

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ

Διδακτικές Σημειώσεις

ΤΣΟΥΧΛΑΡΑΚΗ ΑΝΔΡΟΝΙΚΗ

Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2007,- 2008

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ & ΑΠΟΔΟΣΗ ΧΩΡΟΥ

Αποτύπωση είναι η διαδικασία εκείνη η οποία ακολουθείται για να βρεθούν οι συντεταγμένες, σε ορισμένο σύστημα αναφοράς, των χαρακτηριστικών σημείων ενός αντικειμένου, με σκοπό να γίνει η απόδοση της μορφής του με πληρότητα. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι τμήματα της γήινης επιφάνειας ή τεχνικά έργα.

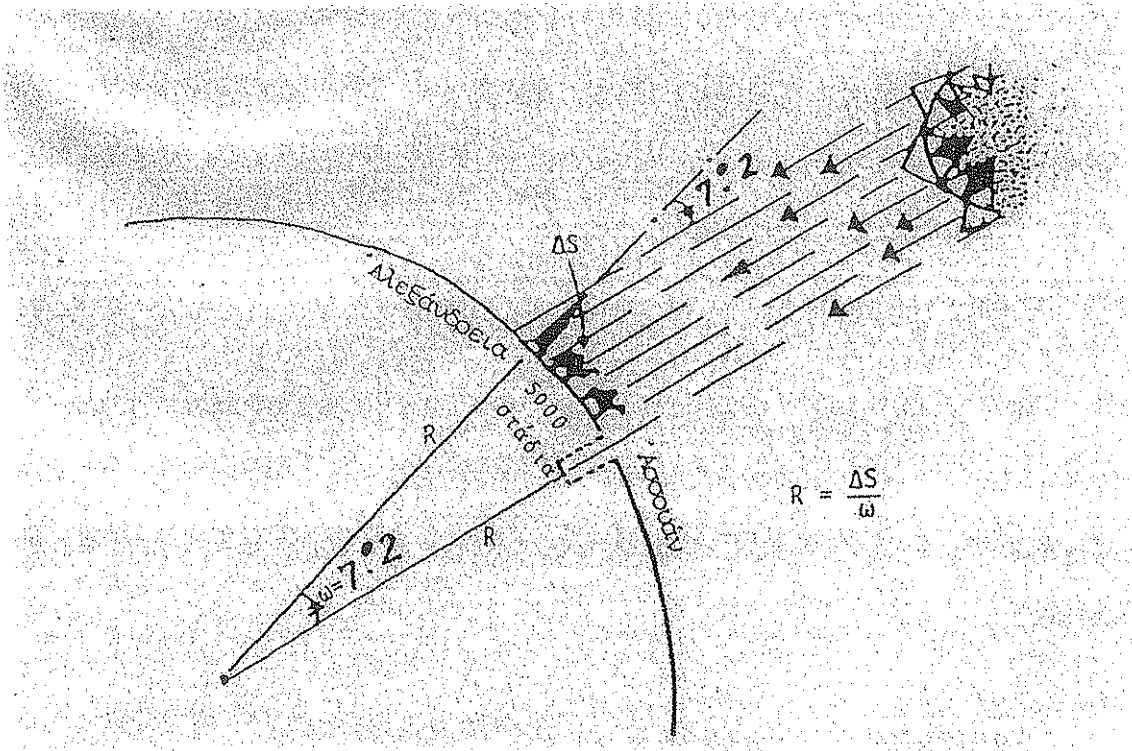
Ο χάρτης είναι μια απεικόνιση της γήινης επιφάνειας υπό ορισμένη κλίμακα. Ο χάρτης αυτός παρουσιάζεται πάνω σε χαρτί (κλασσική μορφή απεικόνισης) ή σε ψηφιακή μορφή (σε αρχείο H/Y) με δυνατότητα αναπαραγωγής του στην κατάλληλη κλίμακα σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών.

Η κλίμακα του χάρτη εξαρτάται από το μέγεθος του τμήματος της γήινης επιφάνειας που πρέπει να απεικονιστεί καθώς και από τις ανάγκες του χρήστη.

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι κυρίως **Γεωδαιτικές** και **Φωτογραμμετρικές**. Στην πράξη όμως εφαρμόζονται και οι δύο συμπληρώνοντας η μία την άλλη.

$$\text{ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ} = \text{ΓΕΑ} + \text{ΔΑΙΩ}$$

Ερατοσθένης, ο θεμελιωτής της Επιστημονικής Γεωδαισίας.



Μέθοδος του Ερατοσθένη

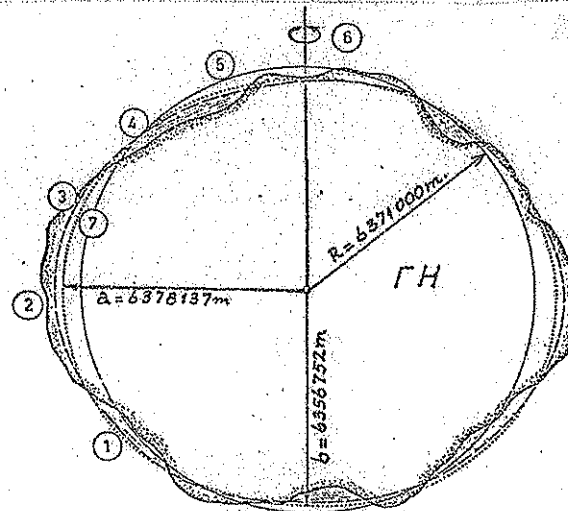
Γεωδαισία ορίζεται η επιστήμη που με παρατηρήσεις, μετρήσεις και υπολογισμούς, προσδιορίζει τις ακριβείς θέσεις σημείων, το σχήμα και το μέγεθος τμημάτων περιοχών που βρίσκονται πάνω ή κοντά στη Φ.Γ.Ε., το σχήμα και το μέγεθος της Γης, καθώς και το Γήινο πεδίο βαρύτητας.

Τα βασικά στοιχεία που μπορούν να παρατηρηθούν με Γεωδαιτική μεθοδολογία και όργανα, είναι οι διευθύνσεις και γωνίες, μήκη, υψομετρικές διαφορές και η ένταση και η διεύθυνση της βαρύτητας.

Η κλασσική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι ο τριγωνισμός και τριπλευρισμός, η όδευση, οι διάφορες μορφές υψομετρίας, οι μετρήσεις βαρύτητας, καθώς και οι μετρήσεις προς τα άστρα.

Τα κλασσικά όργανα που χρησιμοποιούνται είναι τα θεοδόλιχα, οι κάθε είδους μετροταινίες και τηλέμετρα, οι χωροβάτες, τα μικρά βοηθητικά όργανα καθώς και τα βαρυτήμετρα.

ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ



$$\text{G.R.S. } 80^* \quad a = 6378137\text{m} \quad f = \frac{1}{298,257}$$

$$b = 6356752\text{m}$$

Σχ. 1

- 1&4 Μ.σ.θ.
- 2. Φ.Γ.Ε.
- 3. Γεωειδές

- 5. Σφαίρα
- 6. Άξονας περιστροφής της Γης
- 7. Ελλειψοειδές από περιστροφή

Φυσική Γήινη Επιφάνεια (Φ.Γ.Ε.) είναι το όριο μεταξύ της συμπαγούς γης ή της υδάτινης επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας. Η Φ.Γ.Ε κάθε άλλο παρά ομαλή είναι για να ταιριάζει απόλυτα σε μια μαθηματική επιφάνεια.

1^η προσέγγιση → Σφαίρα

Η γη σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενής και συμπαγής, με σχήμα σφαίρας, ακτίνας περίπου 6.371 km.

2^η προσέγγιση → Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Η γη λόγω της περιστροφής της γύρω από τον άξονά της έχει πάρει το σχήμα ενός ελλειψοειδούς εκ περιστροφής που ορίζεται από:

- το μεγάλο ημιάξονα “a” (Ισημερινός ημιάξονας)
- το μικρό ημιάξονα “b” (Πολικός ημιάξονας)
- την επιπλάτυνση $f = (a-b)/a = 1/300$

Ο Ισημερινός άξονας είναι μεγαλύτερος από τον Πολικό περίπου κατά 42.8 km.

Σε αυτήν την προσέγγιση επίσης η γη θεωρείται ομοιογενής και συμπαγής.

**ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΟ
ΓΗΙΝΟ ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΕΣ ΕΚ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ**

- Ελλειψοειδές του Everest
 $a=6.375,653 \text{ km}$ $f= 1/300,8$

- Ελλειψοειδές του Bessel
 $a=6.377,397 \text{ km}$ $f= 1/299,15$

- Ελλειψοειδές του Helmert
 $a=6.378,200 \text{ km}$ $f= 1/298,3$

- Ελλειψοειδές του Hayford
 $a=6.378,388 \text{ km}$ $f= 1/297,0$

- Ελλειψοειδές του Krassowski
 $a=6.378,245 \text{ km}$ $f= 1/298,3$

- Ελλειψοειδές GRS '80
 $a=6.378,137 \text{ km}$ $f= 1/298,257$

3^η προσέγγιση → Γεωειδές

Γεωειδές ορίζεται εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου έλξης και περιστροφής της γης που πλησιάζει περισσότερο στη μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) Η επιφάνεια αυτή είναι σε κάθε σημείο της κάθετη στη διεύθυνση της βαρύτητας.

