



**ModernGravNet**

Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας  
Modernization of the Hellenic Gravity Network

*Ημερίδα “Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας”  
22 Δεκεμβρίου 2022*

# Το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς Υψομέτρων

ΓΣ Βέργος

GravLab, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



**GRAV  
LAB**



**ΕΛΙΔΕΚ.**  
Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

- **Τί είναι υψόμετρο**
- **Πού χρειάζεται η υψομετρία;**
- **Τί είδους υψόμετρα μπορώ να προσδιορίσω;**
- **Τί είναι ένα κατακόρυφο σύστημα αναφοράς;**
- **Γιατί χρειαζόμαστε ένα παγκόσμιο κατακόρυφο σύστημα αναφοράς;**
- **Το IHRS/IHRF**

- Την έννοια της υψομετρίας την χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή
- Για να απαντήσουμε στο ερώτημα «πόσο ψηλά ή χαμηλά βρίσκομαι»



© <https://www.bbc.co.uk/newsround/54120143>

- Συνεπώς τα υψόμετρα είναι σχετικά και απόλυτα
  
- Σχετικά με κάποια «αρχή»
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Απόλυτα σε σχέση με κάποια επιφάνεια αναφοράς

- **Συνεπώς τα υψόμετρα είναι σχετικά και απόλυτα**
  
- **Σχετικά με κάποια «αρχή»**  
*Για παράδειγμα, βρίσκομαι σε υψόμετρο 5 m από το έδαφος*
  
- **Απόλυτα σε σχέση με κάποια επιφάνεια αναφοράς**  
*Πρέπει να αναφέρω τα υψόμετρά μου σε σχέση με μια σταθερή (στάσιμη), και καλά ορισμένη επιφάνεια αναφοράς*

