

# Χωροστάθμιση GNSS – (Η αρχή του τέλους της κλασικής χωροστάθμισης;)

Βασίλης Δ. Ανδριτσάνος  
Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος  
Μηχανικός Α.Π.Θ.

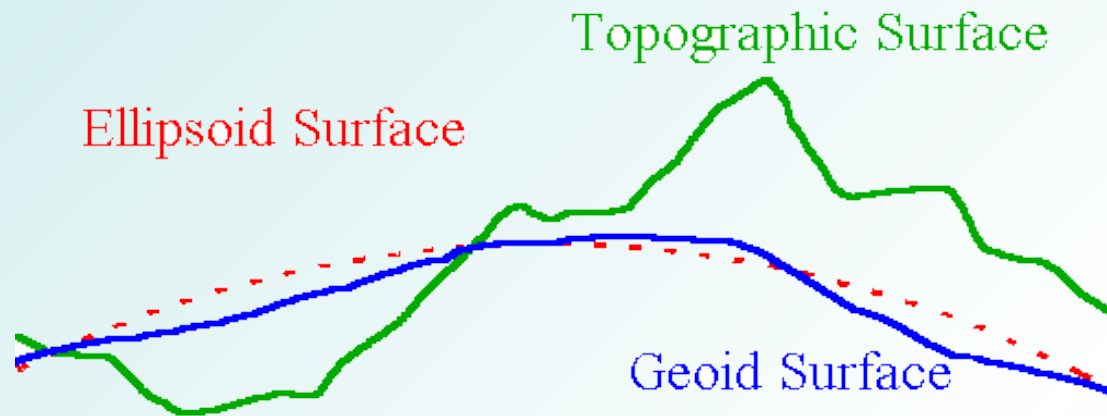
# Αντικείμενο της παρουσίασης

- Σχέση συστημάτων υψών Γεωδαισίας και δυνατότητες προσδιορισμού τους
- Τρόποι και εφαρμογές της σύγχρονης τεχνολογίας και τεχνογνωσίας στην αντιμετώπιση των προβλημάτων της υψομετρίας στην καθημερινή πρακτική
- Σύγχρονη τεχνολογία (GNSS) και τεχνογνωσία (μοντέλα συνδυασμού) → Αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα προσδιορισμού υψομέτρων

# Αντικείμενο της παρουσίασης

- Αλγόριθμοι και εφαρμογές τους στη σύγχρονη τοπογραφική χωροσταθμική πρακτική
- Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας GNSS στον προσδιορισμό υψομέτρων
- Συμπεράσματα και προτάσεις για τη βελτίωση των μεθόδων. Στόχος η απλοποίηση της καθημερινότητας του Τοπογράφου

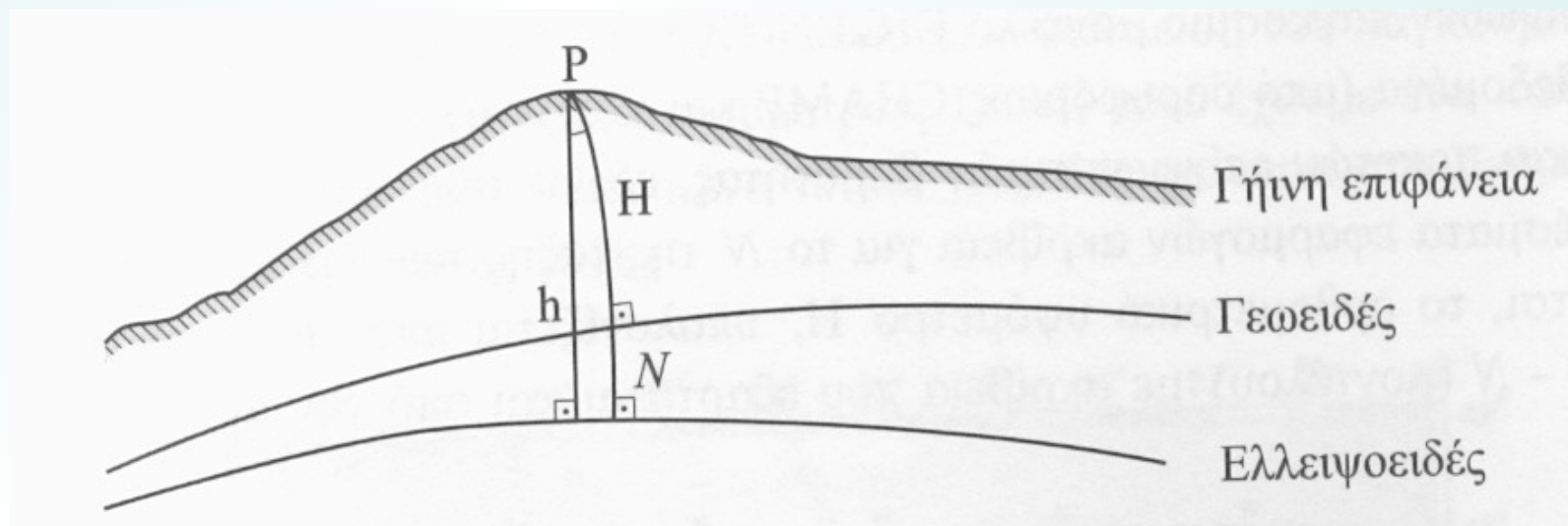
# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία



$$h = H + N$$

## Earth Surfaces

Peter H. Dana 9/1/94



# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία

$h$

- **γεωμετρικό ή γεωδαιτικό ή ελλειψοειδές υψόμετρο:**  
Μετρήσιμο με τη σύγχρονη τεχνολογία GNSS (GPS / GLONASS / GALLILEO / BEIDOU-COMPASS)
- Άμεσα διαθέσιμο με τις σύγχρονες εφαρμογές (Real – Time GNSS, Active Networks – GSM, GPRS, WEB)
- Υψηλές ακρίβειες προσδιορισμού της τάξης του εκατοστού κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις

# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία

*H*

- **Ορθομετρικό υψόμετρο**
- Σύνδεση τεχνικών έργων με το φυσικό περιβάλλον των μετρήσεων
- Παλιρροιογράφοι. Συνόρθωση κατακορύφου δικτύου – Ασαφείς ακρίβειες προσδιορισμού (γεωμετρική και τριγωνομετρική χωροστάθμηση)

# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία

$N$

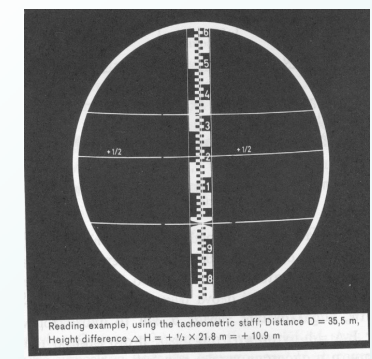
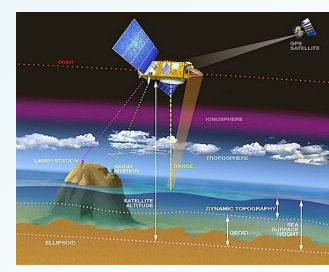
- **Αποχή ή υψόμετρο του γεωειδούς**
- Χαρακτηρίζει τη διαφορά μεταξύ της φύσης και του μοντέλου
- Ακρίβειες εξαρτώμενες από τις μεθόδους και τα δεδομένα προσέγγισης

# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία

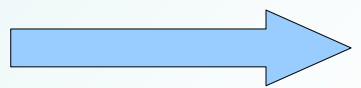
## *N*

- Παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας (Νέο EGM2008 – επίγεια και δορυφορικά δεδομένα – μερικές δεκάδες cm ακρίβειες)
- Νέες αποστολές GRACE / CHAMP / GOCE (4/2009): μελέτη διαχρονικών μεταβολών του πεδίου
- Τοπικά μοντέλα – Αστρογεωδαιτικά (Balodimos 1972), Βαρυτημετρικά (Arabelos, 1980, Tziavos, 1984, Arabelos and Tziavos 1986, 1990, Tziavos and Andritsanos, 1998), Γεωφυσικά (Doufexoroulou, 1985)
- Νέες λύσεις συνδυασμού: ακρίβειες της τάξης του cm!