Το γεωειδές έχει τις αυτές φυσικές ιδιότητες, αλλά πολύ λιγότερες επιφανειακές ανωμαλίες από την πραγματική γη.

Η μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) ορίζεται από το μέσο όρο των στιγμιαίων σταθμών της θάλασσας για μια μεγάλη χρονική διάρκεια. Η μ.σ.θ. προσδιορίζεται σήμερα με τη βοήθεια τεχνητών δορυφόρων με ακρίβεια λίγων εκατοστών.

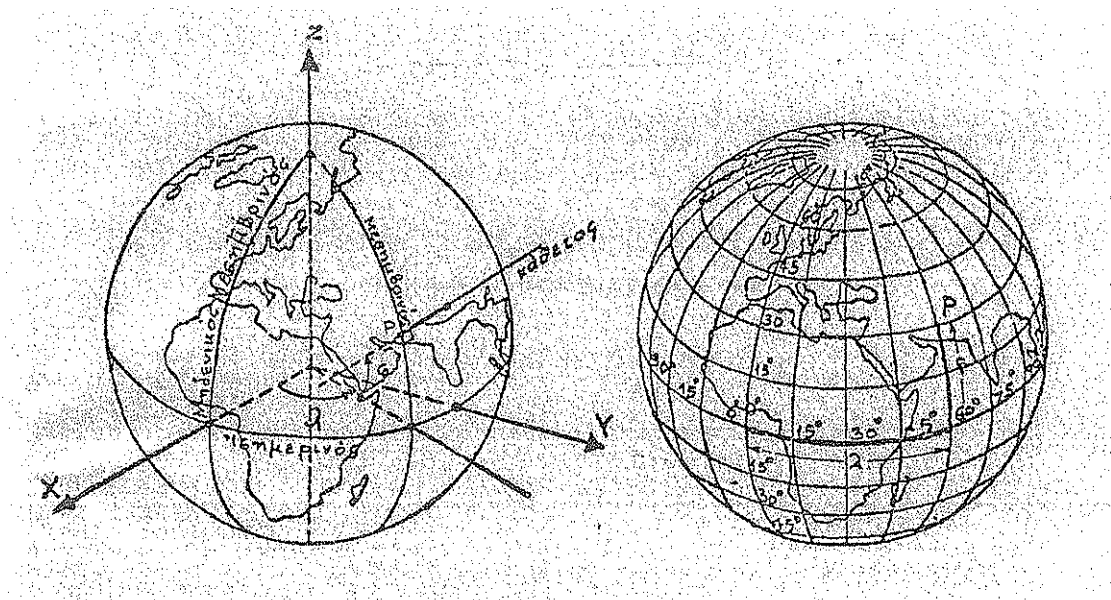
Μεταβολές της μ.σ.θ.

Ημερήσια : μέχρι 10 μέτρα

Μηνιαία: μερικά δέκατα

Ετήσια: μερικά εκατοστά

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ



Το γεωγραφικό σύστημα αναφοράς ή σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων αναφέρεται σε κάποιο από τα ελλειψοειδή που χρησιμοποιούνται στην πράξη ή σε μία σφαίρα, πάνω στο οποίο υπάρχει ένα δίκτυο μεσημβρινών και παραλλήλων.

Ο μεσημβρινός κάθε σημείου είναι ένα επίπεδο που περιλαμβάνει την κάθετο στο σημείο προς την επιφάνεια αναφοράς και τον άξονα περιστροφής της γης.

Ο παράλληλος κάθε σημείου είναι ένα επίπεδο που περιλαμβάνει το σημείο και είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ

(φ,λ,h)

Από τη Φ.Γ.Ε. προβολή στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς ή της σφαίρας κατά τη διεύθυνση της καθέτου στην επιφάνεια αυτή.

Οι γεωγραφικές συντεταταγμένες (φ,λ) μετριώνται σε μοίρες.

Γεωγραφικό πλάτος (φ) ενός σημείου είναι η γωνία που σχηματίζει η κάθετος από το σημείο στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς ή της σφαίρας με το επίπεδο του Ισημερινού.

Ισημερινός είναι ο παράλληλος που διέρχεται από το κέντρο της γης.

Βόρειο ημισφαίριο: 0° έως 90°

Νότιο ημισφαίριο: 0° έως -90°

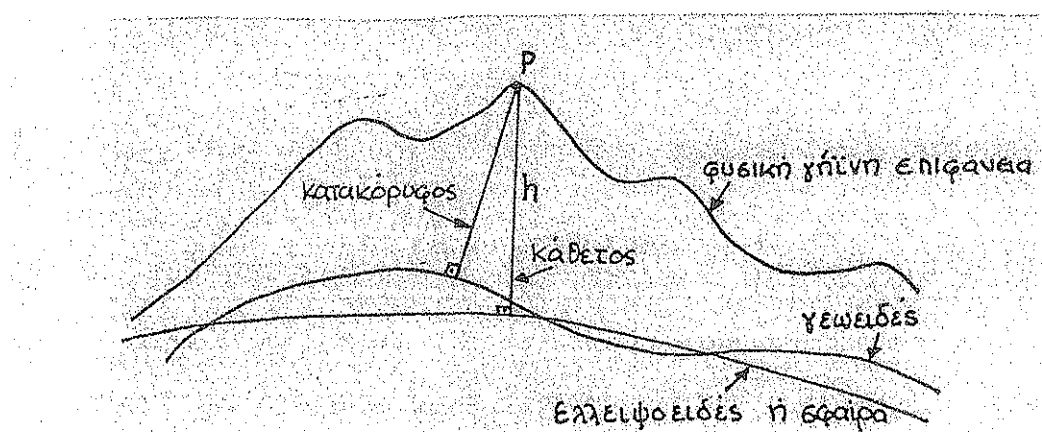
Οι μεσημβρινοί είναι γραμμές με σταθερό γεωγραφικό πλάτος ($\varphi=c$).

Γεωγραφικό μήκος (λ) ενός σημείου είναι η διέδρος γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του μεσημβρινού που διέρχεται από το σημείο και από έναν αυθαίρετα επιλεγμένο μεσημβρινό, που συνήθως είναι ο μεσημβρινός που διέρχεται από το Greenwich.

Το γεωγραφικό μήκος κυμαίνεται από 0° έως 360° .

Οι παράλληλοι είναι γραμμές με σταθερό γεωγραφικό μήκος ($\lambda=c$).

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ



Γεωμετρικό υψόμετρο (h) ή απλά υψόμετρο ονομάζεται η απόσταση του σημείου από το ελλειψοειδές ή τη σφαίρα.

Το γεωμετρικό υψόμετρο μετριέται σε μέτρα.

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ

Η σφαίρα, το ελλειψοειδές εκ περιστροφής και το γεωειδές δεν είναι αναπτυκτές επιφάνειες, όπως είναι π.χ. ο κύλινδρος ή ο κώνος. Δηλαδή είναι αδύνατον να αναπτυχθούν σε επίπεδο, χωρίς να παραμορφωθούν οι γωνίες, τα μήκη, τα σχήματα και τα εμβαδά.

Ο χάρτης όμως είναι επίπεδος.

Η μεταφορά των στοιχείων από το ελλειψοειδές στο επίπεδο γίνεται με χρήση ενός αυθαίρετα εκλεγμένου συστήματος απεικόνισης (προβολής) που συνδέει αμφιμονοσήμαντα τα στοιχεία της επιφάνειας του ελλειψοειδούς ή της σφαίρας με τα αντίστοιχα του επιπέδου.

$$(\varphi, \lambda) \rightarrow (x, y)$$

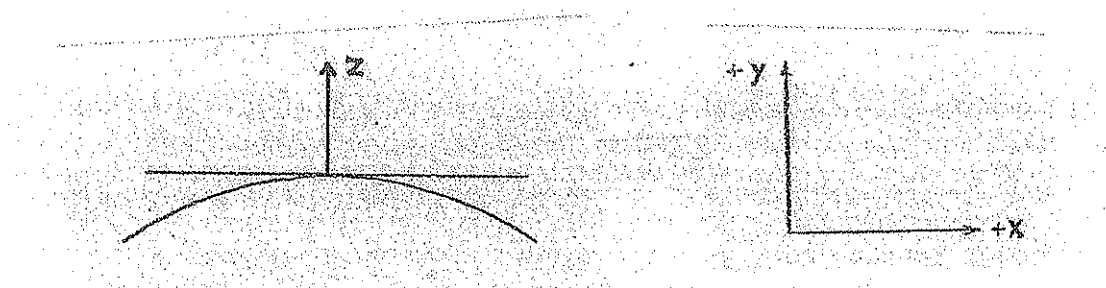
$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

Η εκλογή του προβολικού συστήματος εξαρτάται από το σκοπό που θα εξυπηρετήσει. Υπάρχουν :

- Σύμμορφες προβολές (διατηρούν τις γωνίες).
 - Ισοδύναμες προβολές (διατηρούν τα εμβαδά).
 - Ισαπέχουσες προβολές (διατηρούν τις αποστάσεις)
- κ.ά.

ΤΟ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ



Στις μικρές τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιείται το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, και δεν γίνεται καμία διόρθωση για προβολή. Είναι σαν να προβάλλεται η περιοχή σε ένα επίπεδο που εφάπτεται στο ελλειψοειδές στην περιοχή των μετρήσεων.

