

# Σεμιναριακό Μάθημα Ασκήσεων Υπαίθρου

## *Προ-επεξεργασία, συνόρθωση και στατιστική ανάλυση δικτύου Μεταλλικού*

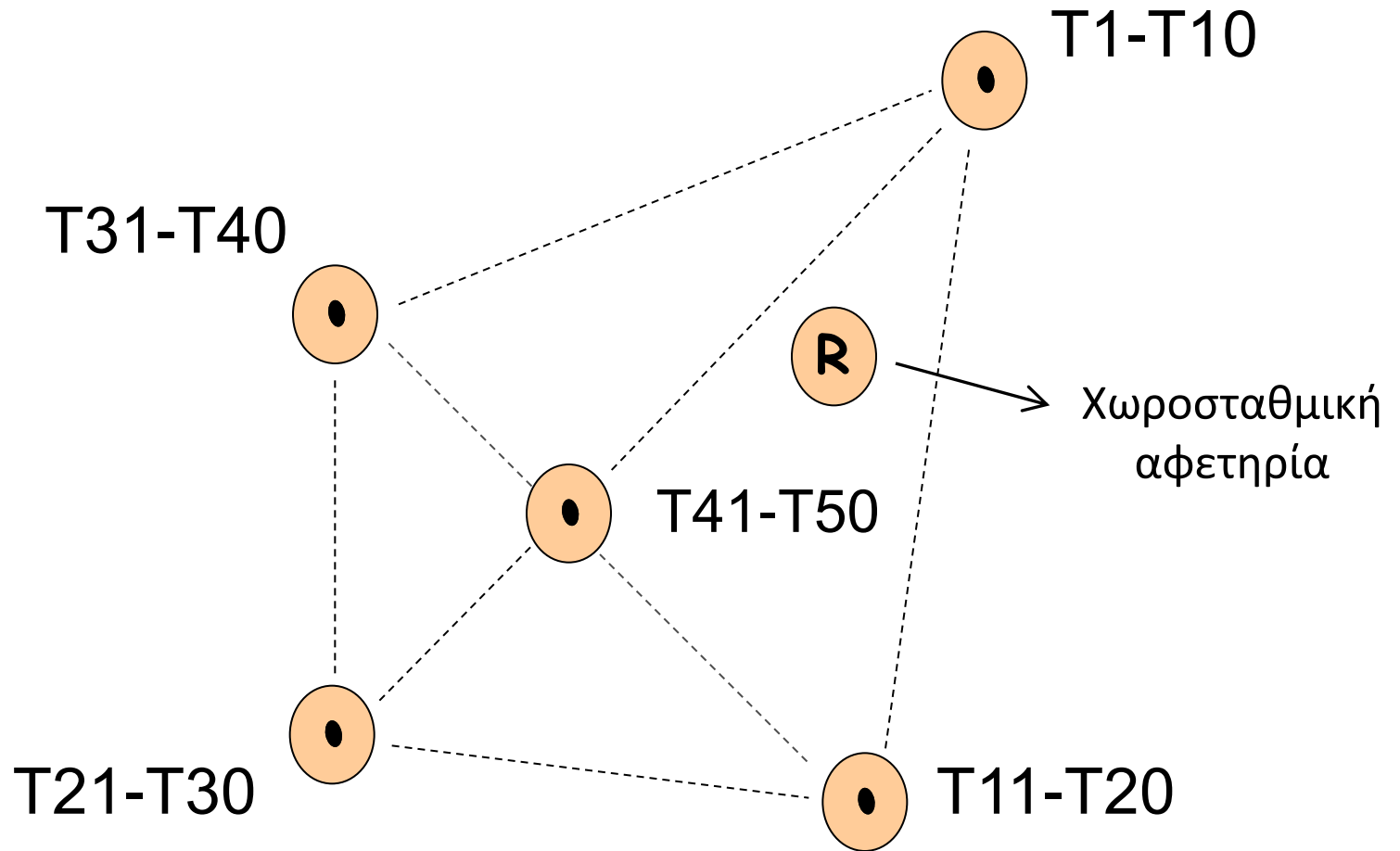
Χ. Κωτσάκης

Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ



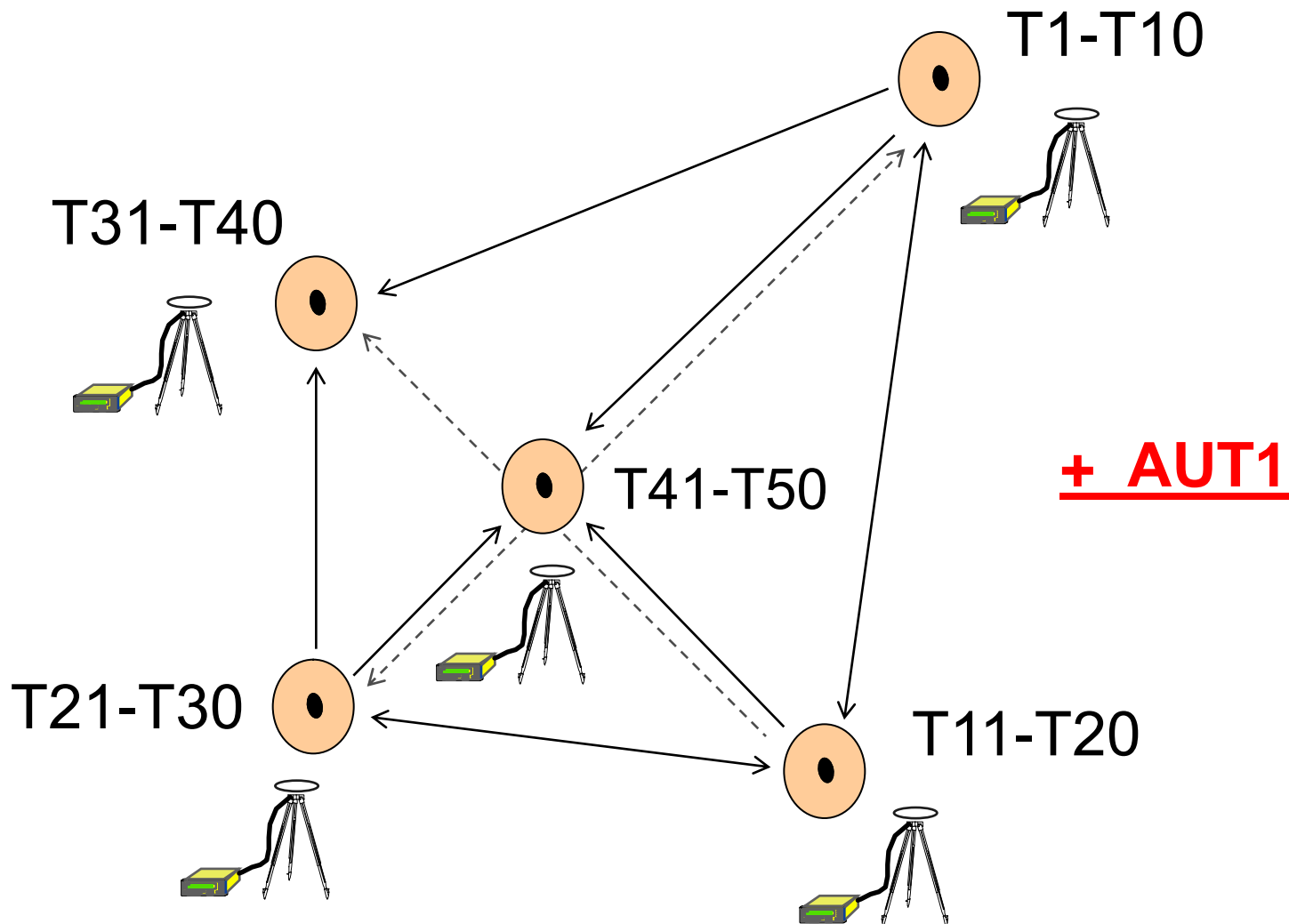
# Δίκτυο Μεταλλικού



# Μοντέλα επίλυσης δικτύου Μεταλλικού

- ❑ **3Δ δίκτυο** (μετρήσεις GPS)
- ❑ **2Δ δίκτυο** (μετρήσεις total station)
- ❑ **1Δ δίκτυο**  
(μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης)