# Σχέση υψομέτρων στη Γεωδαισία



$h$

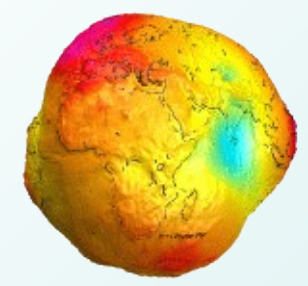
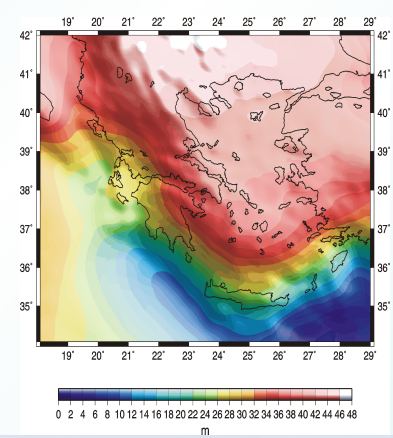


$N$



$H$

ΜΟΝΤΕΛΟ



ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1η:** Μέτρηση του  $h$ , πληροφορία για το  $N$  από χάρτη ή μοντέλο, καμία γνώση  $H$

$$h_{GNSS} = H + N_{model} \Rightarrow H = h_{GNSS} - N_{model}$$

- Ακρίβειες ανάλογες των ακριβειών της πληροφορίας για το  $N$
- 0.30 m – 1 m ακρίβειες: κατάλληλες μόνο για κάποιες χαρτογραφικές εφαρμογές
- Καλύτερες ακρίβειες με τη χρήση τοπικών μοντέλων γεωειδούς στην περιοχή των μετρήσεων
- Εφαρμογή στον υπολογισμό υψομετρικών διαφορών

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2η:** Μέτρηση του  $h$ , καμία πληροφορία για το  $N$ , πληροφορία ορθομετρικών υψομέτρων  $H$

- Μετρήσεις του  $h$  σε αρκετά σημεία γνωστού  $H$
- Προσέγγιση της επιφάνειας του γεωειδούς με παρεμβολή επιφανειας επιπέδου ή 2ου βαθμού ή σημειακή προσαρμογή

$$h_i^{(GPS)} - H_i^{(LEV)} = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \alpha_2 y_i + \epsilon_i$$

$$h_i^{(GPS)} - H_i^{(LEV)} = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \alpha_2 y_i + \alpha_3 x_i y_i + \alpha_4 x_i^2 + \alpha_5 y_i^2 + \epsilon_i$$

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

- Θεώρηση ομαλής επιφάνειας γεωειδούς: μικρές (15 km x 15 km) περιοχές εφαρμογής
- Αξιολόγηση της ποιότητας του μετασχηματισμού
- Σημεία μετρήσεων καλά κατανομημένα στην περιοχή
- Περίπτωση εφαρμογής HEPOS
- Εφαρμογή των εκτιμήσεων των συντελεστών  $a_i$  στις υπόλοιπες μετρήσεις GNSS στην περιοχή εφαρμογών

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2η:** Προσδιορισμός υψομέτρων με το GPS για Χαρτογραφικές εφαρμογές (Ανδριτσάνος, Β.Δ. κ.α., 4ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Καστοριά, 1997)

- Προσέγγιση συντελεστών μετασχηματισμού με 4 γνωστά σημεία (αρχή, μέση και τέλος της όδευσης): μ.τ.σ. μετασχηματισμού 6.3 mm
- Εφαρμογή συνορθωμένων συντελεστών στα υπόλοιπα σημεία της όδευσης (~ 10 km)
- Διαφορές της τάξης 1 – 3 cm στα μη κοινά σημεία

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα



Σημείο	H (χωροστ.) (m)	H* (μετασχ.) (m)	ΔH (cm)
B715α	105.338	105.334	0.4
Δ1	105.320	105.312	0.8
Δ2	110.466	110.472	-0.6
Δ3	127.309	127.308	0.1
Δ4	120.223	120.214	0.9
Δ5	116.022	116.023	-0.1
Δ6	116.016	116.015	0.01
Δ7	113.405	113.416	-1.1
Δ8	118.671	118.671	0.0
Δ9	107.296	107.309	-1.3
B723	94.696	94.708	-1.2
Δ10	92.755	92.759	-0.4
Δ11	80.445	80.971	-2.6
Δ12	104.091	104.120	-2.9

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3η:** Μέτρηση του  $h$ , πληροφορία για το  $H$  και το  $N$