- Σε καθημερινές
- Σε τοπογραφικές, γεωδαιτικές, χαρτογραφικές, γεω-εφαρμογές

- Σε καθημερινές

*Ποιο είναι το ύψος μου;*

*Σε τί ύψος είναι το μπαλκόνι του σπιτιού μου από το έδαφος;*

*Ποιο είναι το υψόμετρο του Έβερεστ;*

- Σε τοπογραφικές, γεωδαιτικές, χαρτογραφικές, γεω-εφαρμογές

- Σε καθημερινές

*Ποιο είναι το ύψος μου;*

*Σε τί ύψος είναι το μπαλκόνι του σπιτιού μου από το έδαφος;*

*Ποιο είναι το υψόμετρο του Έβερεστ;*

- Σε τοπογραφικές, γεωδαιτικές, χαρτογραφικές, γεω- εφαρμογές

*Υψομετρικές αποτυπώσεις*

*Κατασκευή ισοϋψών καμπυλών*

*Μεγάλα τεχνικά έργα (οδοποιία, αγωγοί, κ.λπ.)*

*Ποιο είναι το υψόμετρο του Έβερεστ;*



© Hindu Business Line

<https://www.youtube.com/watch?v=eGL3YrjHy6U>



- Στη γεωδαισία υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υψομέτρων

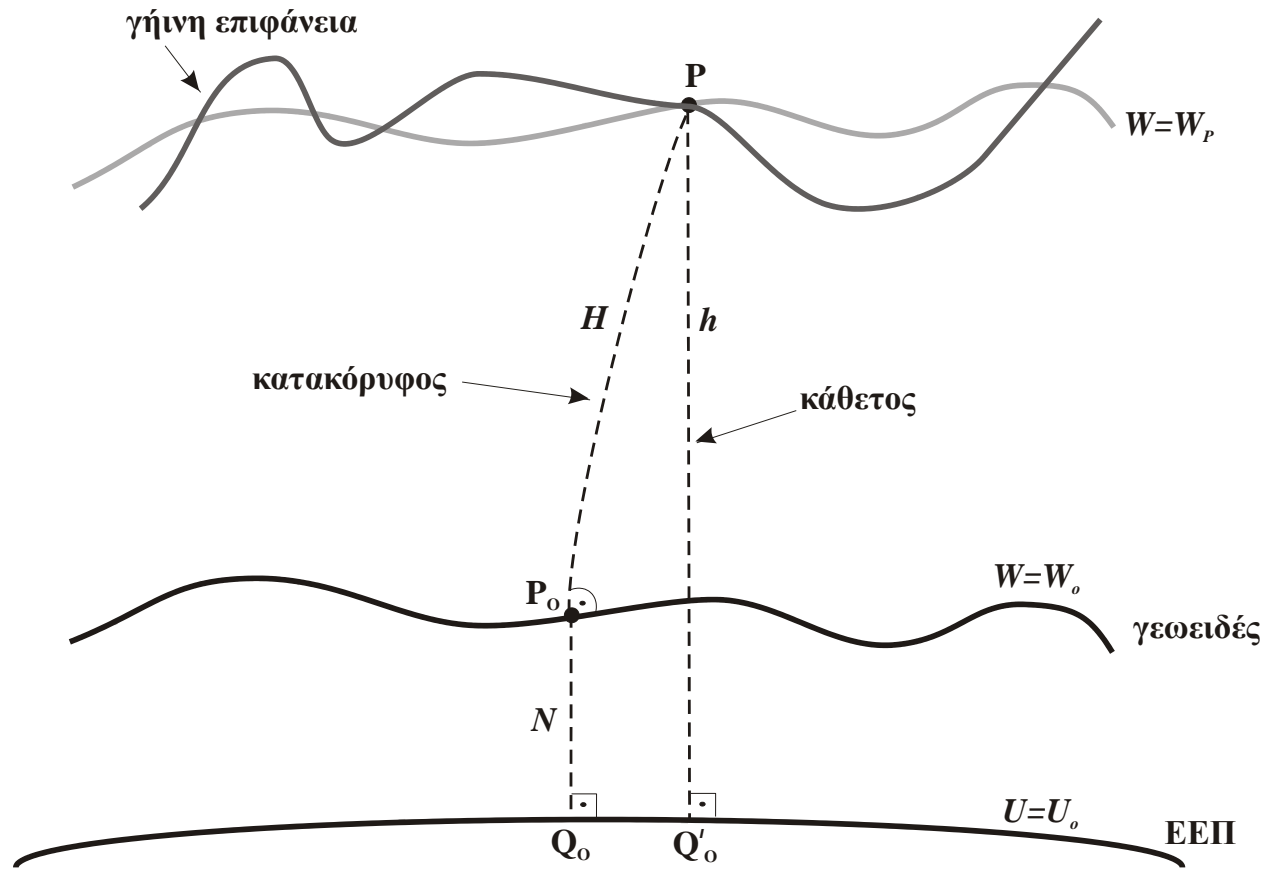
- Στη γεωδαισία υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υψομέτρων
- **Γεωμετρικά**  
*Σε σχέση με κάποια γεωμετρική επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ)*
- **Δυναμικά**  
*Σε σχέση με τη δυναμική Γη, δλδ. σχετίζονται με το πεδίο βαρύτητας της Γης*

- Στη γεωδαισία υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υψομέτρων
  - Γεωμετρικά
    - Σε σχέση με κάποια γεωμετρική επιφάνεια αναφοράς (ΕΕΠ)
  - Προσδιορίζονται με τεχνικές GNSS
    - ✓ Πολύ καλή ακρίβεια προσδιορισμού ( $\sim$  mm – cm)
    - ✓ Ταχύτητα
    - ✗ Δεν έχουν φυσική σημασία

# Τί είδους υψόμετρα μπορώ να προσδιορίσω;

- Στη γεωδαισία υπάρχουν δύο βασικοί τύποι υψομέτρων
- **Δυναμικά**  
*Σε σχέση με τη δυναμική Γη, δηλ. σχετίζονται με το πεδίο βαρύτητας της Γης*
- Προσδιορίζονται με Γεωμετρική Χωροστάθμιση και παρατηρήσεις βαρύτητας
- ✓ Πολύ καλή ακρίβεια προσδιορισμού ( $\sim$  mm – cm)
- ✓ Έχουν φυσική σημασία  $\rightarrow$  δείχνουν τη ροή του νερού
- ✗ Ταχύτητα

