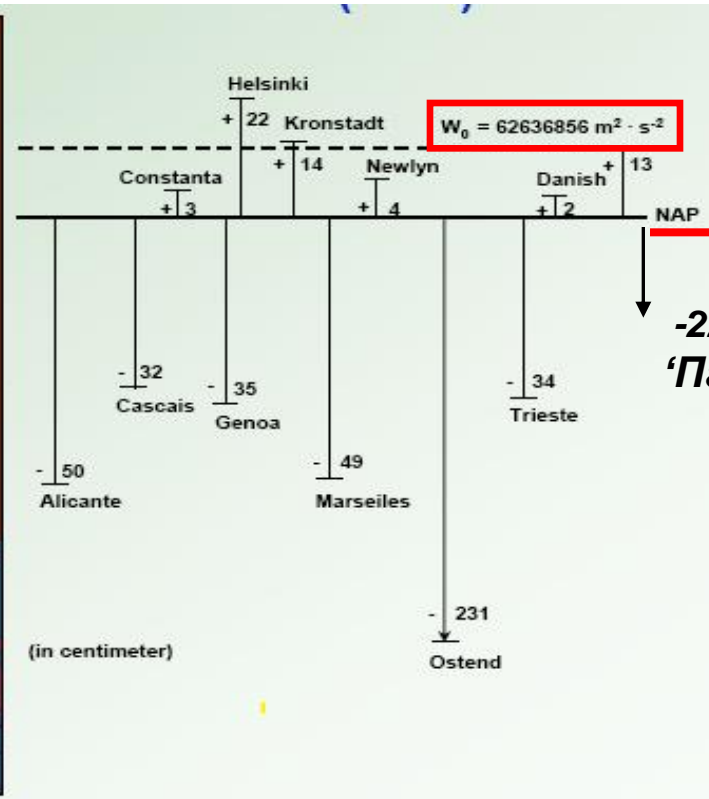
- **1525 τριγωνομετρικά σημεία**  
(σε ηπειρωτική Ελλάδα)
- **X, Y, Z – ITRF00, t=2007.236**  
(από HEPOS/GPS campaign)
- **ορθομετρικά υψόμετρα**  
(από Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού)
- **‘Προβληματικά’ & ‘ύποπτα’**  
σημεία έχουν αφαιρεθεί εξαρχής  
από τους υπολογισμούς



# Αποτελέσματα (1)

$$W_0^{\GammaΥΣ} = 62636859.46 \pm 0.04 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

επιφάνεια αναφοράς ορθομετρικών υψομέτρων για ηπειρωτική Ελλάδα

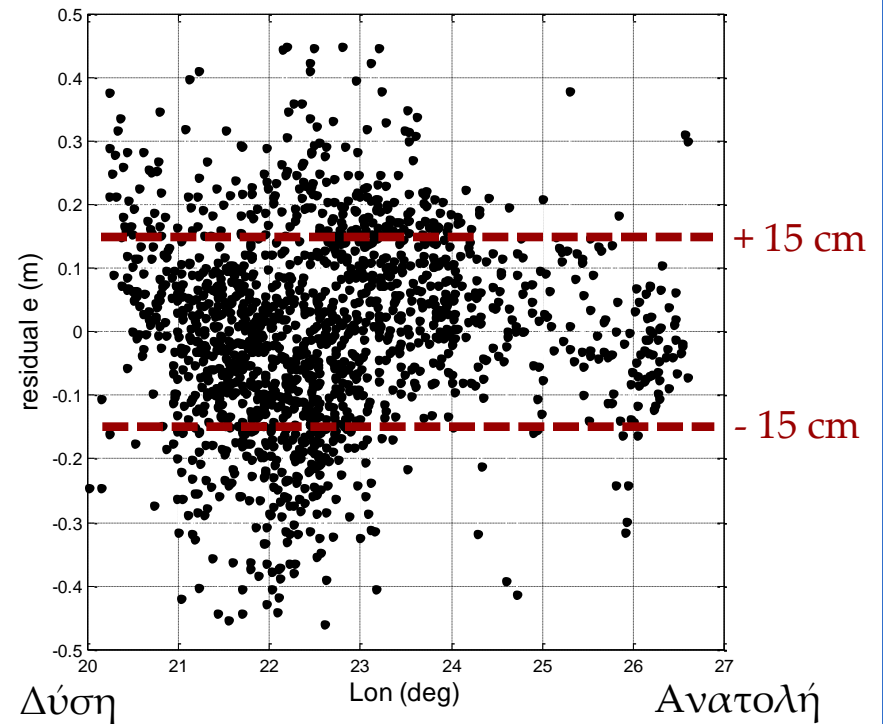
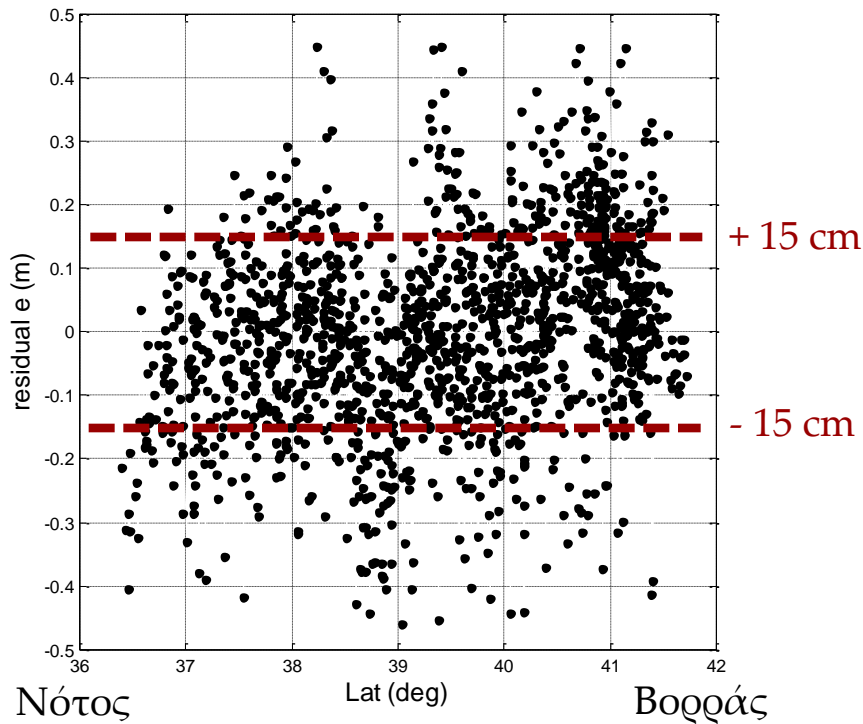