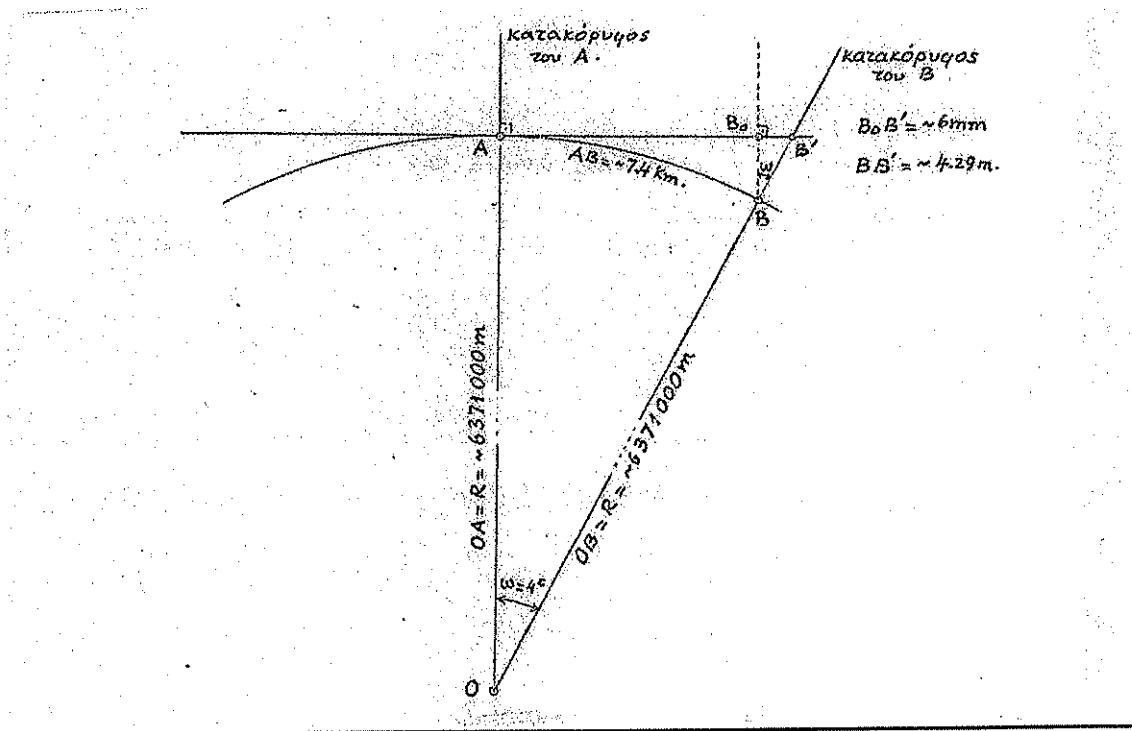
Ως βασικός άξονας (Z) του συστήματος χρησιμοποιείται η κατακόρυφος, που συμπίπτει με τη διεύθυνση της βαρύτητας και υλοποιείται εύκολα ακόμη και με μια λιναίη.

Το επίπεδο (XY) είναι προφανώς κάθετο στην κατακόρυφο.

Ο άξονας των Y παίρνει συνήθως τη διεύθυνση του Βορρά.

Ο άξονας των X παίρνει συνήθως τη διεύθυνση της Ανατολής.

Η επίδραση της σύγκλισης των κατακορύφων



Η επίδραση της σύγκλισης των κατακορύφων για την οριζοντιογραφία είναι πάρα πολύ μικρή. Σε απόσταση περίπου 7,4 km η διόρθωση είναι της τάξης των 6mm.

Στην υψομετρία η επίδραση είναι πολύ μεγαλύτερη. Για το προηγούμενο παράδειγμα των 7,4 km η υψομετρική διόρθωση είναι της τάξης των 4,3m και βεβαίως δεν μπορεί να αγνοηθεί.

Έτσι για την οριζοντιογραφία, χρησιμοποιείται ένα επίπεδο σύστημα και για την υψομετρία ένα σφαιρικό σύστημα αναφοράς.

ΟΡΙΣΜΟΙ

Οριζοντιογραφία μιας `περιοχής είναι η μορφή που έχει η προβολή της περιοχής πάνω σε οριζόντιο επίπεδο. Στην οριζοντιογραφία τα σημεία ορίζονται από τις συντεταγμένες τους X,Y.

Υψομετρία είναι η διαδικασία της μέτρησης υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων που βρίσκονται πάνω στη Φ.Γ.Ε. ή του προσδιορισμού των υψομέτρων σημείων της Φ.Γ.Ε. από μια ορισμένη επιφάνεια αναφοράς, που χρησιμοποιείται σαν αρχή. Σαν βασική επιφάνεια αναφοράς, συνήθως παίρνεται η μ.σ.θ.

Στο χώρο των δύο διαστάσεων του χάρτη, η τρίτη διάσταση αποδίδεται είτε με την αναγραφή υψομέτρου σε κάθε σημείο, είτε έμμεσα με τις ισοϋψείς καμπύλες

Ισοϋψής καμπύλη είναι μια φανταστική γραμμή στην επιφάνεια του εδάφους που όλα τα σημεία της έχουν σταθερό υψόμετρο. Παρουσιάζεται ως μία συνεχής καμπύλη γραμμή πάνω στα διαγράμματα και τους χάρτες.

Οριζόντιο επίπεδο είναι εκείνο το επίπεδο που είναι κάθετο στην κατακόρυφο σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο της. Από κάθε σημείο του χώρου περνάει μόνο ένα οριζόντιο επίπεδο.

Οριζόντια ευθεία είναι εκείνη η ευθεία που είναι κάθετη στην κατακόρυφο.

Κατακόρυφο επίπεδο είναι εκείνο το επίπεδο που περιέχει μία κατακόρυφο.

Απόσταση μεταξύ δύο σημείων Α και Β, είναι το μήκος Α'Β', όπου Α' και Β' είναι οι προβολές των Α και Β στην επιφάνεια αναφοράς κατά την κατακόρυφο.

Εμβαδό ενός κλειστού πολυγώνου Α Β Γ Δ Α είναι το εμβαδόν της προβολής Α' Β' Γ' Δ' Α' στην επιφάνεια αναφοράς.

^

Οριζόντια γωνία ΒΑΓ=α είναι το μέτρο της διέδρης γωνίας που σχηματίζεται από τα επίπεδα που περιέχουν την κατακόρυφο στο σημείο Α και τα σημεία Β και Γ.

Κατακόρυφη γραμμή είναι μια γραμμή κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο. Αν μια κατακόρυφη γραμμή έχει διεύθυνση προς το κέντρο της γης τότε θεωρείται ότι κατευθύνεται προς το Ναδίρ. Αν έχει αντίθετη διεύθυνση τότε θεωρείται ότι κατευθύνεται προς το ζενίθ.

Κατακόρυφη γωνία (ν) ή γωνία ύψους της AB είναι η γωνία που σχηματίζει η AB με την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο. Η συμπληρωματική γωνία της γωνίας ύψους είναι η ζενίθια γωνία (z).

Υψόμετρο σημείου A (h_A) είναι η κατακόρυφη απόσταση πάνω ή κάτω από κάποια ισοδυναμική επιφάνεια που θεωρείται ως επιφάνεια αναφοράς. Συνιθίζεται ως επιφάνεια αναφοράς να εκλέγεται η μ.σ.θ. που μπορεί να θεωρηθεί με ικανοποιητική προσέγγιση σφαιρική για μικρή έκταση.

Υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων A και B (Δh_{AB}) είναι η διαφορά των υψομέτρων τους $h_B - h_A$. Η υψομετρική διαφορά Δh_{AB} είναι ανεξάρτητη από τη θέση της επιφάνειας αναφοράς.

Ευθυγραμμία είναι η τομή του κατακόρυφου επιπέδου με τη Φ.Γ.Ε., η οποία προβάλλεται σε ευθεία γραμμή στο οριζόντιο επίπεδο.

ΕΙΔΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι μετρήσεις που εκτελούνται στη Γεωδαισία διακρίνονται σε:

- μετρήσεις μηκών (κεκλιμένων και οριζόντιων)
- μετρήσεις υψομέτρων και υψομετρικών διαφορών
- μετρήσεις γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων)

Από αυτές τις μετρήσεις μπορούν μετά να γίνουν και υπολογισμοί εμβαδών.

Ως μονάδες μήκους και υψομέτρου χρησιμοποιούνται τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια του μέτρου και από αυτά στην πράξη χρησιμοποιούνται το km, το m, το cm και το mm.

Ως βασική μονάδα μέτρησης επιφάνειας είναι το m^2 αλλά πολύ συχνά χρησιμοποιείται και το στρέμμα $= 10^3 m^2$ για μεγάλες εκτάσεις.