# Επίλυση 3D δικτύου



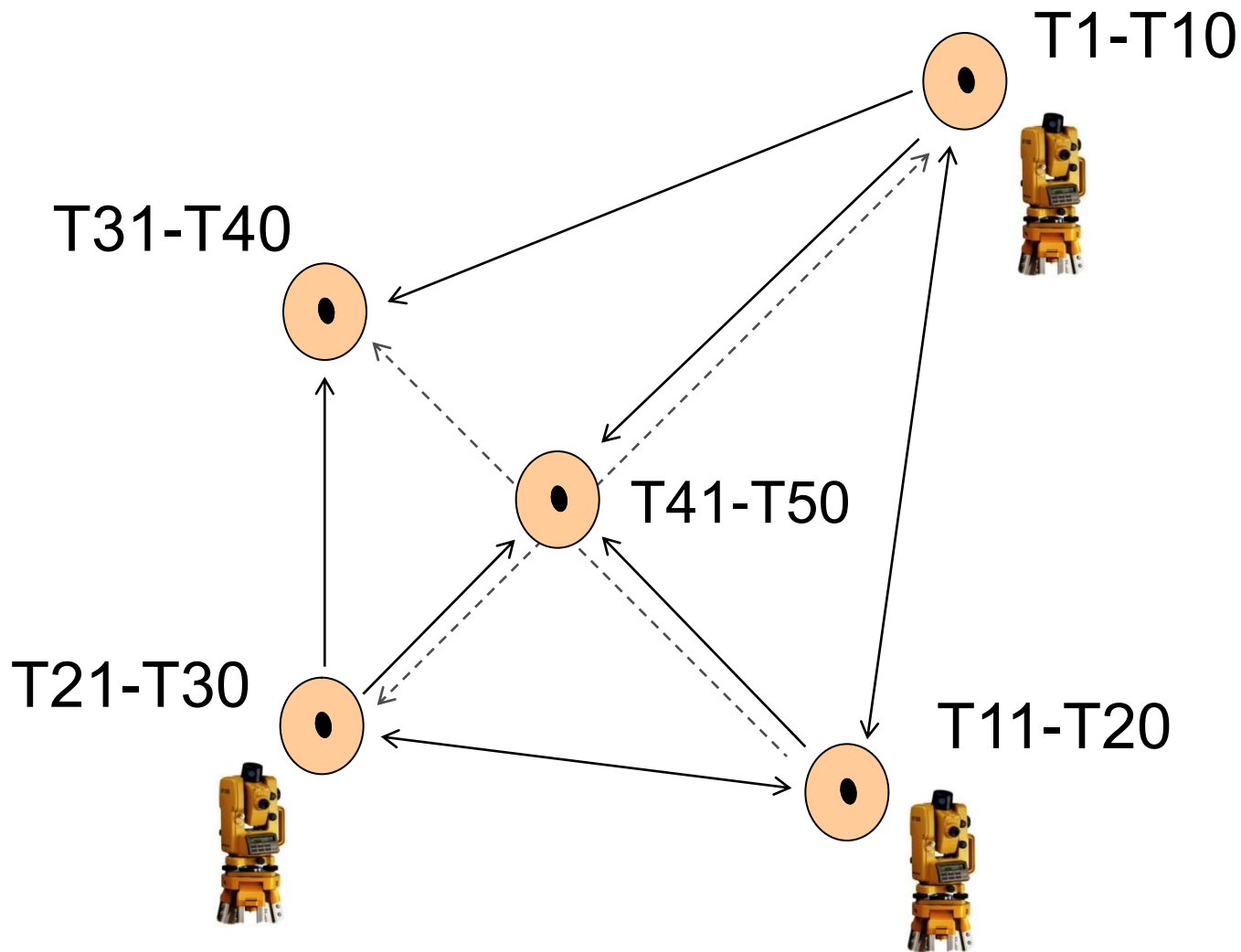
# Επίλυση 3D δικτύου

Αρχικές μετρήσεις	Διαφορές φάσης L1/L2
Προ-επεξεργασία	<i>Επίλυση βάσεων μέσω διπλών διαφορών (βλέπε σεμινάριο GPS)</i>
Παρατηρήσεις για συνόρθωση δικτύου	Συνιστώσες βάσεων
Σύστημα αναφοράς συνόρθωσης δικτύου	HTRS07 (ελάχιστες δεσμεύσεις, AUT1 fixed)
Τελικές συντεταγμένες	Μετασχηματισμός μέσω HEPOS Transformation Tool
	E, N (στο ΕΓΣΑ87) H (στο εθνικό υψομετρικό datum)
<b>Άλλες ενέργειες (*)</b>	<b>Η τελική λύση για τις οριζόντιες συντεταγμένες (E, N) θα συγκριθεί με τις λύσεις συνόρθωσης που θα υπολογιστούν στο 2D κλασικό δίκτυο.</b>

# Επίλυση 3D δικτύου

Αρχικές μετρήσεις	Διαφορές φάσης L1/L2
Προ-επεξεργασία	<i>Επίλυση βάσεων μέσω διπλών διαφορών (βλέπε σεμινάριο GPS)</i>
Παρατηρήσεις για συνόρθωση δικτύου	Συνιστώσες βάσεων
Σύστημα αναφοράς συνόρθωσης δικτύου	HTRS07 (ελάχιστες δεσμεύσεις, AUT1 fixed)
Τελικές συντεταγμένες	Μετασχηματισμός μέσω HEPOS Transformation Tool
	E, N (στο ΕΓΣΑ87) H (στο εθνικό υψομετρικό datum)
<b>Άλλες ενέργειες (*)</b>	<b>Οι υψομετρικές διαφορές (<math>\Delta h</math>) που προκύπτουν από την επίλυση βάσεων θα χρησιμοποιηθούν στην ενότητα μελέτης υψομετρικών τεχνικών.</b>