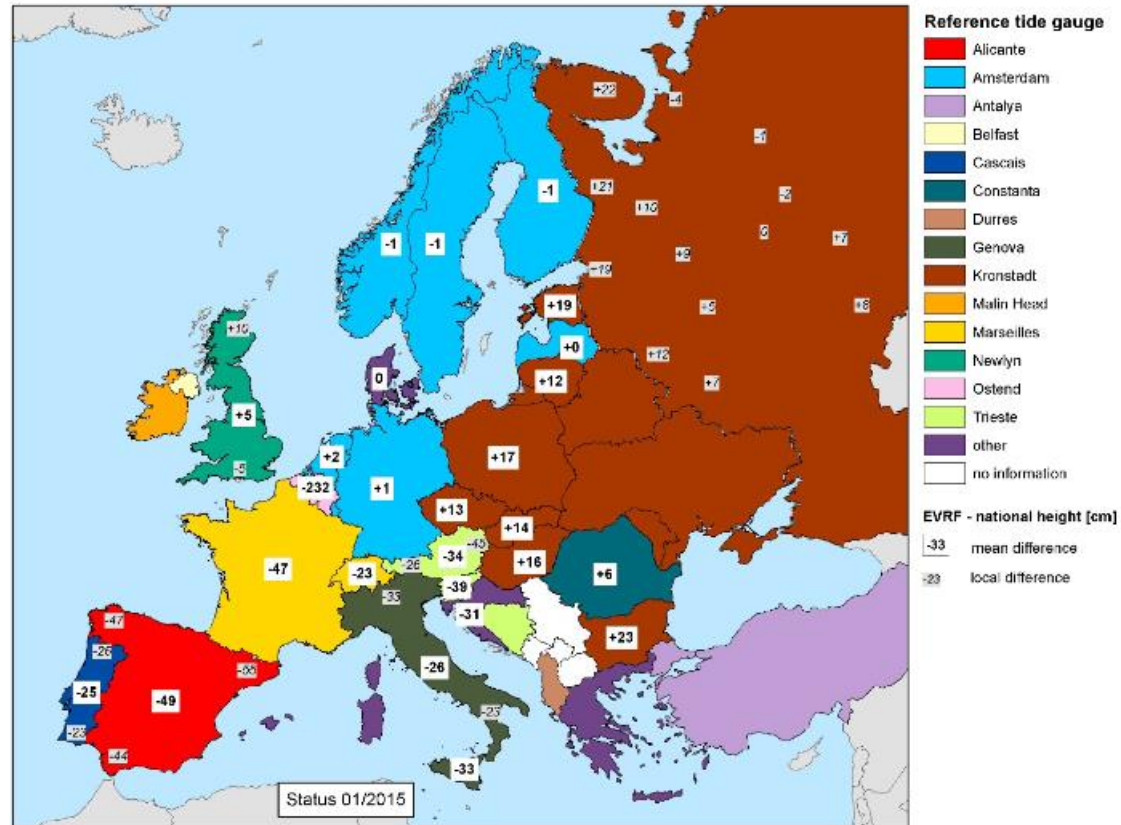
# Τί είδους υψόμετρα μπορώ να προσδιορίσω;



Οι βασικές επιφάνειες στο πρόβλημα του Stokes και βασικοί τύποι υψομέτρων

- Ένα κατακόρυφο σύστημα αναφοράς και ένα πλαίσιο αναφοράς αναφέρονται στην ουσία στις **συμβάσεις** για τον προσδιορισμό υψομέτρων και στην **υλοποίηση** των συμβάσεων αυτών μέσω προσδιορισμού υψομέτρων της επιφάνειας της Γης
- Στις περισσότερες χώρες υλοποιείται σε σχέση με κάποιο αρχικό σημείο
- Συνήθως παλιρροιογράφος (στην Ελλάδα ο παλιρροιογράφος της ΥΥ στον Πειραιά)
- Σε σχέση με το «μηδέν» του παλιρροιογράφου → ΜΣΘ