# Αποτελέσματα (2)

Συνορθωμένα σφάλματα  $\{e_i\}$  των ορθομετρικών υψομέτρων ΓΥΣ ως προς το EGM08

**max: 45.1 cm     min: -46.0 cm     mean: 0 cm      $\sigma$ : 15.2 cm**

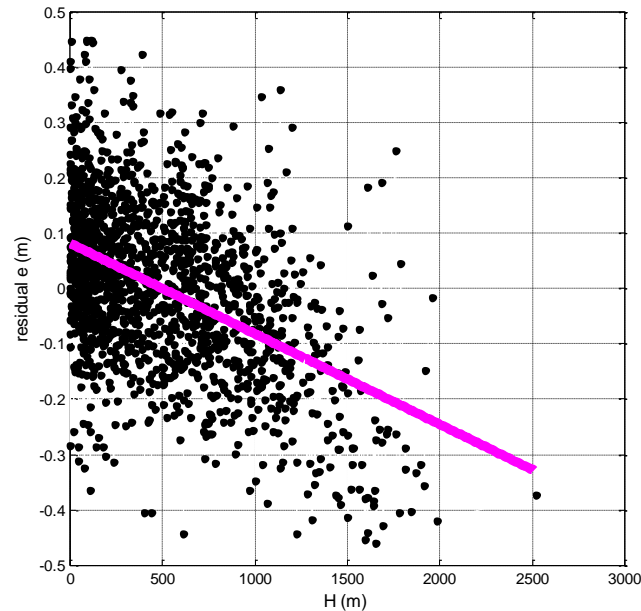
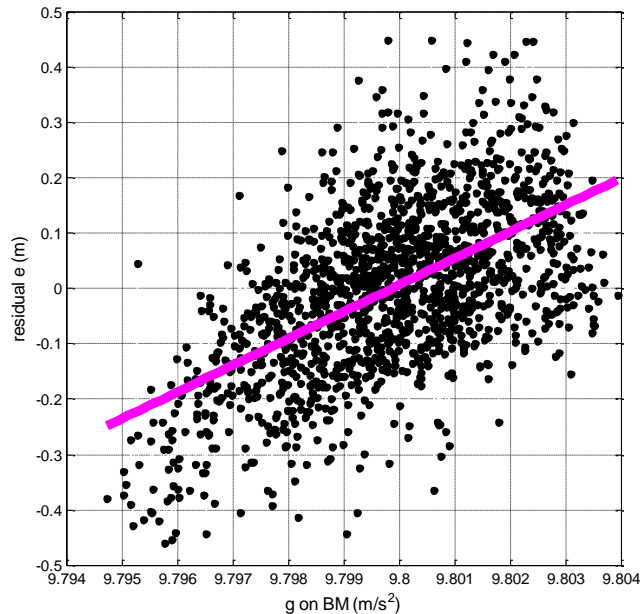




# Αποτελέσματα (3)

Συνορθωμένα σφάλματα  $\{e_i\}$  των ορθομετρικών υψομέτρων ΓΥΣ ως προς το EGM08

max: 45.1 cm    min: -46.0 cm    mean: 0 cm     $\sigma$ : 15.2 cm



Στα σφάλματα αυτά φαίνεται να υπάρχει ένα συστηματικό μέρος που εξαρτάται από το πεδίο βαρύτητας και το ανάγλυφο του εδάφους!