Βασική μονάδα μέτρησης γωνιών είναι το ακτίνιο (rad) που αντιστοιχεί σε γωνία με μήκος τόξου ίσο με την ακτίνα.

$$2\pi \text{ rad} = 1 \text{ περιφέρεια} = 4 \text{ ορθές γωνίες.}$$

Το ακτίνιο χρησιμοποιείται στα μαθηματικά, καθώς και σε γεωδαιτικούς υπολογισμούς. Συνήθως όμως οι μετρήσεις γωνιών γίνονται με πιο πρακτικές μονάδες όπως οι μοίρες (degrees, εξηκονταδικό σύστημα) ή οι βαθμοί (grades, εκατονταδικό σύστημα).

$$\begin{array}{ll} \text{Είναι γνωστό ότι } 60'' = 1' & 100^{\text{cc}} = 1^{\text{c}} \\ 60' = 1^{\circ} & 100^{\text{c}} = 1^{\text{g}} \\ 360^{\circ} = 4 \text{ ορθές} & 400^{\text{g}} = 4 \text{ ορθές} \end{array}$$

Η συνηθισμένη γραφή γωνιών σε μοίρες είναι:

$$123^{\circ} 25' 30'' \quad \text{ή} \quad 123^{\circ} 25,5' \quad \text{ή} \quad 123,425^{\circ}$$

Η συνηθισμένη γραφή των γωνιών σε βαθμούς είναι:

$$319^{\text{g}} 89^{\text{c}} 48^{\text{cc}} \quad \text{ή} \quad 319,8948^{\text{g}}$$

Το εκατονταδικό σύστημα με τους βαθμούς είναι το σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα στις γεωδαιτικές μετρήσεις και υπολογισμούς.

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΓΩΝΙΩΝ

Για μια μικρή γωνία θ είναι γνωστό ότι θα ισχύει:

$$\theta \text{ σε rad} = \text{arc}\theta = \sin\theta = \tan\theta$$

Εάν η γωνία θ είναι εκφρασμένη σε δευτερόλεπτα, το τόξο της ή το ημίτονό της ή η εφαπτομένη της μπορεί να προσδιοριστεί με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned}\text{arc}\theta &= \theta^{\text{cc}} \times \text{arc } 1^{\text{cc}} && (\text{ακριβής σχέση}) \\ \sin\theta &= \theta^{\text{cc}} \times \sin 1^{\text{cc}} && (\text{προσεγγιστική σχέση}) \\ \tan\theta &= \theta^{\text{cc}} \times \tan 1^{\text{cc}} && (\text{προσεγγιστική σχέση})\end{aligned}$$

Γνωρίζοντας ότι:

$$\text{arc } 1^{\text{cc}} = \sin 1^{\text{cc}} = \tan 1^{\text{cc}} = \frac{1}{636620} = \frac{1}{\rho^{\text{cc}}}$$

$$\text{arc } 1'' = \sin 1'' = \tan 1'' = \frac{1}{206265} = \frac{1}{\rho''}$$

προκύπτει τελικά:

$$\theta_{\text{rad}} = \frac{\theta^{\text{cc}}}{\rho^{\text{cc}}} = \frac{\theta''}{\rho''}$$

ΚΛΙΜΑΚΕΣ

Κάθε σχέδιο, διάγραμμα και χάρτης είναι αναλογικές παρουσιάσεις, πάνω σε ένα επίπεδο χαρτί, πραγματικών καταστάσεων που βρίσκονται πάνω στο έδαφος.

Η σχέση μιας διάστασης πάνω σε ένα σχέδιο, διάγραμμα ή χάρτη με την ίδια τη διάσταση πάνω στο έδαφος καλείται κλίμακα του σχεδίου, του διαγράμματος ή του χάρτη.

Διακριτική ικανότητα ματιού 0.25 mm.

Κλίμακα	Αντιστοιχία με πραγματικότητα	Min μήκος στο χάρτη (m)
1:2000	1mm = 2m	0.50
1:1000	1mm = 1m	0.25
1:500	1mm = 0.5m	0.12
1:200	1mm = 0.2m	0.05
1:100	1mm = 0.1m	0.02
1:50	1mm = 0.05m	0.01
1:20	1mm = 0.02m	0.005

Εάν η αναλογική σχέση είναι μικρή, τότε είναι η κλίμακα μεγάλη. Αντίθετα όταν η αναλογική σχέση είναι μεγάλη, τότε είναι η κλίμακα μικρή.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί ότι όσο η κλίμακα μικραίνει, τόσο όλο και περισσότερες πληροφορίες θα πρέπει να δίνονται συμβολικά σε γενικευμένη μορφή π.χ. τα κτίρια σε μια αστική περιοχή θα δείχνονται σαν οικοδομικά τετράγωνα παρά σαν αυτοτελή.

Η κλίμακα πρέπει πάντοτε να υπάρχει γραμμένη πάνω σε κάθε φύλλο αναλογικής παρουσίασης, με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- α) με αναλογική παρουσίαση, αριθμητικά π.χ. 1:1000.
- β) με λέξεις, περιγραφικά π.χ. ένα cm ισοδυναμεί σε 10m.
- γ) με σχεδίαση, σημειώνοντας τις πραγματικές τιμές των μηκών στο έδαφος.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παρουσίασης μιας κλίμακας είναι ο πρώτος, συχνά χρησιμοποιείται ο τρίτος και σπανιότερα εμφανίζεται ο δεύτερος.

Κλίμακες Τοπογραφικών Χαρτών

1: 10.000 έως 1:100.000

Κλίμακες Τοπογραφικών Διαγραμμάτων

1: 50 έως 1:5.000

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι ακριβή στο βαθμό που τα όργανα που γίνονται οι μετρήσεις είναι ακριβή.
- Αυτό σημαίνει ότι αριθμοί που αντιπροσωπεύουν αποτελέσματα μετρήσεων είναι προσεγγιστικές τιμές του μεγέθους που μετριέται.
- Από ορισμό ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων σε κάθε τιμή του αποτελέσματος μιας μέτρησης έχει τα «σίγουρα» ψηφία του καθώς και το τελευταίο ψηφίο που είναι «αβέβαιο», γιατί έχει κατά κανόνα προκύψει από κάποια εκτίμηση.

Π.χ. έστω 25,433 m το μήκος που μετρήθηκε με μια μετροταινία που έχει υποδιαίρέσεις σε cm.



το αποτέλεσμα έχει:	5 σημαντικά ψηφία
	4 σίγουρα ψηφία
	1 αβέβαιο ψηφίο

- Για να υπάρχει συνέπεια θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο ακριβής αριθμός των σημαντικών ψηφίων που προκύπτει από τη μέτρηση, διαφορετικά όταν παραλείπονται ή προστίθενται ψηφία, το αποτέλεσμα θα είναι εσφαλμένο.
- Πολλές φορές ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων συγχέεται με τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων.
- Είναι πιθανό τα δεκαδικά ψηφία να πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να διατηρηθεί ο ακριβής αριθμός των σημαντικών ψηφίων, χωρίς όμως απαραίτητα να δηλώνουν σημαντικά ψηφία.
- Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων σε ένα αριθμό μειώνεται με το στρογγύλεμα.
- Στρογγύλεμα ενός αριθμού που έχει π.χ. προκύψει σαν αποτέλεσμα αριθμητικών πράξεων είναι η διαδικασία της απόρριψης ενός ή περισσότερων ψηφίων του ίδιου του αριθμού, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να περιέχει μόνο όσα ψηφία είναι σημαντικά ή απαραίτητα για παραπέρα υπολογισμούς ή άλλη χρήση.

ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗΣ

Εξασφαλίζεται το ελάχιστο δυνατό σφάλμα εάν το στρογγύλεμα του αριθμού γίνεται με τους ακόλουθους κανόνες:

A) Εάν είναι αναγκαία η χρήση n ψηφίων του αριθμού θα πρέπει να αγνοηθούν όλα τα ψηφία του αριθμού προς τα δεξιά μέχρι το $n+1$.

B) Εξετάζεται το ψηφίο $n+1$ του αριθμού.:

1. Εάν είναι 0 μέχρι και 4, τότε ο αριθμός παραλείπεται, π.χ. ο 1319,754137 στρογγυλεύεται σε 6 σημαντικά ψηφία σε 1219,75.
2. Εάν είναι 6 μέχρι και 9, τότε το ψηφίο πάλι παραλείπεται και το νιοστό ψηφίο αυξάνεται κατά μία μονάδα, π.χ. ο 739,68739 στρογγυλεύεται σε 5 σημαντικά ψηφία σαν 739,69.
3. Εάν είναι 5 και το νιοστό ψηφίο είναι ζυγός αριθμός, τότε παραλείπεται, π.χ. ο 39,145 στρογγυλεύεται σε 4 σημαντικά ψηφία σε 39,14.
4. Εάν είναι 5 και το νιοστό ψηφίο μονός αριθμός, τότε παραλείπεται και το νιοστό ψηφίο αυξάνεται κατά μία μονάδα π.χ. ο 39,155 στρογγυλεύεται σε 4 σημαντικά ψηφία σε 39,16.

ΠΡΑΞΕΙΣ ΜΕ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ

Στην περίπτωση πρόσθεσης ή αφαίρεσης, το τελευταίο σημαντικό ψηφίο θα πρέπει να συμφωνεί με την τελευταία πλήρη στήλη σημαντικών ψηφίων στους αριθμούς που προστίθενται ή αφαιρούνται, π.χ.

$$\begin{array}{r} 1,8235 \\ 327,33 \\ 13,713 \\ \hline 342,8665 \text{ επομένως } 342,87 \end{array}$$

Στην περίπτωση πολλαπλασιασμού ή διαίρεσης ή και σε μικτή περίπτωση, το αποτέλεσμα των αριθμητικών πράξεων δεν θα πρέπει να έχει περισσότερα σημαντικά ψηφία από τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων του αριθμού με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία που χρησιμοποιείται, π.χ.

$$2(2,15 \times 11.1234) = 47.8$$

Συνήθως οι ενδιάμεσοι υπολογισμοί γίνονται διατηρώντας ένα ή και περισσότερα σημαντικά ψηφία με την προϋπόθεση όμως ότι η τελική απάντηση θα δοθεί στρογγυλεμένη στον ακριβή αριθμό των σημαντικών ψηφίων.