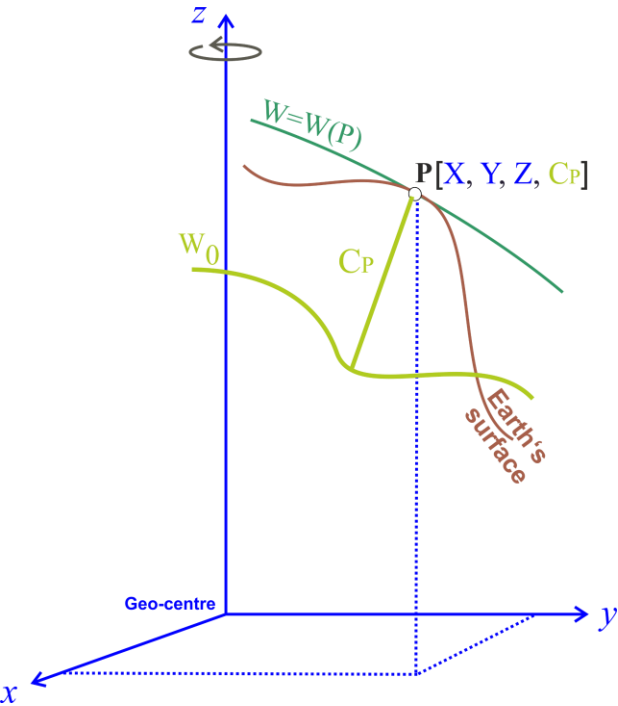
- Η κάθε χώρα υλοποιεί το δικό της ΚΣΑ



© Sacher |EVRS – EGU2019| 08.04.2019

- Η κάθε χώρα υλοποιεί το δικό της ΚΣΑ
- Δεν υπάρχει σύνδεση των ΚΣΑ μεταξύ των χωρών
- Χώρες όπως η Ελλάδα με πολλά νησιά δεν έχουν σύνδεση του ΚΣΑ κάθε νησιού με το Εθνικό ΚΣΑ
- Προβλήματα στην υλοποίηση μεγάλων έργων υποδομής
- Μεγάλη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό υψομέτρων





- **Στόχος:** να υπολογιστεί ένα παγκόσμιο κατακόρυφο σύστημα αναφοράς που θα παρέχει φυσικά υψόμετρα σε παγκόσμιο κλίμακα και με μεγάλη ακρίβεια

- **Αρχή:** Προσδιορισμός του δυναμικού της βαρύτητας  $W$  σε σταθμούς με θέση  $[X, Y, Z]$  στο ITRF

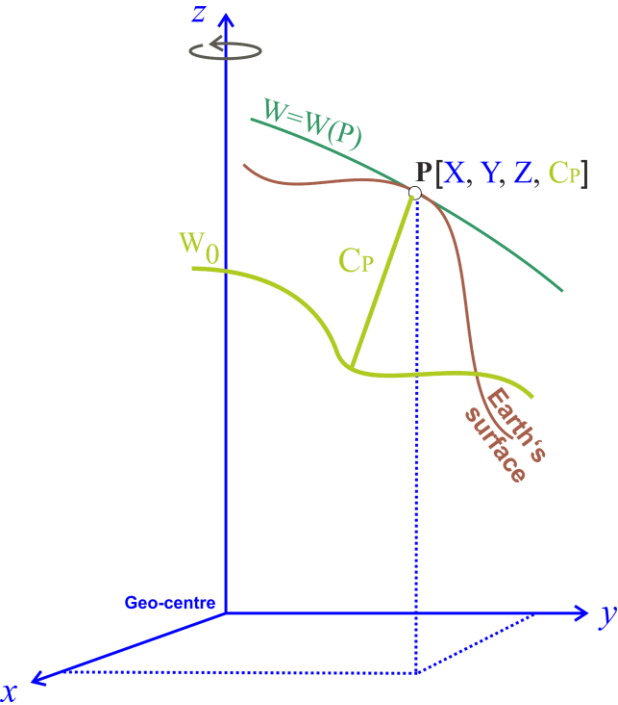
- **Βασική κατακόρυφη συντεταγμένη:** Γεωδυναμικοί αριθμοί σε σχέση με ένα παγκόσμιο  $W_0$