# Επίλυση 2Δ δικτύου

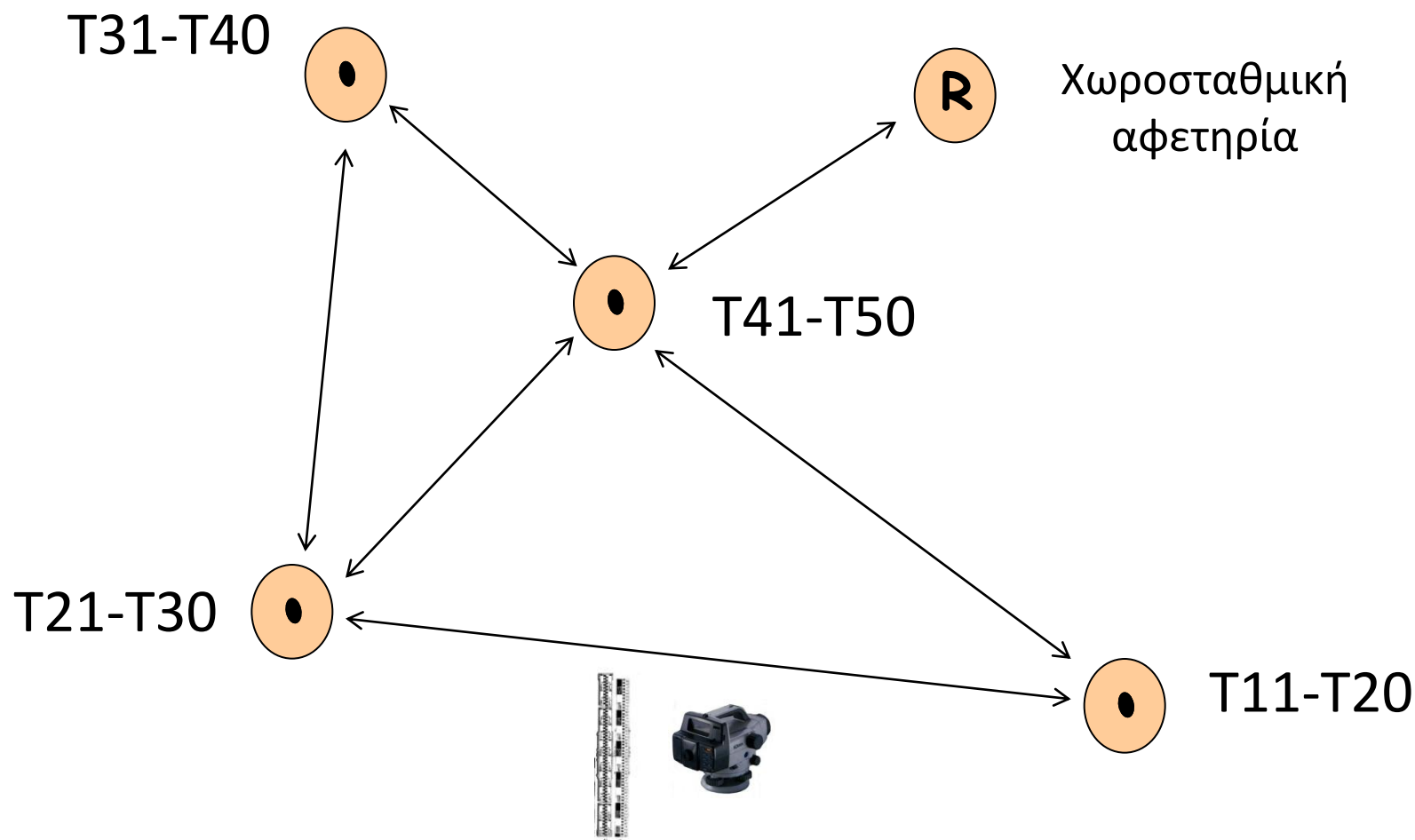


# Επίλυση 2Δ δικτύου

Αρχικές μετρήσεις	Αποστάσεις και διευθύνσεις
Προ-επεξεργασία	<i>Συνορθώσεις σταθμού, αναγωγή αποστάσεων και υπολογισμός MO επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, υπολογισμός ακριβειών για τις ανηγμένες παρατηρήσεις (βλέπε επόμενες διαφάνειες)</i>
Παρατηρήσεις για συνόρθωση δικτύου	Ανηγμένες οριζόντιες αποστάσεις και διευθύνσεις
Σύστημα αναφοράς συνόρθωσης δικτύου	ΕΓΣΑ87 (ελάχιστες & πλεονάζουσες δεσμεύσεις με σταθερές συντεταγμένες δικιάς σας επιλογής)
Τελικές συντεταγμένες	E, N (στο ΕΓΣΑ87)
<b>Άλλες ενέργειες (*)</b>	<b>(1) Έλεγχος ένταξης για τη λύση πλεοναζουσών δεσμεύσεων. (2) Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών λύσεων συνόρθωσης (E,N) του δικτύου.</b>



# Επίλυση 1Δ δικτύου



# Επίλυση 1Δ δικτύου

Αρχικές μετρήσεις	Υψομετρικές διαφορές σε διπλές χωροσταθμικές οδεύσεις
Προ-επεξεργασία	<i>Έλεγχος σφαλμάτων κλεισίματος χωροστ. οδεύσεων και βρόχων, υπολογισμός ΜΟ μετάβασης/επιστροφής, υπολογισμός μήκους χωροστ. οδεύσεων (βλέπε επόμενες διαφάνειες)</i>
Παρατηρήσεις για συνόρθωση δικτύου	Υψομετρικές διαφορές
Σύστημα αναφοράς συνόρθωσης δικτύου	Εθνικό υψομετρικό datum (ελάχιστες δεσμεύσεις, $H_R = 185.686$ m)
Τελικές συντεταγμένες	Ορθομετρικά υψόμετρα (H)
<b>Άλλες ενέργειες (*)</b>	<b>Εκτίμηση ακρίβειας χωροβάτη με βάση τα αποτελέσματα συνόρθωσης του 1Δ δικτύου.</b>

Προ-επεξεργασία  
μετρήσεων δικτύου

# Μετρήσεις GPS

- ❑ Διαφορές φάσης L1/L2 και σχηματισμός διπλών διαφορών
- ❑ Static ~40 min
- ❑ Προ-επεξεργασία μετρήσεων
  - ❑ χρήση rinex από AUT1
  - ❑ επίλυση βάσεων
  - ❑ loop closure analysis
  - ❑ βλέπε σεμινάριο GPS

# Μετρήσεις οριζόντιων διευθύνσεων

- ❑ Επαναλαμβανόμενες σκοπεύσεις από κάθε σημείο στάσης προς τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου.
- ❑ Μετρήσεις σε I/II θέση τηλεσκοπίου (4 περίοδοι).
- ❑ Εμπειρικοί έλεγχοι στο πεδίο
  - αποκλίσεις ανηγμένων μέσων όρων  
από διαφορετικές περιόδους: < 20-30 cc
  - σφάλμα κλεισίματος τριγώνου: < 30-40 cc
- ❑ Συνόρθωση σταθμού σε κάθε σημείο στάσης.

# Συνόρθωση σταθμού

**Για ποιούς λόγους την κάνουμε:**

- Υπολογισμός βέλτιστης παρατηρημένης τιμής για κάθε σκοπευόμενη διεύθυνση στο δίκτυο.  
(μέσω συνόρθωσης των μετρήσεων που εκτελέστηκαν σε διαφορετικές περιόδους και I/II θέση τηλεσκοπίου)
- Υπολογισμός της (εσωτερικής) ακρίβειας για τη βέλτιστη παρατηρημένη τιμή κάθε σκοπευόμενης διεύθυνσης στο δίκτυο.
- Εκτίμηση της ακρίβειας του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις διευθύνσεων.