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης που είναι σύγκριση του μεγέθους με κάποια μονάδα, δεν μπορεί ποτέ να θεωρηθεί πώς δίνει την αληθινή τιμή του μεγέθους, αλλά μια εκτίμηση.
- Έτσι κάθε μέτρηση περιέχει ένα σφάλμα που η αληθινή του τιμή δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί, γιατί δεν είναι γνωστή η αληθινή τιμή του μεγέθους.
- Για μεγαλύτερη σιγουριά, για τον προσδιορισμό της τιμής ενός μεγέθους, γίνονται περισσότερες από μία μετρήσεις.
- Από το σύνολο των μετρήσεων παρουσιάζεται το πρόβλημα, να βρεθεί η καλύτερη εκτίμηση ενός μεγέθους, πόσο καλές ήταν οι μετρήσεις που έδωσαν το συγκεκριμένο αποτέλεσμα και πόσο καλά προσδιορίστηκε το αποτέλεσμα.

ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Σφάλματα που οφείλονται σε απροσεξία του παρατηρητή, ονομάζονται χονδροειδή ή και λάθη, προσδιορίζονται εύκολα με επανάληψη της μέτρησης και αποφεύγονται αν ο παρατηρητής είναι προσεκτικός.

Υπάρχουν όμως σφάλματα που οφείλονται σε:

1. φυσικά αίτια όπως μεταβολές θερμοκρασίας, υγρασίας κ.λ.π.,
2. ατέλειες οργάνων όπως κακή διαίρεση οριζόντιου κύκλου ενός θεοδόλιχου ή μετροταινία με διαφορά από το πρότυπο κ.λ.π.
3. στη λειτουργία των ανθρώπινων αισθήσεων (προσωπικά σφάλματα).

Τα σφάλματα αυτά μπορεί να είναι ή συστηματικά ή τυχαία, δεν είναι δυνατόν να εξαλειφθούν, αλλά μπορούν να περιοριστούν με προσεκτικές μετρήσεις και κατάλληλες αναγωγές.

Συστηματικά είναι εκείνα τα σφάλματα που παρουσιάζουν σταθερότητα ή περιοδικότητα σε μέγεθος και πρόσημο. Σε μεγάλο ποσοστό τα συστηματικά σφάλματα υπακούουν σε κάποιο φυσικό νόμο, οπότε μπορούν να υπολογιστούν.

Τυχαία είναι εκείνα τα σφάλματα που η συμπεριφορά τους μπορεί να περιγραφεί μόνο από νόμους της τύχης και αντιμετωπίζονται με μεθόδους στατιστικής.

ΑΚΡΙΒΕΙΑ – ΟΡΘΟΤΗΤΑ

Αποχή είναι η διαφορά δύο τιμών ενός μεγέθους. Αν οι αποχές των μετρήσεων είναι μικρές, σημαίνει πως δεν υπάρχουν χονδροειδή σφάλματα και πως τα τυχαία σφάλματα είναι μικρά. Δεν εξασφαλίζεται όμως πως δεν υπάρχει κάποιο συστηματικό σφάλμα.

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι οι μετρήσεις είναι ακριβείς χωρίς να ξέρουμε αν είναι ορθές.

Η ακρίβεια είναι έννοια που αναφέρεται στο πόσο πλησιάζουν οι μετρήσεις μεταξύ τους. Εξαρτάται από την ευαισθησία του οργάνου και την ικανότητα του παρατηρητή και μπορεί να εκτιμηθεί για μια σειρά μετρήσεων που έγιναν στο ίδιο σύστημα «Όργανο – παρατηρητής – συνθήκες».

Αντίθετα η ορθότητα είναι έννοια που αναφέρεται στο πόσο οι μετρήσεις πλησιάζουν την αληθινή τιμή. Η εκτίμηση της ορθότητας των μετρήσεων δεν μπορεί να γίνει από τα αποτελέσματα μιας σειράς μετρήσεων με το ίδιο σύστημα «Όργανο – παρατηρητής – συνθήκες».

ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Αληθές σφάλμα

Αν: X η αληθινή τιμή ενός μεγέθους

x_i το αποτέλεσμα μιας μέτρησης

τότε ε_i το «αληθές σφάλμα» της μέτρησης θα είναι:

$$\varepsilon_i = x_i - X$$

Αλλά η X δεν είναι γνωστή και δεν μπορεί να εκτιμηθεί από μια σειρά μετρήσεων όσο καλές και πολλές κι αν είναι. Έτσι δεν μπορεί να υπολογιστεί το «αληθές σφάλμα».

Ακριβής τιμή

Αν όλες οι μετρήσεις μιας σειράς δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα $x_1=x_2=\dots=x_n$ τότε το αποτέλεσμα αυτό θα είναι η ακριβής τιμή «α» του μεγέθους.

Αυτό βέβαια στην πράξη είναι αδύνατον. Αν όμως το πλήθος των παρατηρήσεων πλησίαζε το άπειρο τότε η ακριβής τιμή θα ισούταν με το μέσο όρο των παρατηρήσεων.

$$\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum x_i}{n}$$

Τυχαίο σφάλμα

Αν: x_i το αποτέλεσμα μιας μέτρησης

α η ακριβής τιμή

τότε v_i το τυχαίο σφάλμα της μέτρησης θα είναι:

$$v_i = x_i - \alpha$$

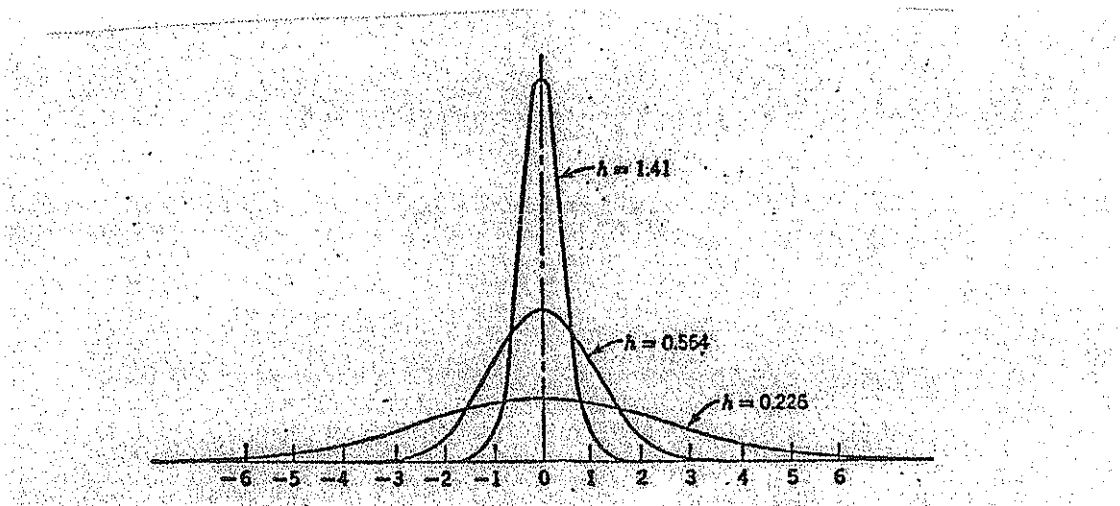
Από τη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική είναι γνωστό ότι:

- Η συχνότητα εμφάνισης ενός θετικού σφάλματος είναι ίδια με τη συχνότητα ενός αρνητικού.
- Τα μικρά σφάλματα εμφανίζονται πιο συχνά από ότι τα μεγάλα.
- Μεγάλα σφάλματα δεν εμφανίζονται καθόλου ή έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να εμφανιστούν.

Από πειραματικές και θεωρητικές μελέτες έχειδειχθεί ότι η πιθανότητα $P(x)$ εμφάνισης ενός σφάλματος με τιμή από x έως $x+dx$ δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από τη σχέση:

$$P(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} dx$$

Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας ή κανονικής κατανομής του Gauss.



Γραφική παράσταση της κανονικής κατανομής για διάφορες τιμές h .

Όσο μεγαλώνει η παράμετρος h τόσο πιο οξεία γίνεται η καμπύλη, που σημαίνει ότι όσο μεγαλώνει η h τόσο μικραίνει η διασπορά των σφαλμάτων.

Έτσι η παράμετρος h εκφράζει την ακρίβεια των μετρήσεων.

Το εμβαδόν της περιοχής που περικλείεται από τον άξονα των τετμημένων και την καμπύλη της κανονικής κατανομής εκφράζει την πιθανότητα που έχει ένα σφάλμα να κυμαίνεται από $-\infty$ έως $+\infty$ είναι ίσο με 1 (βεβαιότητα).