- Εφαρμογή μοντέλου μετασχηματισμού ομοιότητας στη σφαίρα

$$h_i - H_i - N_i = b_0 + b_1 \cos \phi_i \cos \lambda_i + b_2 \cos \phi_i \sin \lambda_i + b_3 \cos \phi_i + \epsilon_i$$

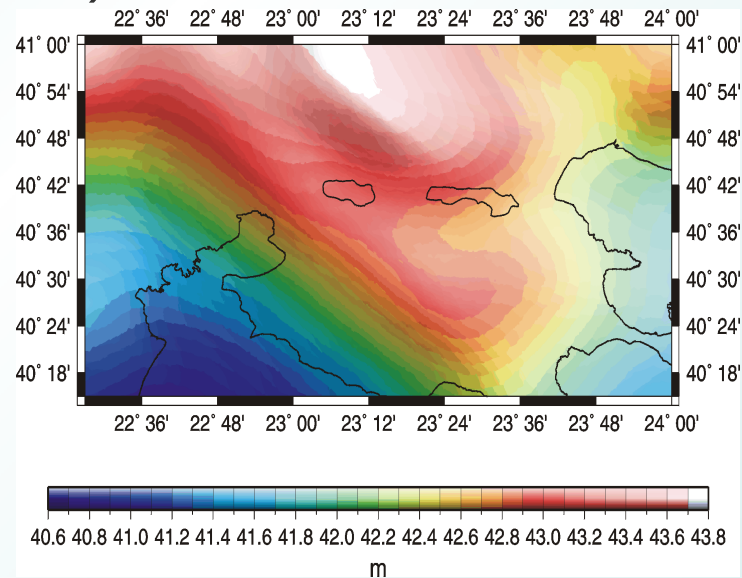
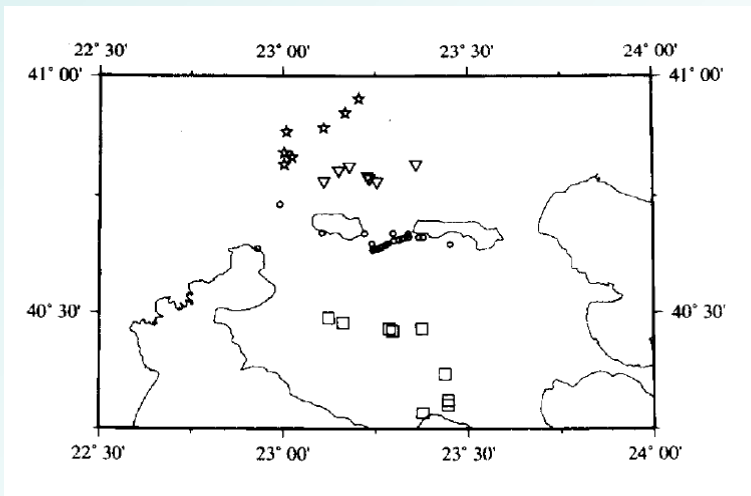
- Πρόκειται για τη μετάθεση και τη μεταβολή κλίμακας του ενός συστήματος ως προς το άλλο
- Η γνώση του  $N$  προέρχεται είτε από παγκόσμια γεωδυναμικά μοντέλα είτε – ακριβέστερα – από τοπικά μοντέλα γεωειδούς

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

- Εύρεση των βέλτιστων συντελεστών  $b_i$  για την περιοχή και εφαρμογή τους στις υπόλοιπες μετρήσεις
- Αξιοποίηση της φυσικής πληροφορίας του γεωειδούς για τον αντιπροσωπευτικότερο υψομετρικό προσδιορισμό
- Γνώση  $N$ : δεν υφίσταται ο περιορισμός της έκτασης της περιοχή εφαρμογών
- Αξιολόγηση των ακριβειών του μετασχηματισμού

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3η:** Εφαρμογή μετασχηματισμού σε τρεις οδεύσεις (Andritsanos et al, Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, Vol. 25, No 1, pp. 63-69, 2000)



	pts	sd (cm)	b0	b1	b2	b3
Volvi	22	<b>±2.7</b>	-7983.692	-3457.050	-7431.317	11439.779
Prodr.	8	<b>±3.9</b>	25689.841	11128.072	23850.488	-36780.331
Sohos	6	<b>±1.0</b>	-244.811	-104.414	-134.113	287.251