$$C_P = W_0 - WP$$

και διαχρονικές μεταβολές  $\dot{W}_P$

© Sanchez et al. | IHRF – EGU2022 |  
EGU2022-2523

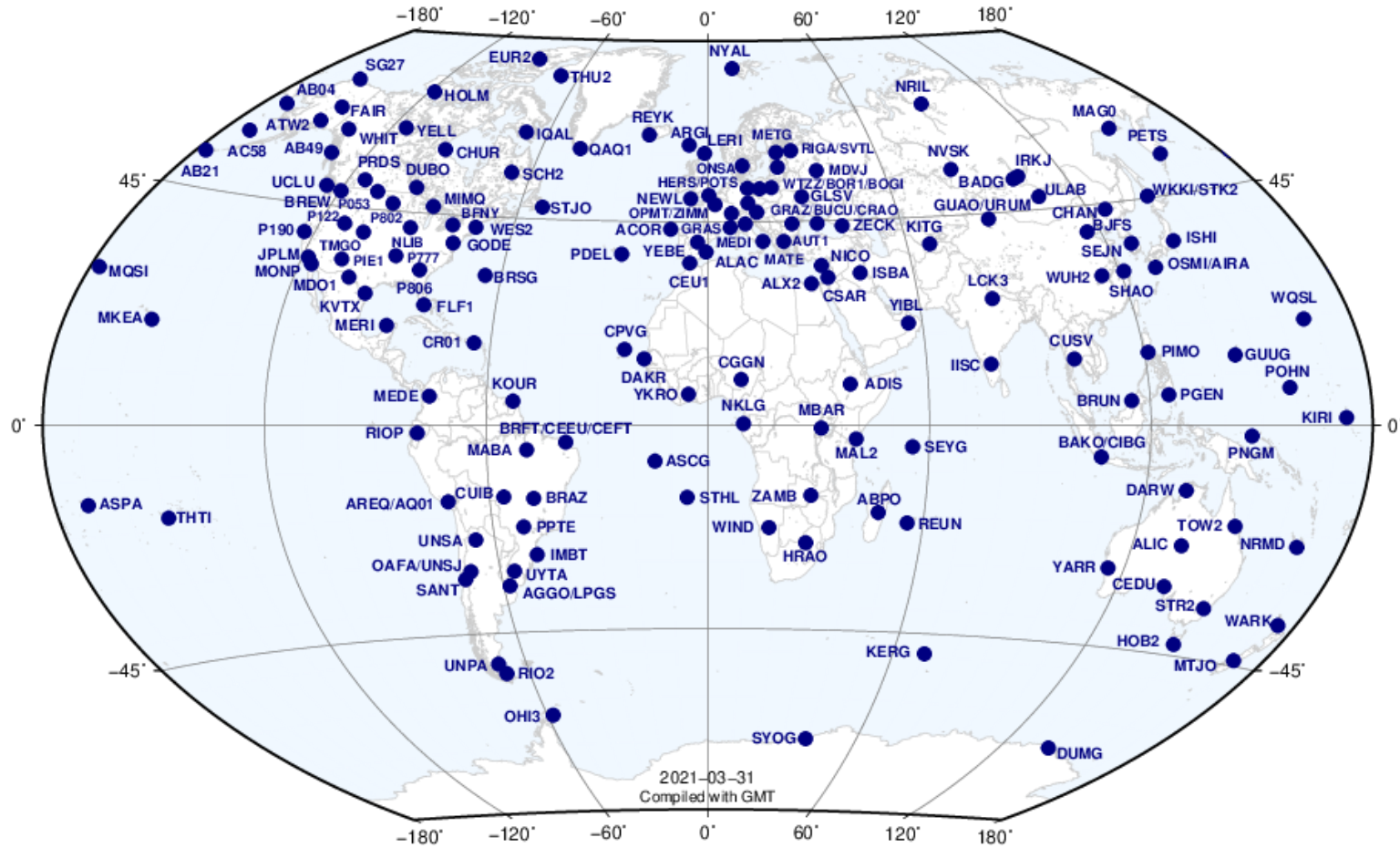
- Το **IHRF** υλοποιεί ουσιαστικά το **IHRF**