# Συνόρθωση σταθμού

## Πως την κάνουμε:

- Χρήση του προγράμματος DEROS.  
(ή άλλου κατάλληλου προγράμματος)
- Πριν από κάθε συνόρθωση σταθμού ελέγξτε προσεκτικά τις επιμέρους μετρήσεις για τυχόν χονδροειδή σφάλματα.

# Συνόρθωση σταθμού

Παράδειγμα αρχείου μετρήσεων για συνόρθωση σταθμού οριζόντιων διευθύνσεων με το DEROS

Κωδικός σημ.σκόπευσης, μέτρηση (I θέση τηλεσκ.), μέτρηση (II θέση τηλεσκ.)

4,	0.4370,	200.4405	} 1η περίοδος
6,	23.2770,	223.2815	
8,	71.3361,	271.3427	
5,	397.6561,	197.6605	
0			
4,	33.4064,	233.4102	} 2η περίοδος
6,	56.2468,	256.2520	
8,	104.3047,	304.3111	
5,	30.6250,	230.6306	
0			
:	:	:	K.O.K



# Συνόρθωση σταθμού

Η «λογική» του DEROS για τη συνόρθωση σταθμού οριζοντίων διευθύνσεων:

- Όλες οι πρωτογενείς μετρήσεις, δηλαδή οι σκοπευόμενες διευθύνσεις σε διαφορετικές περιόδους και I/II θέση τηλεσκοπίου, είναι **ασυσχέτιστες** μεταξύ τους.
- Όλες οι πρωτογενείς μετρήσεις έχουν την **ίδια** (αλλά άγνωστη) **ακρίβεια**. Συνεπώς ο πίνακας βάρους που χρησιμοποιείται στη συνόρθωση σταθμού είναι μοναδιαίος.
- Η τιμή της a-posteriori μεταβλητότητας αναφοράς δίνει μία εκτίμηση της (εσωτερικής) ακρίβειας με την οποία έγιναν όλες οι πρωτογενείς μετρήσεις από το εκάστοτε σημείο στάσης.

1. a-posteriori μεταβλητικότητα = 8.6592  
**a-posteriori τυπική απόκλιση = 2.94**  
 βαθμοί ελευθερίας = 20  
 κριτήριο βελτιστοποίησης = 173.1833

# ΑΡΧΕΙΟ ΛΥΣΗΣ

## ΣΥΝΟΡΘΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ

### 2. ΟΙ ΣΥΝΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

σκοπευόμενο σημείο	συνορθωμένη διεύθυνση (grad)	τυπική απόκλιση (cc)
4	0.00000	1.20
6	22.84084	1.20
15	32.38065	1.20
8	70.90007	1.20
5	397.21981	1.20

**Εισάγονται στην τελική συνόρθωση του δικτύου...**

### 3. ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

σημείο	θέση τηλεσκοπίου I (grad)	θέση τηλεσκοπίου II (grad)	παρατήρηση (I+II)/2 (grad)	σφάλμα παρατήρησης (cc)	τυπική απόκλιση σφάλματος (cc)	εξωτερικά ομαλοποιημένο σφάλμα
4	0.4370	200.4405	0.4387	-0.37	2.63	-0.14
6	23.2770	223.2815	23.2793	-3.78	2.63	-1.48
15	32.8170	232.8222	32.8196	1.63	2.63	0.61
8	71.3361	271.3427	71.3394	5.47	2.63	2.29
5	397.6561	197.6605	397.6583	-2.95	2.63	-1.13
4	33.4064	233.4102	33.4083	1.93	2.63	0.73
6	56.2468	256.2520	56.2494	4.52	2.63	1.81

# Μετρήσεις οριζ. αποστάσεων

- ❑ Συνθετικές παρατηρήσεις μέσω μετρήσεων κεκλιμένων αποστάσεων και ζενίθειων γωνιών.
- ❑ Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις από κάθε σημείο στάσης σε I/II θέση τηλεσκοπίου.  
εμπειρικός στατιστικός έλεγχος 3-σ
- ❑ Υπολογισμός Μ.Ο. (και της ακρίβειας του) από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.
- ❑ Αναγωγή στο προβολικό επίπεδο (TM87).
- ❑ **Αποστάσεις που μετρήθηκαν από εκατέρωθεν σημεία θα αντιμετωπιστούν ως χωριστές παρατηρήσεις.**

# Διαδικασία αναγωγής αποστάσεων

(για κάθε μετρημένη πλευρά του δικτύου)

- Υπολογισμός τιμών οριζόντιας απόστασης από τις πρωτογενείς μετρήσεις σε κάθε σημείο στάσης

$$s_{ij} = d_{ij} \sin \zeta_{ij}$$

- Υπολογισμός Μ.Ο από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και εφαρμογή ελέγχου 3-σ.

- Αναγωγή του Μ.Ο της οριζόντιας απόστασης στο προβολικό επίπεδο TM87 (μέσω του  $m$ )

$$\tilde{s}_{ij} = m \times \bar{s}_{ij}$$

- Αποστάσεις από εκατέρωθεν σημεία θα αντιμετωπιστούν ως χωριστές παρατηρήσεις.