Ισοβαρείς παρατηρήσεις

Οι μετρήσεις ενός μεγέθους που έγιναν όλες με το ίδιο σύστημα «όργανο – παρατηρητής – συνθήκες» μπορεί να θεωρηθεί πως έχουν όλες την ίδια ακρίβεια και ότι θα πρέπει να συμβάλλουν όλες το ίδιο στο τελικό αποτέλεσμα.

Οι μετρήσεις αυτές ονομάζονται ισοβαρείς.

Ανισοβαρείς παρατηρήσεις

Αν οι μετρήσεις ενός μεγέθους έγιναν από διαφορετικό σύστημα «όργανο – παρατηρητής – συνθήκες», τότε οι μετρήσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουν την ίδια ακρίβεια, πράγμα που σημαίνει πως δεν πρέπει να συμβάλλουν όλες το ίδιο στο τελικό αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση αυτή οι μετρήσεις ονομάζονται ανισοβαρείς.

Καλύτερη τιμή

Στην πράξη οι μετρήσεις έχουν πάντα ένα περιορισμένο αριθμό, που σημαίνει πώς δεν μπορεί να υπολογιστεί η ακριβής τιμή ενός μεγέθους και φυσικά δεν είναι γνωστά τα τυχαία σφάλματα των μετρήσεων.

Έτσι από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορεί να υπολογιστεί η καλύτερη εκτίμηση της ακριβούς τιμής, που ονομάζεται εν συντομία «καλύτερη τιμή».

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Δηλαδή, η καλύτερη τιμή « $\bar{x}$ » ενός μεγέθους προκύπτει από το μέσο όρο των παρατηρήσεων.

Πιθανό σφάλμα της μίας μέτρησης – Υπόλοιπο

Αν: $\bar{x}$ η αληθινή τιμή ενός μεγέθους

x_i το αποτέλεσμα μιας μέτρησης

τότε v_i το «πιθανό ή φαινόμενο σφάλμα» της μέτρησης είναι:

$$v_i = x_i - \bar{x}$$

Αν θεωρηθεί ως v_i η διαφορά:

$$v_i = \bar{x} - x_i$$

τότε το v_i ονομάζεται υπόλοιπο.

Τυπικό σφάλμα της μίας παρατήρησης

Η παράμετρος H που είναι ενδεικτική της ακρίβειας των μετρήσεων, γράφεται σαν:

$$h = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}$$

όπου σ το τυπικό σφάλμα της κάθε μέτρησης της συγκεκριμένης σειράς μετρήσεων.

Ονομάζεται τυπικό σφάλμα γιατί χαρακτηρίζει (τυποποιεί) την συγκεκριμένη σειρά μετρήσεων και ορίζεται από τη σχέση:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[UU]}{n}}$$

Αυτή η σχέση έχει εφαρμογή όταν $n \rightarrow \infty$.

Στις περιπτώσεις πεπερασμένου αριθμού μετρήσεων γίνεται εκτίμηση του τυπικού σφάλματος και η καλύτερη εκτίμηση δίνεται από τη σχέση:

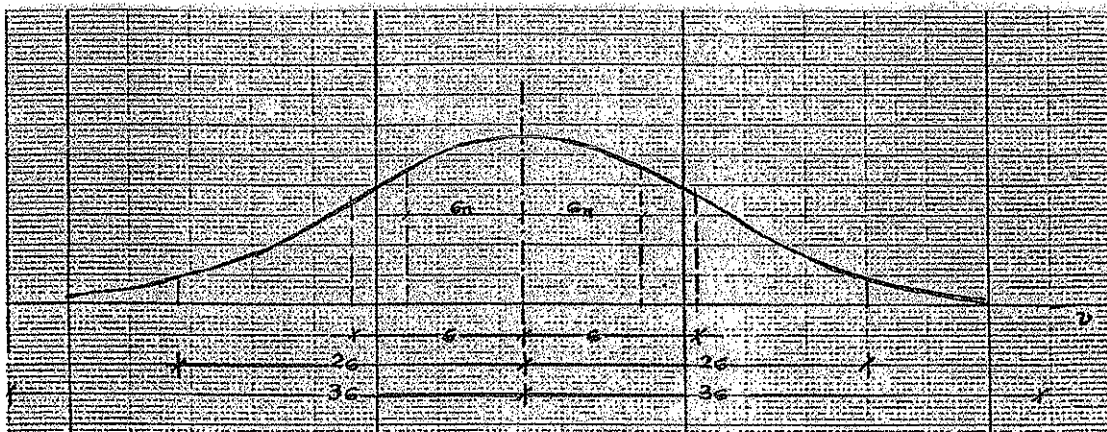
$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[UU]}{n-1}}$$

Η ποσότητα $n-1$ ονομάζεται βαθμός ελευθερίας και δείχνει πόσες μετρήσεις περισσότερες από τις απαραίτητες έγιναν για τον προσδιορισμό του μεγέθους.

Μεταβλητότητα

Το τετράγωνο του τυπικού σφάλματος ονομάζεται (σ^2) μεταβλητότητα.

Μέτρα ακρίβειας των μετρήσεων



Το τυπικό σφάλμα σ δίνει ένα μέτρο για την ακρίβεια των μετρήσεων.

Αν η εξίσωση της κανονικής κατανομής ολοκληρωθεί μεταξύ των ορίων $-\sigma$ και $+\sigma$, το εμβαδόν που προκύπτει είναι ίσι με 0.6826 και εκφράζει την πιθανότητα με την οποία το αποτέλεσμα μιας μέτρησης του μεγέθους μπορεί να κυμαίνεται από $x-\sigma$ έως $x+\sigma$

ή

ότι τα 68.3% των πιθανών σφαλμάτων αναμένεται να έχουν τιμές από $-\sigma$ έως $+\sigma$.

Άλλα μέτρα ακρίβειας είναι τα 2σ και 3σ που αντιστοιχούν σε πιθανότητες 95,4% και 99,7% αντίστοιχα.

Μετάδοση σφαλμάτων

Αν για τον προσδιορισμό ενός μεγέθους y έχουν μετρηθεί τα μεγέθη x_1 και x_2 από 'n' φορές και είναι γνωστό ότι το μέγεθος y συνδέεται με τα x_1 και x_2 με τη σχέση π.χ.

$$y = \alpha x_1 + \beta x_2$$

Τότε δημιουργείται η ανάγκη να υπολογιστεί η καλύτερη τιμή του y , το τυπικό σφάλμα ενός προσδιορισμού του y και το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής.

Θεωρείται αυταπόδεικτο ότι η καλύτερη τιμή του y θα είναι:

$$y = \alpha x_1 + \beta x_2$$

Τότε το τυπικό σφάλμα σ_y δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_y = \pm \sqrt{\alpha^2 \sigma_{x_1}^2 + \beta^2 \sigma_{x_2}^2}$$

Γενικότερα αποδεικνύεται ότι για μια σχέση $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \text{και}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}$$

Η σχέση αυτή αποτελεί τη γενική έκφραση του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων για την περίπτωση που τα μεγέθη $x_1, x_2, \dots, x_n$ έχουν μετρηθεί ανεξάρτητα.

Τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής

Το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής είναι μια εκτίμηση της αποχής της από την ακριβή τιμή και φυσικά εξαρτάται από την ποιότητα των μετρήσεων (από το τυπικό σφάλμα της μίας μέτρησης).

Εφόσον οι παρατηρήσεις θεωρούνται ισοβαρείς όλες θα έχουν την ίδια ακρίβεια, που σημαίνει:

$$\sigma_{x_1} = \sigma_{x_2} = \sigma_{x_3} = \dots = \sigma_{x_n} = \sigma$$

Η καλύτερη τιμή από n ισοβαρείς παρατηρήσεις $x_1, x_2, \dots, x_n$, όπως αναφέρθηκε είναι:

$$x = \frac{\sum x_i}{n} \Leftrightarrow$$

$$x = \frac{x_1}{n} + \frac{x_2}{n} + \dots + \frac{x_n}{n}$$

Εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων προκύπτει ότι:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n^2} \sigma^2 + \frac{1}{n^2} \sigma^2 + \dots + \frac{1}{n^2} \sigma^2 \Leftrightarrow$$

$$\sigma_x^2 = \frac{n}{n^2} \sigma^2 \Leftrightarrow$$

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$$

Γενικεύοντας το τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής είναι:

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}$$

Αναλογική έκφραση σφαλμάτων

Τα σφάλματα γραμμικών μεγεθών που συνήθως εξαρτώνται από τα μεγέθη που αναφέρονται, εκφράζονται συχνά σαν αναλογικά σφάλματα με τον λόγο:

$$\frac{\sigma_s}{S} = \frac{1}{K} \quad \boxed{\text{ή σε p.p.m.}^{(*)}}$$

Όπου: σ_s = το οποιοδήποτε σφάλμα στο μήκος

S = το μήκος

Τα γωνιακά σφάλματα δεν έχει νόημα να εκφραστούν αναλογικά, γιατί είναι ανεξάρτητα από τα μεγέθη των γωνιών.