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

**ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 4η:** Μέτρηση του  $h$ , πληροφορία για το  $H$  και το  $N$  (μέσω μετρήσεων ανωμαλιών βαρύτητας)

- Εφαρμογή ενιαίου μοντέλου συνόρθωσης όλων των διαθέσιμων γεωδαιτικών παρατηρήσεων

$$y_i = L_i(T) + A_i^T x + \epsilon_i$$

- Πρόκειται για την εφαρμογή σημειακής προσαρμογής με εκτιμήσιμες παραμέτρους
- Το αποτέλεσμα είναι ένα γεωειδές συνδυασμού, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με τις μετρήσεις GNSS για τον προσδιορισμό ορθομετρικών υψομέτρων

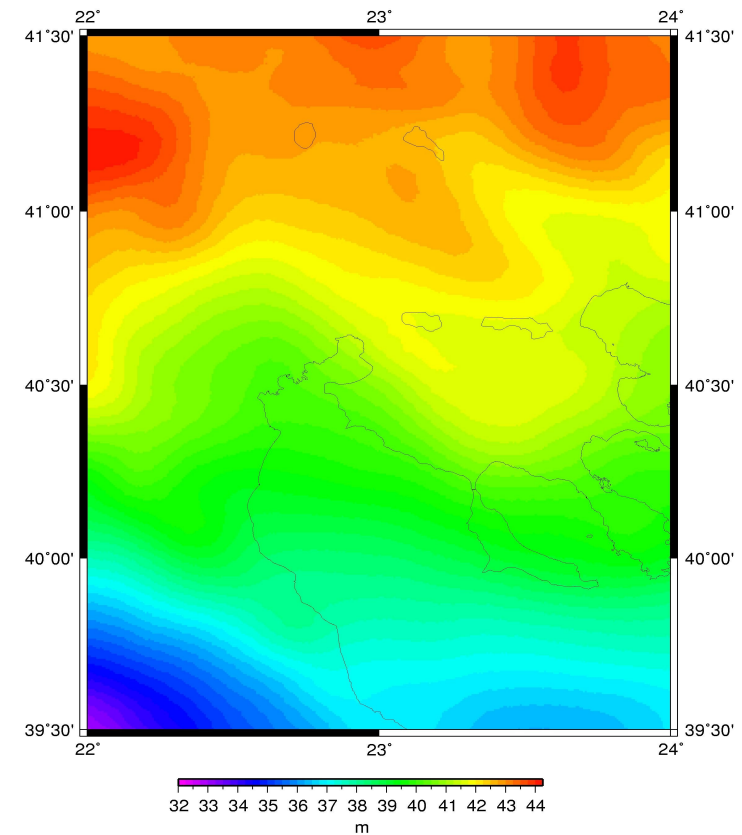
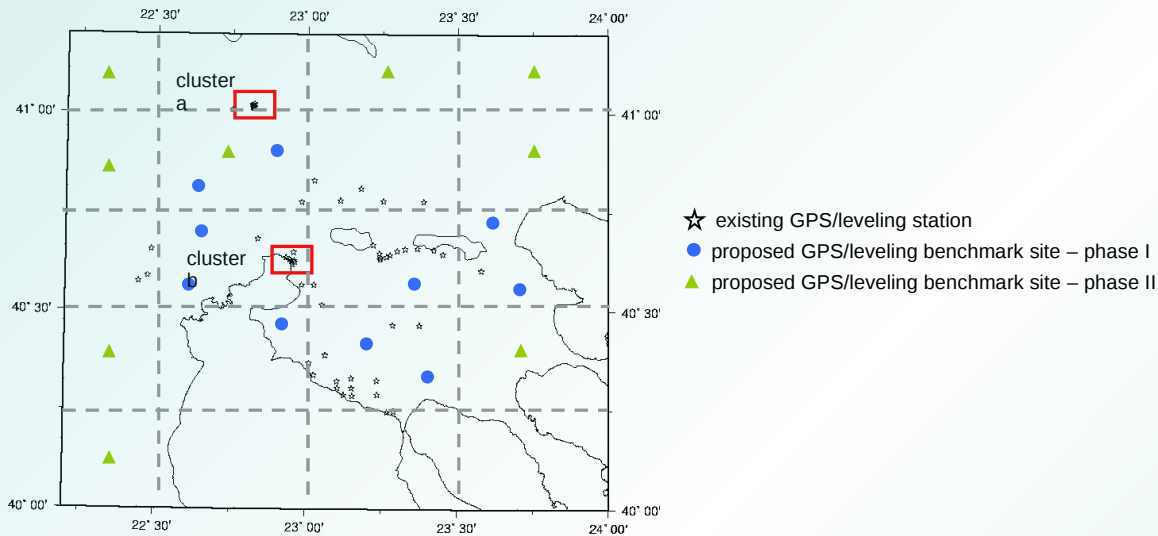
# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