# Χρήσιμες σχέσεις

$\left\{ s_{ij}^{(1)}, s_{ij}^{(2)}, \dots, s_{ij}^{(n)} \right\} \longrightarrow$  Δείγμα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για την ίδια πλευρά του δικτύου (θεωρούνται ασυσχέτιστες & ίδιας ακρίβειας)

$$\bar{s}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n s_{ij}^{(k)}$$

Αντιπροσωπευτική τιμή παρατηρημένης οριζόντιας απόστασης για την συγκεκριμένη πλευρά του δικτύου (αριθμητικός μέσος όρος)

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left( s_{ij}^{(k)} - \bar{s}_{ij} \right)^2$$

Δειγματική μεταβλητότητα (αντιστοιχεί στην εκτίμηση της ακρίβειας κάθε μέτρησης στο αντίστοιχο δείγμα)

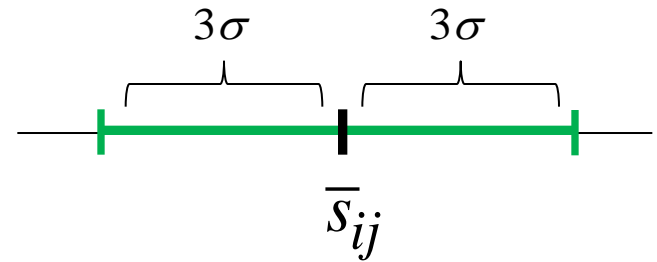
$$\sigma_{s_{ij}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

Ακρίβεια του μέσου όρου των διαθέσιμων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

# Στατιστικός έλεγχος 3-σ

Αν κάποια μεμονωμένη μέτρηση δεν βρίσκεται μέσα στο παρακάτω διάστημα εμπιστοσύνης:

$$\bar{s}_{ij} - 3\sigma < s_{ij}^{(i)} < \bar{s}_{ij} + 3\sigma$$



τότε είναι πολύ πιθανό (~ 99%) ότι η συγκεκριμένη μέτρηση είναι επηρεασμένη από μη-τυχαίο σφάλμα.

$\sigma$ : δειγματική τυπική απόκλιση

(τυπική απόκλιση του δείγματος των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων)

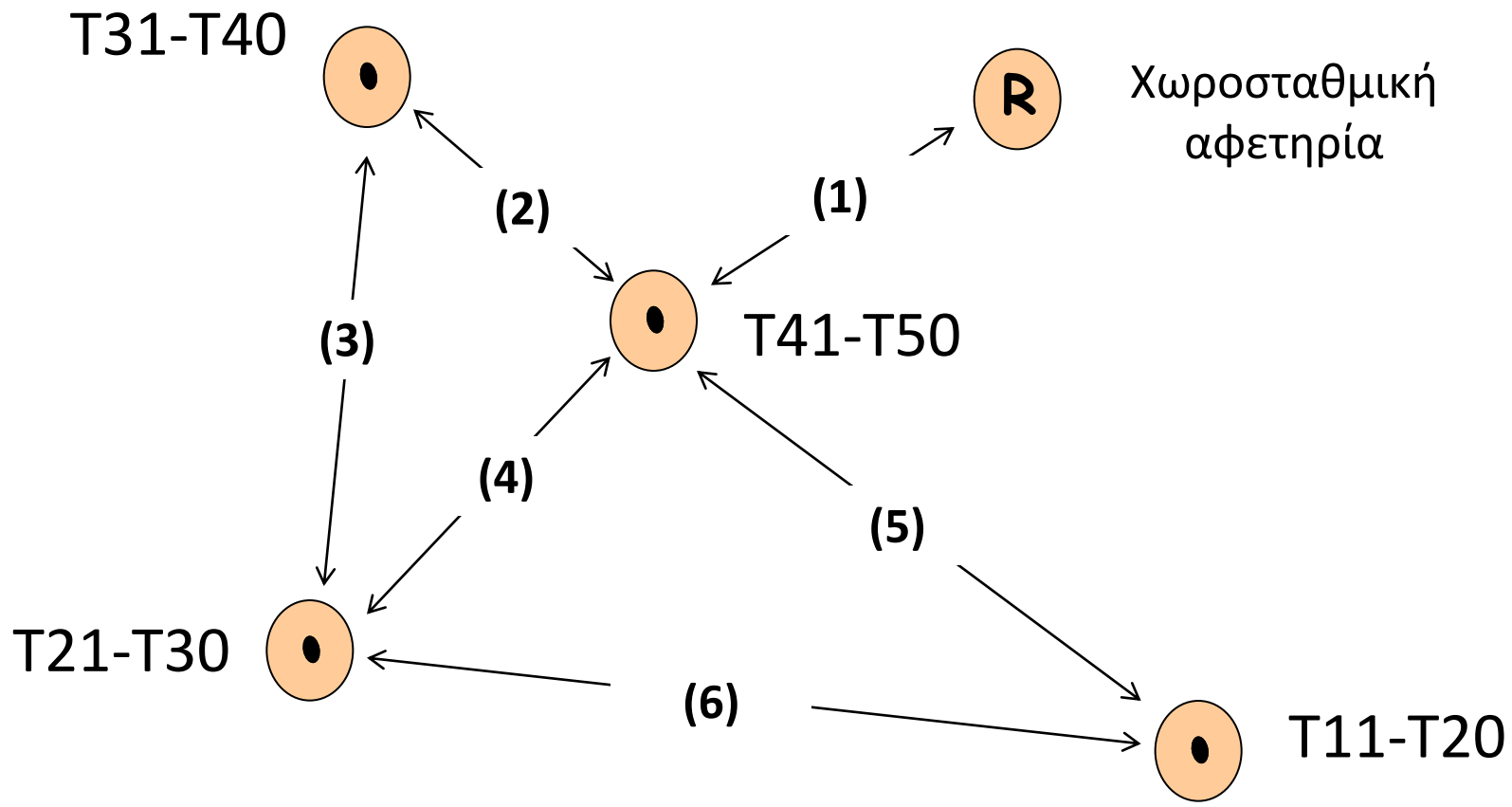
$\bar{s}_{ij}$ : μέσος όρος του δείγματος των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

(\*) η ελεγχόμενη μέτρηση δεν συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό του Μ.Ο.