© Sanchez et al. | IHRF – EGU2022 |  
EGU2022-2523

- Μέσω εγκατάστασης σταθμών στην επιφάνεια της Γης
- **Μαθηματικά:** μέσω του υψηλής ακρίβειας υπολογισμού τιμών του γεωδυναμικού  $W_P$  στους σταθμούς του IHRF
- **Πρόκληση:** να καταφέρουμε να φτάσουμε σε προσδιορισμό ακρίβειας 1 cm [ $\sim 0.1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ] σε παγκόσμια κλίμακα

# To IHRS/IHRF



© Sanchez et al. | IHRS – EGU2022 |  
EGU2022-2523

Οι κατακόρυφες συντεταγμένες είναι **διαφορές δυναμικού** σε σχέση με μια παγκόσμια τιμή αναφοράς για το  $W_0$  (IAG2015):

$$C_p = C(P) = W_0 - W(P) = -\Delta W(P) \rightarrow H = C(P)/\gamma$$

$$W_0 = \text{const.} = 62\,636\,853.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$$

Η θέση του κάθε σημείου  $P$  δίνεται στο ITRF

$$\mathbf{X}_P (X_P, Y_P, Z_P); \text{ i.e., } W(P) = W(\mathbf{X}_P)$$

Η εκτίμηση των  $\mathbf{X}(P)$ ,  $W(P)$  (ή  $C(P)$ ) περιλαμβάνει **και** τη μεταβολή τους με τον χρόνο, δηλαδή,  $\dot{\mathbf{X}}(P)$ ,  $\dot{W}(P)$  (ή  $\dot{C}(P)$ ).

Οι (3Δ) συντεταγμένες δίνονται στο μέσο σύστημα παλιρροιών (μέσος-μηδενικός στερεός φλοιός της Γης)

Μέσω παγκόσμιων γεωδυναμικών μοντέλων μεγάλου d/o

$$W(X, Y, Z) = \frac{GM}{r} \left[ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n [C_{nm} \cos m \lambda + S_{nm} \sin m \lambda] P_{nm}(\cos \theta) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos(90^\circ - \theta)$$

Μέσω τοπικών/περιφερειακών μοντέλων γεωειδούς (γεωειδές/σχεδόν-γεωειδές)

$$W(P) = U(P) + T(P) \quad [\text{m}^2\text{s}^{-2}]$$

$$\text{Σχεδόν-Γεωειδές } W(P) = U(P) + \zeta(P) \cdot \gamma_Q + \Delta W_0 \quad [\text{m}^2\text{s}^{-2}] \rightarrow W(P) = W_0 - (h(P) - \zeta(P)) \cdot \bar{\gamma}_{Q_0} \quad [\text{m}^2\text{s}^{-2}]$$

$$\text{Γεωειδές } W(P) = W_0 - (h(P) - N(P)) \cdot \bar{g}(P) \quad [\text{m}^2\text{s}^{-2}] \text{ with}$$

$$\bar{g}(P) = g(P) + 0.424 \times 10^{-6} \cdot (h(P) - N(P)) + TC(P) \quad [\text{ms}^{-2}]$$

**Ενοποίηση** τοπικών κατακόρυφων συστημάτων αναφοράς στο IHRF (Sánchez and Sideris (2017))

$$W(P) = (W_0^{local} + \delta W) - C_P^{local} \quad \text{with} \quad \delta W = W_0^{IHRF} - W_0^{local}$$

ΗΠΑ (30 Σταθμοί):  
Μέση ακρίβεια  $0.45 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

Καναδάς (11 σταθμοί):  
Μέση ακρίβεια  $0.35 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

Ευρώπη (40 σταθμοί):  
Μέση ακρίβεια  $0.50 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

Ιαπωνία (5 σταθμοί):  
Μέση ακρίβεια  $0.57 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

Μεξικό (1 σταθμός):  
Μέση ακρίβεια  $2.0 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

Αυστραλία (6 σταθμοί):  
Μέση ακρίβεια  $0.62 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