- Για τη λύση απαιτούνται ομοιόμορφη κατανομή μετρήσεων βαρύτητας για την προσέγγιση των συναρτήσεων μεταβλητότητας της σημειακής προσαρμογής
- Η καλή κατανομή των παρατηρήσεων GNSS / χωροστάθμησης που θα χρησιμοποιηθούν εγγυώνται την αξιοπιστία της τελικής λύσης
- Μέτρα ποιότητας της λύσης
- Εφαρμογή σε μεγάλες περιοχές (εθνικά ή διακρατικά)

# Πρακτικές εφαρμογές στην Τοπογραφική καθημερινότητα

## ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 4η: Εφαρμογή ενιαίου μοντέλου

(Andritsanos, V.D. et al., INGEO 2004, FIG Regional Conference, Bratislava)



	sd (cm)
Εσ. ακρίβεια (132 σημεία)	±6
Εξ. ακρίβεια (9 σημεία)	±10

## Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή

- Με τη γνώση συντελεστών για μία περιοχή: ταχεία εφαρμογή στις μετρήσεις GNSS
- Άμεση σύνδεση γεωμετρικών και φυσικών χαρακτηριστικών του πεδίου των μετρήσεων
- Με την εφαρμογή των νέων παγκόσμιων μοντέλων (EGM2008) και των δορυφορικών αποστολών (GOCE): ακρίβειες συγκρίσιμες της κλασικής χωροστάθμησης
- Κλασική: επίδραση καμπυλότητας, συντελεστή διάθλασης (τριγωνομετρική χωροστάθμηση) και υψηλό κόστος σε χρόνο μετρήσεων (γεωμετρική χωροστάθμηση)

# Μειονεκτήματα από την εφαρμογή

- Μετρήσεις σε διαφορετικά DATUM: προσεκτική αντιμετώπιση στο συνδυασμό των δεδομένων
- Διαφορετικές ακρίβειες προσδιορισμού στα  $h$  και  $N$ , ασαφείς πληροφορίες για τις ακρίβειες στα  $H$
- Ακόμη μη εφαρμόσιμη σε τοπογραφικές εργασίες υψηλής ακριβείας (μικρομετακινήσεις): Υψηλή η ακρίβεια της γεωμετρικής χωροστάθμησης σε μικρές περιοχές εφαρμογών

# Γενικές εφαρμογές της χρήσης GNSS / χωροστάθμησης

- Πύκνωση και ταχεία αναπτυξη DTM, ειδικά σε μεγάλες περιοχές: δυσκολία εφαρμογής γεωμετρικής χωροστάθμησης ακριβείας
- Ίδρυση χωροσταθμικών αφετηριών για τεχνικά έργα
- Έλεγχος και επαναξιολόγηση υψομετρικού δικτύου Γ.Υ.Σ.

# Συμπεράσματα

- Στο ερώτημα: είναι η αρχή του τέλους της κλασικής χωροστάθμησης, αλλά όχι και το τέλος
- GNSS / χωροστάθμηση: χρήσιμη σε συγκεκριμένες εφαρμογές (μεγάλο εύρος περιοχών εφαρμογής)
- Υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού: Εξέλιξη μοντέλων και τεχνικών επεξεργασίας και συνόρθωσης.
- Δυναμική εφαρμογή με δυνατότητες εξέλιξης
- Ένα ακόμη βήμα προς την τρισδιάσταση ολοκληρωμένη Γεωδαισία
- Τοπογράφος στον 21ο αιώνα: γνώστης όχι μόνο των γεωμετρικών, αλλά και των φυσικών χαρακτηριστικών του πεδίου των μετρήσεων