# Μετρήσεις (ορθομετρικών) υψομετρικών διαφορών

- ❑ Μετρήσεις  $\Delta H$  μέσω οδεύσεων γεωμετρικής χωροστάθμησης σε μετάβαση και επιστροφή (6 χωροσταθμικές οδεύσεις).
- ❑ Εμπειρικοί έλεγχοι:
  - έλεγχος σφάλματος κλεισίματος υψομετρικής διαφοράς σε μετάβαση/επιστροφή.
  - έλεγχος σφάλματος κλεισίματος υψομετρικής διαφοράς σε κλειστούς βρόχους του δικτύου.

# 1Δ δίκτυο





# Μετρήσεις (ορθομετρικών) υψομετρικών διαφορών

- Ως παρατήρηση υψομετρικής διαφοράς στη συνόρθωση 1Δ δικτύου θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των υψομετρικών διαφορών που μετρήθηκαν σε μετάβαση και επιστροφή.
- Θα πρέπει επίσης να υπολογιστεί το μέσο μήκος (L) κάθε χωροσταθμικής όδευσης.

χρειάζεται για το σχηματισμό του πίνακα βάρους κατά τη συνόρθωση του 1Δ δικτύου ( $\sigma_{\Delta H} = \sigma_o L^{1/2}$ )

# Μέγιστα ανεκτά σφάλματα στις μετρήσεις υψομετρικών διαφορών

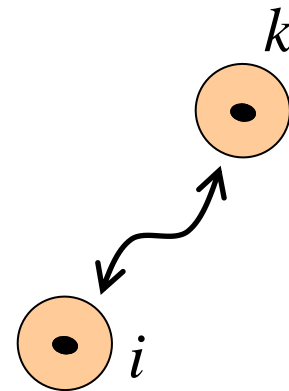
Διπλή χωροσταθμική όδευση (μετάβαση & επιστροφή)

$$w = \Delta H_{ik} + \Delta H_{ki} \neq 0$$

$$w_{max} = 2\sigma_0 z^{\alpha/2} \sqrt{L_{ik}}$$

$$\alpha = 0.05, z^{\alpha/2} = 1.96$$

$$\sigma_0 = 2-3 \text{ mm/km}^{1/2}$$



# Μέγιστα ανεκτά σφάλματα στις μετρήσεις υψομετρικών διαφορών

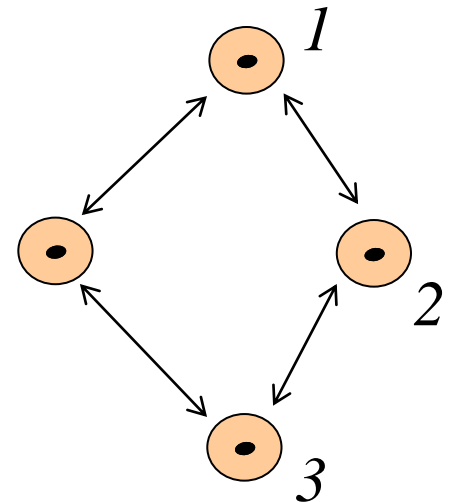
Κλειστός βρόχος δικτύου

$$w = \Delta H_{1,2} + \Delta H_{2,3} + \dots + \Delta H_{n-1,n} \neq 0$$

$$w_{max} = \sigma_0 z^{\alpha/2} \sqrt{L_{total}}$$

$$\alpha = 0.05, z^{\alpha/2} = 1.96$$

$$\sigma_0 = 2-3 \text{ mm/km}^{1/2}$$



Παράδειγμα αρχείου εισόδου  
για το πρόγραμμα συνόρθωσης  
δικτύων NETIST



# The symbol "#" marks a comment line and it is ignored by the program

# Station Data

ST	R	REF	P	400750.000	4540900.00	204.3880	SD	0.5	Geo	-1.5632
ST	16	NEW	P	400663.905	4540307.447	0.000000	Geo		-1.5848	
ST	26	NEW	P	400108.275	4540352.398	0.000000	Geo		-1.5727	
ST	36	NEW	P	400065.997	4540677.146	0.000000	Geo		-1.5792	
ST	46	NEW	P	400293.638	4540564.115	0.000000	Geo		-1.582	

# Spirit Levelling Data

SL	R	16	35.53430	1.079
SL	R	46	-2.11900	0.728
SL	R	36	-16.5144	0.843
SL	46	36	-14.3976	0.304

# Trigonometric Levelling Data

TS	16	26	1.486	1.436	DS	559.8550	0.01	ZA	105.8030	0.02
TS	16	36	1.486	1.436	DS	705.0000	0.01	ZA	104.7025	0.02
TS	16	46	1.486	1.436	DS	452.1700	0.01	ZA	105.2975	0.02