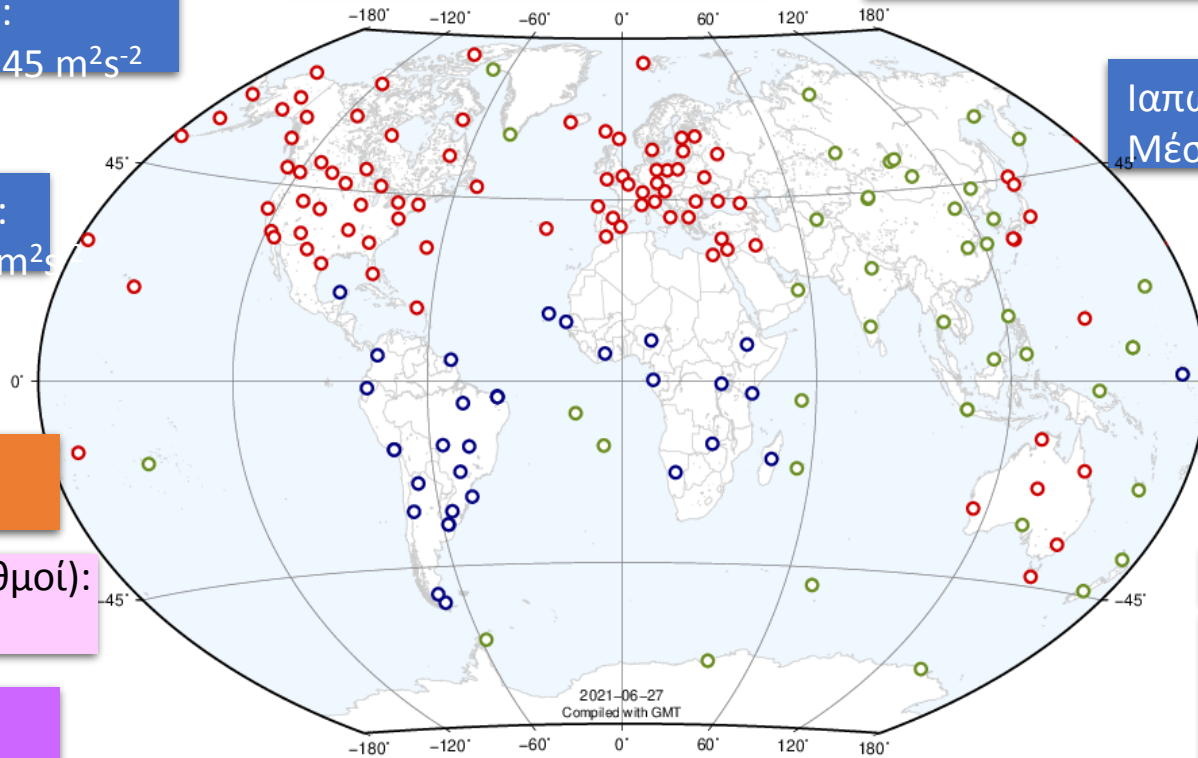
Σε εξέλιξη:  
Αξιολόγηση ακρίβειας

Νότια Αμερική (22 σταθμοί):  
Μοντέλο GEOIDE2021

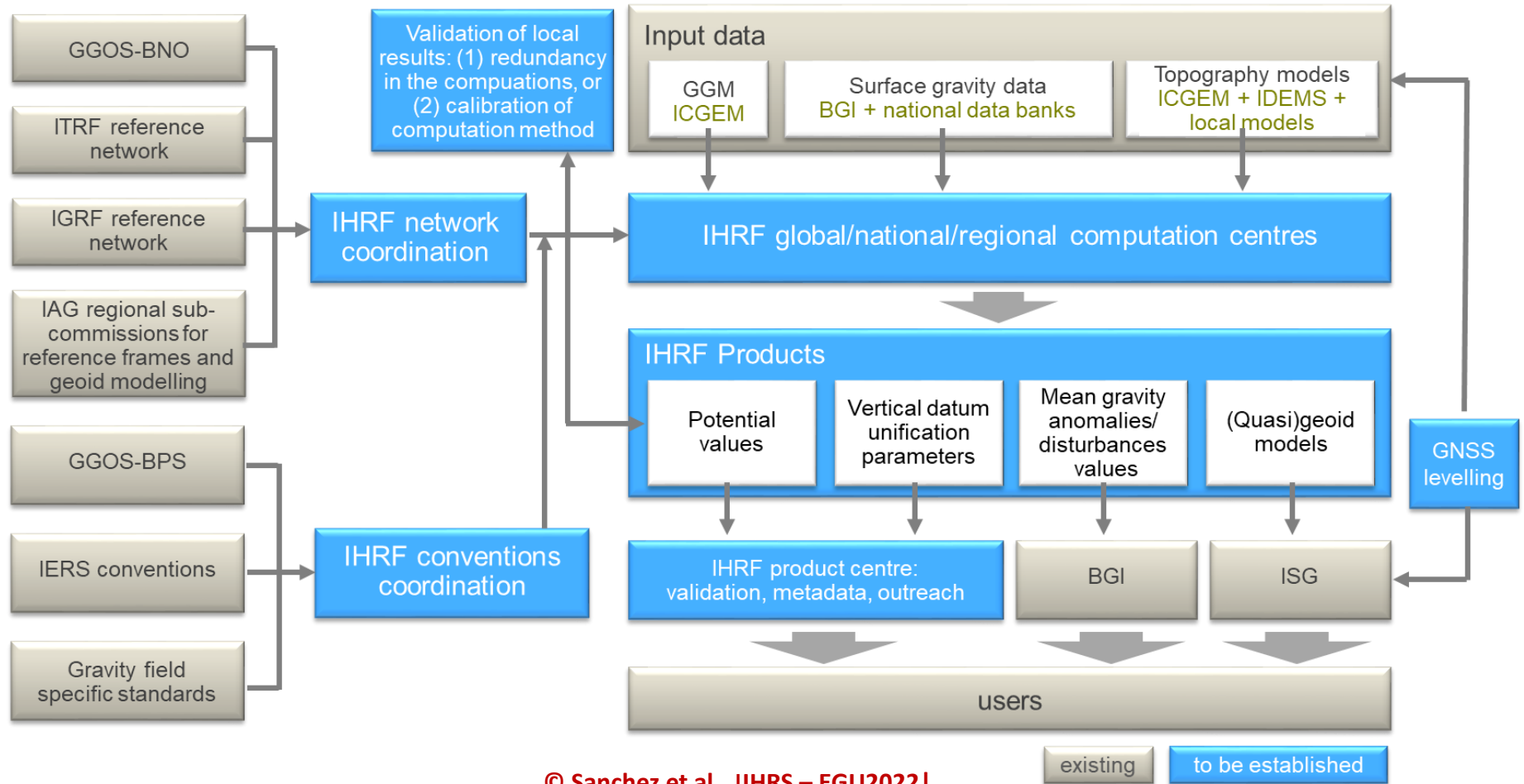
Αφρική (13 σταθμοί):  
Μοντέλο AFRgeo2019

Σε εξέλιξη

Ασία και Ωκεανία:  
Μέσω γεωδυναμικών  
μοντέλων ή/και  
μοντέλων γεωειδούς  
από το ISG



© Sanchez et al. | IHRIS – EGU2022 |  
EGU2022-2523 (με προσαρμογή)



© Sanchez et al. |IHRS – EGU2022|  
EGU2022-2523 (με προσαρμογή)



**ModernGravNet**

Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας  
Modernization of the Hellenic Gravity Network

*Ημερίδα “Εκσυγχρονισμός του Ελληνικού Δικτύου Βαρύτητας”  
22 Δεκεμβρίου 2022*

# Το Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς Υψομέτρων

ΓΣ Βέργος

GravLab, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



**ΕΛΙΔΕΚ**

Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας & Καινοτομίας

Το ερευνητικό έργο υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της Δράσης «1η Προκήρυξη ερευνητικών έργων ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για την ενίσχυση των μελών ΔΕΠ και Ερευνητών/τριών και την προμήθεια ερευνητικού εξοπλισμού μεγάλης αξίας» (Αριθμός Έργου:1550)