# Αποτελέσματα (4)

Συνορθωμένα σφάλματα  $\{e_i\}$  των ορθομετρικών υψομέτρων ΓΥΣ ως προς το EGM08

max: 45.1 cm    min: -46.0 cm    mean: 0 cm     $\sigma$ : 15.2 cm

Εκτίμηση απόλυτης ακρίβειας των ορθομετρικών υψομέτρων ΓΥΣ στα τριγωνομετρικά σημεία

$$\sigma_{\{e_i\}}^2 = \sigma_h^2 + \sigma_{N^{EGM08}}^2 + \sigma_{H^{\GammaΥΣ}}^2$$

$$\sigma_h \approx 4-6 \text{ cm}$$

$$\sigma_{N^{EGM08}} \approx 8-12 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\{e_i\}}^2 \approx 15 \text{ cm}$$



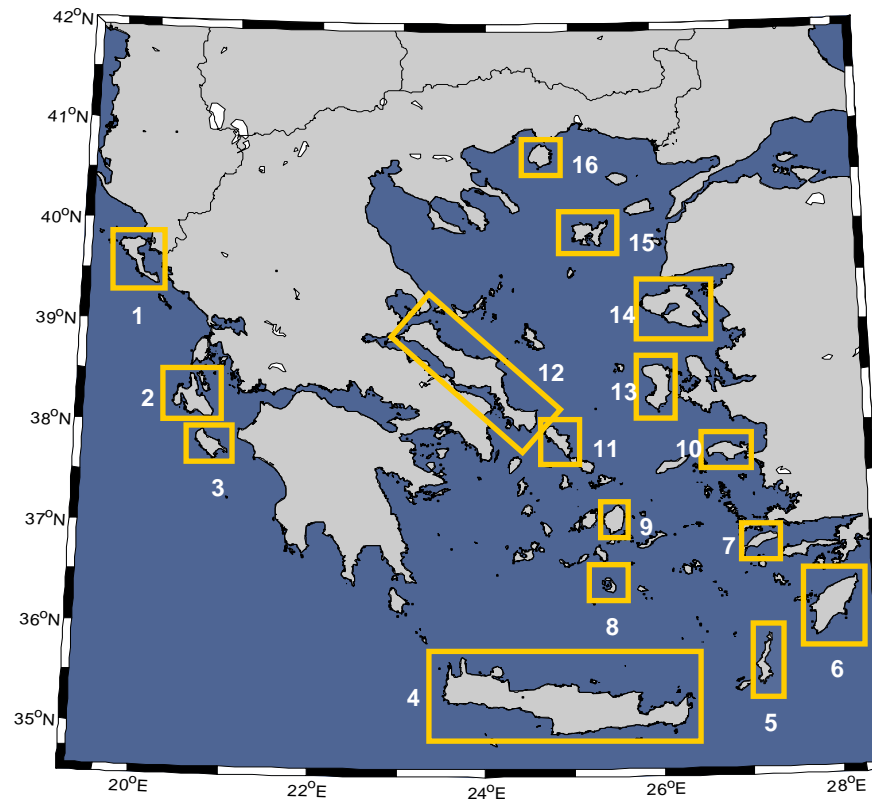
$$\sigma_{H^{\GammaΥΣ}} \approx 7-12 \text{ cm}$$





# Αποτελέσματα (5)

Αντίστοιχη ανάλυση έχει ήδη πραγματοποιηθεί και σε 16 νησιά της Ελλάδας





# Συμπεράσματα

- Ένα ενιαίο υψομετρικό σύστημα αναφοράς (ΥΣΑ) αποτελεί **απαραίτητο εργαλείο** για την μελέτη και επεξεργασία γεωχωρικών πληροφοριών
- Η **ποιότητα του υφιστάμενου Ελληνικού ΥΣΑ** έχει κυρίως ελεχθεί μέσω μετρήσεων GPS σε τριγωνομετρικά σημεία (και όχι σε χωροσταθμικές αφετηρίες!)
- **Ανάγκη λεπτομερούς μελέτης για τη βιωσιμότητα και δια-λειτουργικότητα** του Ελληνικού ΥΣΑ (πρωτοβουλία ΟΚΧΕ εν εξελίξει...)
  - Βελτιωτικός εκσυγχρονισμός ή πλήρης αναθεώρηση;
  - 'Χωροστάθμηση με GPS'
  - Υψομετρική ενοποίηση ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά
  - Συμβατότητα με άλλα υψομετρικά δεδομένα & ΥΣΑ (π.χ. DTMs, EVRS)

# Ευχαριστούμε για την προσοχή σας!

**Χ. Κωτσάκης**

✉: [kotsaki@topo.auth.gr](mailto:kotsaki@topo.auth.gr)

**Κ. Κατσάμπαλος**

✉: [kvek@topo.auth.gr](mailto:kvek@topo.auth.gr)

**Μ. Ζουλίδα**

✉: [mzoulida@topo.auth.gr](mailto:mzoulida@topo.auth.gr)

**Δ. Τερζόπουλος**

✉: [dterzop@topo.auth.gr](mailto:dterzop@topo.auth.gr)