# GNSS Levelling Data

GL	26	36	-1.039	0.01	0.5
GL	26	46	13.349	0.01	0.5
GL	46	36	-14.393	0.01	0.5
GL	46	26	-13.347	0.01	0.5

# The symbol "#" marks a comment line and it is ignored by the program

# Station Data

ST AUTH Ref G 40.5668187805556 23.0037198138889 150.0831

# GPS baselines

GB AUTH s7 2824.5999 -115.6633 -3124.5184 9.2463E-06 2.7489E-06 5.2479E-06  
3.2487E-06 0.000002499 0.000007497

GB AUTH s3 -215.0369 1566.7023 -500.7743 1.4688E-05 5.0565E-06 8.18674E-06  
6.98281E-06 3.6118E-06 1.3484E-05

GB s1 s4 1569.4735 -423.2339 -1283.2387 1.78023E-05 3.56046E-06 6.8666E-06  
4.57773E-06 3.81478E-06 1.06814E-05

GB s2 s6 -2700.9672 -2651.269 3966.4902 4.8774E-05 1.0022E-05 1.8039E-05  
1.26947E-05 1.06903E-05 2.93983E-05

Το λογισμικό NETIST και σχετικά  
βοηθητικά αρχεία είναι διαθέσιμα  
από τις ιστοσελίδες:

[users.auth.gr/kotsaki/software.html](http://users.auth.gr/kotsaki/software.html)

[users.auth.gr/kotsaki/FieldSurveying\\_course.html](http://users.auth.gr/kotsaki/FieldSurveying_course.html)



# Συνορθώσεις δικτύου Μεταλλικού

# Τι συνορθώσεις δικτύου θα γίνουν;

## ❑ Μία συνορθωση 3Δ δικτύου

(με επιπλέον χρήση του HEPOS transformation tool για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων E, N στο ΕΓΣΑ87)

## ❑ Δύο συνορθώσεις 2Δ δικτύου

- με ελάχιστες δεσμεύσεις (1.5 σημείο σταθερό)

- με πλεονάζουσες δεσμεύσεις (2 σημεία σταθερά)

## ❑ Μία συνορθωση 1Δ δικτύου

- με ελάχιστες δεσμεύσεις ( $H_R = 185.686 \text{ m}$ )

# Απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι

- ❑ Δίπλευρος ολικός έλεγχος (F-test) για  $\alpha = 0.05$ .
- ❑ Σάρωση δεδομένων (data snooping) για  $\alpha = 0.01$ .
- ❑ Η τελική συνόρθωση θεωρείται πετυχημένη όταν και οι δύο παραπάνω έλεγχοι είναι επιτυχείς.
- ❑ Στη λύση πλεοναζουσών δεσμεύσεων θα εφαρμοστεί μόνο έλεγχος ένταξης (για  $\alpha = 0.05$ ).

# Απαραίτητοι στατιστικοί έλεγχοι

Ανάλογα με τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων (ολικός έλεγχος, σάρωση δεδομένων), ενδέχεται να απαιτούνται οι παρακάτω **διορθώσεις** για την εκτέλεση των τελικών συνδιορθώσεων του δικτύου:

- αφαίρεση “προβληματικών” παρατηρήσεων που προέκυψαν κατά τη σάρωση δεδομένων
- αλλαγή της αρχικής ακρίβειας των μετρήσεων που συμμετέχουν στη συνδιορθωση του δικτύου

# Τι θα περιλαμβάνουν τα τελικά αποτελέσματα;

- ❑ Συνορθωμένες συντεταγμένες και ακρίβεια τους από κάθε σενάριο συνόρθωσης δικτύου.
- ❑ Συνορθωμένα σφάλματα παρατηρήσεων (και λοιπά στατιστικά στοιχεία) από κάθε σενάριο συνόρθωσης δικτύου.
- ❑ Λεπτομερή αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων.

# Τι (άλλο) θα περιλαμβάνουν τα τελικά αποτελέσματα;

- ❑ Για την περίπτωση του 2Δ δικτύου:
  - Σχέδιο δικτύου υπό κλίμακα σύμφωνα με τις τελικές συνορθωμένες συντεταγμένες των σημείων από κάθε σενάριο συνόρθωσης.
  - Απόλυτες ελλείψεις εμπιστοσύνης (99%) για τις θέσεις των σημείων από κάθε σενάριο συνόρθωσης (& σχέδιο υπό κατάλληλη κλίμακα).
  - Σχετικές ελλείψεις εμπιστοσύνης (99%) για τις θέσεις των σημείων από κάθε σενάριο συνόρθωσης (& σχέδιο υπό κατάλληλη κλίμακα).

# Τι (άλλο) θα περιλαμβάνουν τα τελικά αποτελέσματα;

- Για την περίπτωση του 1Δ δικτύου (από τη λύση ελαχίστων δεσμεύσεων):
  - την εκτίμηση της ακρίβειας του χωροβάτη που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις.

Παραδοτέο Υλικό



# Παραδοτέο υλικό

Θα παραδοθεί ξεχωριστό τεύχος με αναλυτική τεχνική έκθεση για κάθε ένα από τα μοντέλα επεξεργασίας του δικτύου Μεταλλικού, δηλαδή

- 1 τεύχος για την ανάλυση του 3Δ δικτύου GPS
- 1 τεύχος για την ανάλυση του 2Δ κλασσικού δικτύου
- 1 τεύχος για την ανάλυση του 1Δ υψομετρικού δικτύου

Σε κάθε τεύχος θα δοθεί συνοπτική περιγραφή όλων των διαδικασιών που ακολουθήσατε (π.χ. μέτρηση δικτύου, προεπεξεργασία μετρήσεων, αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων και τυχόν “διορθωτικές” ενέργειες, συνόρθωση δικτύου) και των τελικών αποτελεσμάτων σας, με τη βοήθεια συγκριτικών πινάκων, σχημάτων και κατάλληλων γραφημάτων.