Το γωνιακό όμως σφάλμα μιας διεύθυνσης ij εκφρασμένο σε rad, δίνει το αναλογικό γραμμικό σφάλμα σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ij . Έτσι συχνά εκφράζονται και τα γωνιακά σφάλματα σε p.p.m.^(*) ή

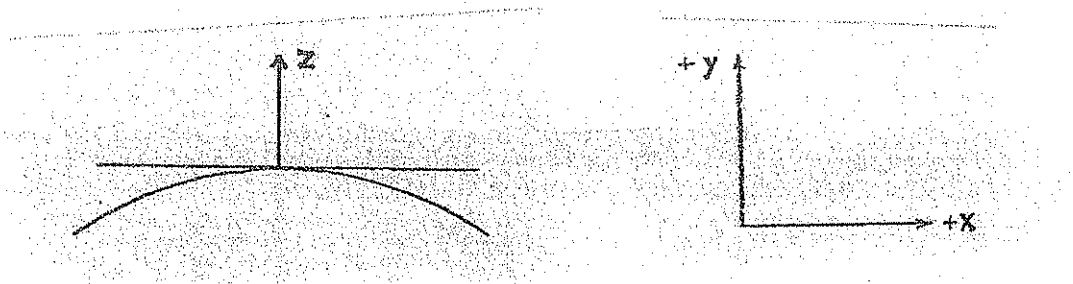
$$\sigma_{\gamma}^{rad} = \frac{1}{K}$$

^(*) p.p.m = parts per million = μέρη στο εκατομμύριο

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Αληθινή τιμή	X
Ακριβής τιμή	Σx_i $\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Sigma x_i}{n}$
Καλύτερη τιμή	$\frac{\Sigma x_i}{n}$ $\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n}$
Αληθές σφάλμα	$\epsilon_i = x_i - X$
Τυχαίο σφάλμα	$v_i = x_i - \alpha$
Πιθανό σφάλμα της μιας μέτρησης	$v_i = x_i - \bar{x}$
Τυπικό σφάλμα της μιας παρατήρησης για $n \rightarrow \infty$	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$
Τυπικό σφάλμα της μιας παρατήρησης για πεπερασμένο αριθμό μετρήσεων	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$
Μεταβλητότητα	σ^2
Τυπικό σφάλμα της καλύτερης τιμής	$\sigma_{\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$
Νόμος μετάδοσης σφαλμάτων	$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}$
Γενικός τύπος του τυπικού σφάλματος της καλύτερης τιμής	$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2}$

ΤΟ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ



Στις μικρές τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιείται το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, και δεν γίνεται καμία διόρθωση για προβολή. Είναι σαν να προβάλλεται η περιοχή σε ένα επίπεδο που εφάπτεται στο ελλειψοειδές στην περιοχή των μετρήσεων.

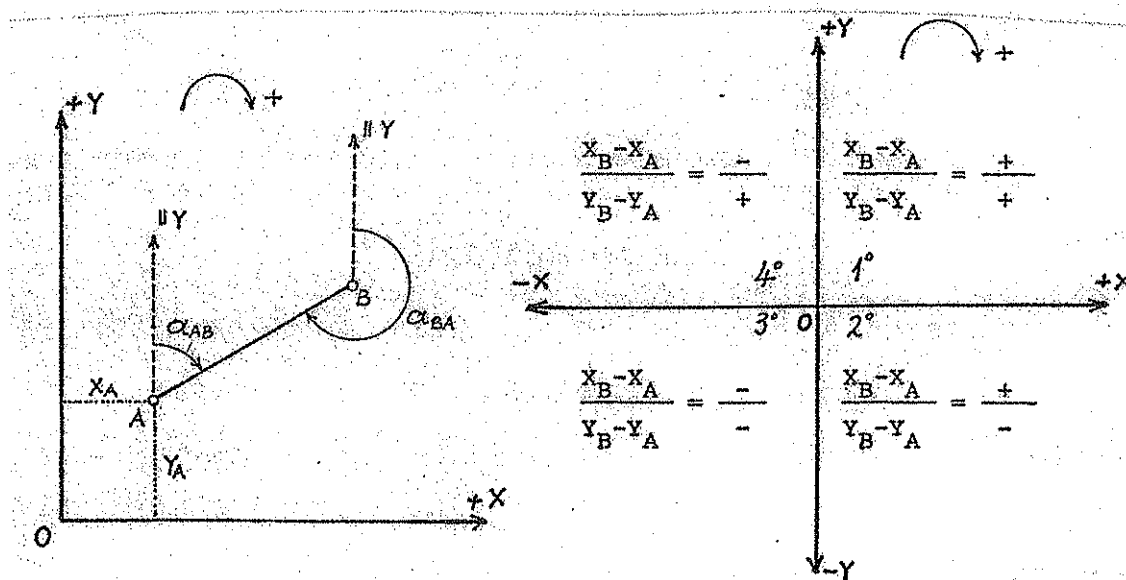
Ως βασικός άξονας (Z) του συστήματος χρησιμοποιείται η κατακόρυφος, που συμπίπτει με τη διεύθυνση της βαρύτητας και υλοποιείται εύκολα ακόμη και με μια λιναίη.

Το επίπεδο (XY) είναι προφανώς κάθετο στην κατακόρυφο.

Ο άξονας των Y παίρνει συνήθως τη διεύθυνση του Βορρά.

Ο άξονας των X παίρνει συνήθως τη διεύθυνση της Ανατολής.

Γωνία Διεύθυνσης

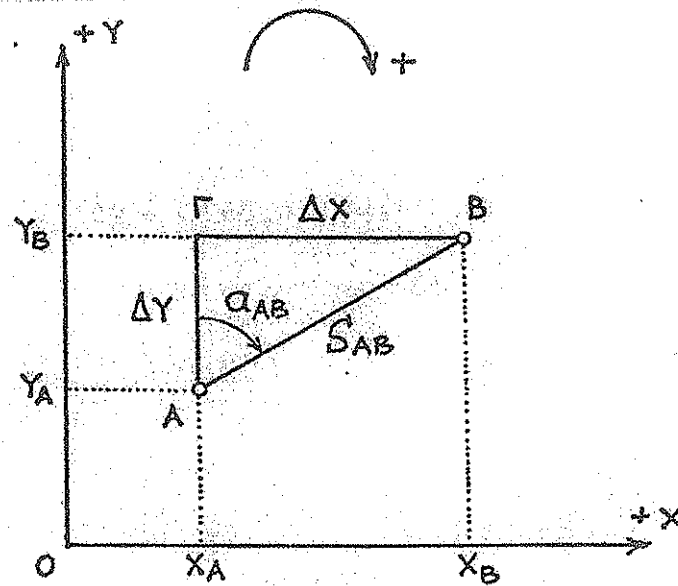


Στη Γεωδαισία οι γωνίες μετριοούνται δεξιόστροφα. Η θέση ενός σημείου A ορίζεται με τις οριζόντιες συντεταγμένες X_A και Y_A.

Η διεύθυνση (κατεύθυνση) μιας γραμμής A,B ορίζεται με τη «γωνία διεύθυνσεως» α_{AB} ή «γωνία προσανατολισμού». Η γωνία α_{AB} είναι η γωνία που σχηματίζει η γραμμή AB με τον άξονα των

Προφανώς ισχύει: α_{BA} = α_{AB} + 200°

Προσδιορισμός των συντεταγμένων



Αν δίνονται $A(X_A, Y_A)$, α_{AB} και S_{AB} τότε οι συντεταγμένες του σημείου B μπορούν να υπολογιστούν με απλή επίλυση του τριγώνου ABΓ από τις σχέσεις:

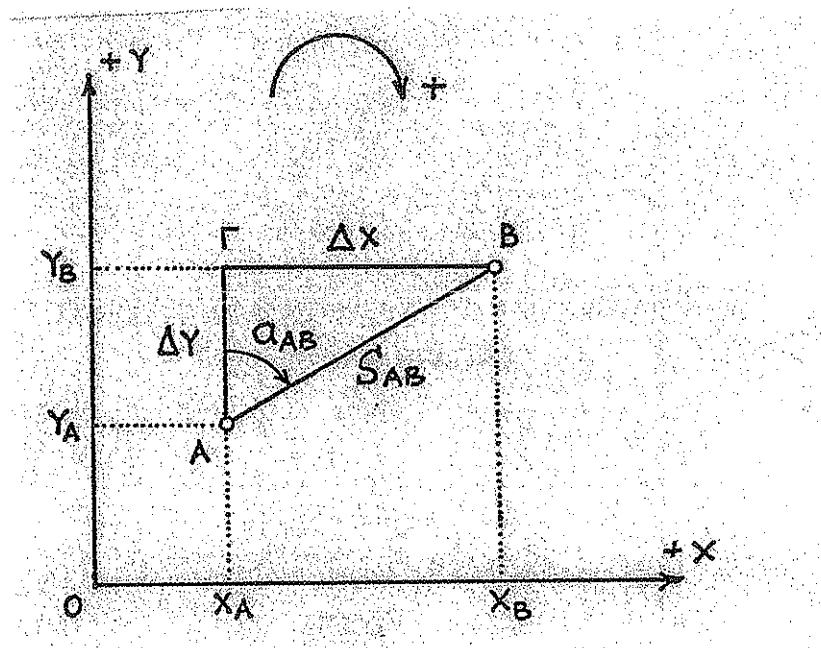
$$\Delta Y = S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}$$

$$\Delta X = S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y$$

$$X_B = X_A + \Delta X$$

Προσδιορισμός της γωνίας διεύθυνσης



Αν δίνονται $A(X_A, Y_A)$ και $B(X_B, Y_B)$ τότε μπορεί να υπολογιστεί η γωνία διεύθυνσης α_{AB} από τις σχέσεις:

$$\Delta X = X_B - X_A \quad \Delta Y = Y_B - Y_A$$

$$\tan \alpha_{AB} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \Rightarrow$$

$$\alpha'_{AB} = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

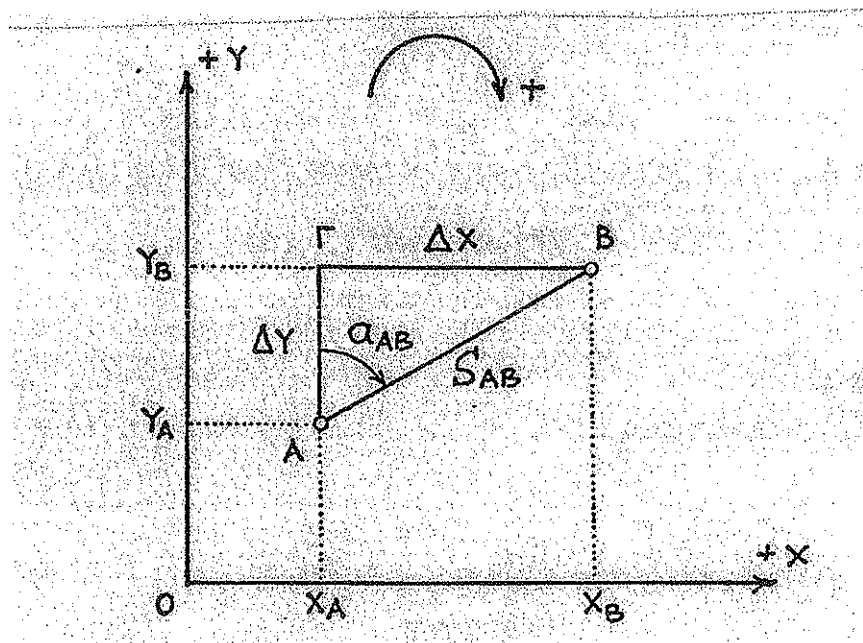
$$\alpha'_{AB} = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

Το τεταρτημόριο που βρίσκεται η γωνία διεύθυνσης α_{AB} εξαρτάται προφανώς από τα πρόσημα των ΔX και ΔY .

Ο προσδιορισμός της θέσης της α_{AB} μπορεί να γίνει με βάση το την παρακάτω διερεύνηση:

- α) Αν $\Delta X \geq 0$ και $\Delta Y > 0$ τότε η α_{AB} βρίσκεται στο 1^ο τεταρτημόριο και $\alpha_{AB} = \alpha'_{AB}$.
- β) Αν $\Delta X \geq 0$ και $\Delta Y < 0$ τότε η α_{AB} βρίσκεται στο 2^ο τεταρτημόριο και $\alpha_{AB} = 200^\circ + \alpha'_{AB}$.
- γ) Αν $\Delta X < 0$ και $\Delta Y < 0$ τότε η α_{AB} βρίσκεται στο 3^ο τεταρτημόριο και $\alpha_{AB} = 200^\circ + \alpha'_{AB}$.
- δ) Αν $\Delta X < 0$ και $\Delta Y > 0$ τότε η α_{AB} βρίσκεται στο 4^ο τεταρτημόριο και $\alpha_{AB} = 400^\circ + \alpha'_{AB}$.
(στην περίπτωση αυτή $\alpha'_{AB} < 0$).

Προσδιορισμός της απόστασης

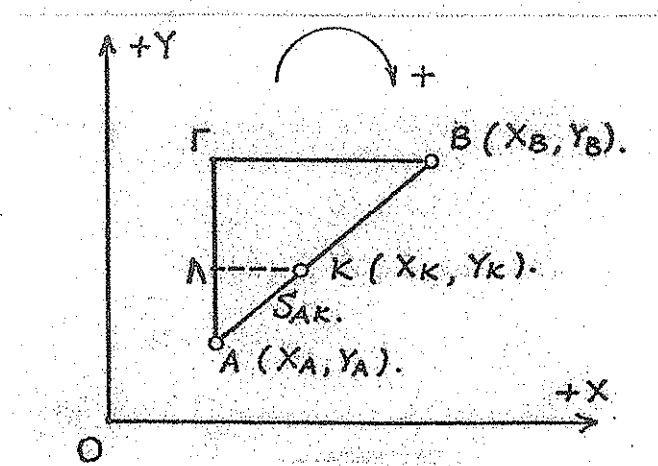


Αν δίνονται $A(X_A, Y_A)$ και $B(X_B, Y_B)$ τότε εύκολα μπορεί να προσδιοριστεί η απόσταση αν εφαρμοστεί το Πυθαγόρειο Θεώρημα ή και απλές σχέσεις της τριγωνομετρίας στο τρίγωνο $AB\Gamma$:

$$S_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta X}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{\Delta Y}{\cos \alpha_{AB}}$$

Προσδιορισμός συντεταγμένων ενδιάμεσου σημείου



Αν πάνω σε μία ευθεία που είναι γνωστές οι συντεταγμένες των δύο άκρων της, βρίσκεται ένα ενδιάμεσο σημείο K, που προσδιορίζεται με την απόστασή του από το A, τότε οι συντεταγμένες του σημείου αυτού προσδιορίζονται εύκολα από όμοια τρίγωνα ABΓ και AKΛ.

Θα είναι:

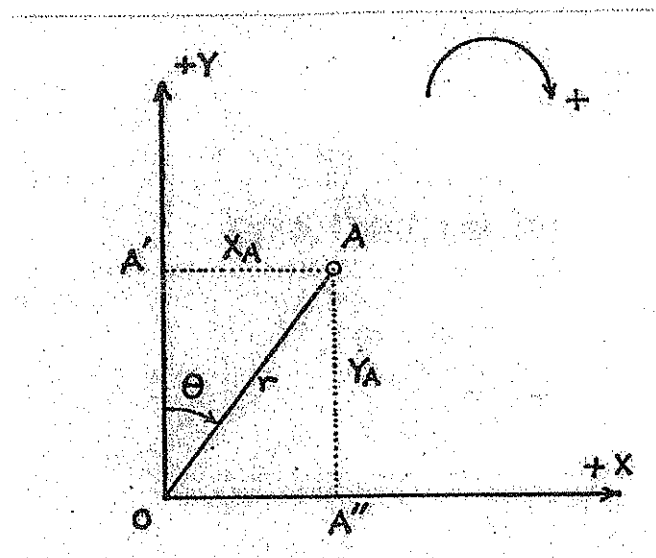
$$\Delta X_K = \frac{S_{AK}}{S_{AB}} \Delta X$$

$$\Delta Y_K = \frac{S_{AK}}{S_{AB}} \Delta Y$$

$$X_K = X_A + \Delta X_K$$

$$Y_K = Y_A + \Delta Y_K$$

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΟΛΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΕΣ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ



Στις γεωδαιτικές εργασίες μετριοούνται μήκη και γωνίες, οπότε για τους υπολογισμούς θα ήταν ευκολότερο να χρησιμοποιούνται πολικές συντεταγμένες. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι πάντα εφικτό και δεν καλύπτει πάντα τις απαιτούμενες προδιαγραφές ακρίβειας.

Οι ορθογώνιες συντεταγμένες ενός σημείου $A(X_A, Y_A)$ δίνονται σε συνάρτηση των πολικών $A(r, \theta)$ από τις παρακάτω σχέσεις:

$$X = r \cdot \sin \theta$$

$$Y = r \cdot \cos \theta$$

Το αντίστροφο πρόβλημα λύνεται από τις σχέσεις:

$$\tan \theta = \frac{X}{Y} \Rightarrow \theta = \arctan \frac{X}{Y}$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΩΝ ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

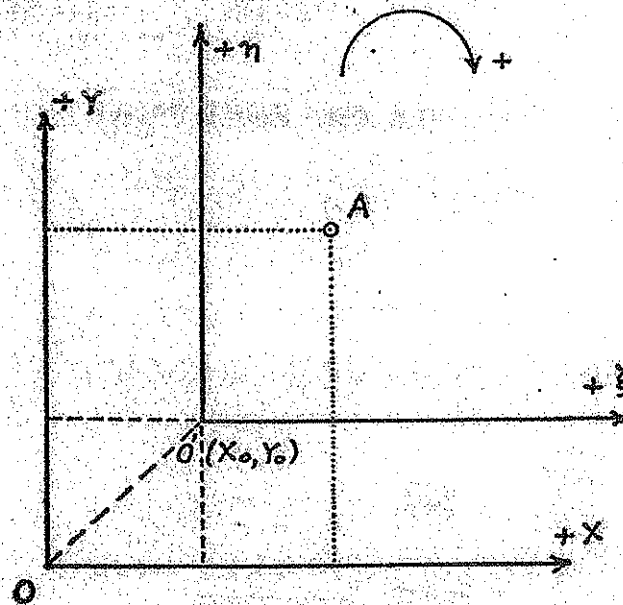
Πολύ συχνά σε Τοπογραφικές – Γεωδαιτικές – Χαρτογραφικές εργασίες παρουσιάζεται η ανάγκη της μετατροπής των ορθογώνιων καρτεσιανών συντεταγμένων από ένα σύστημα σε ένα άλλο.

Αυτό σημαίνει ότι ένα σημείο που έχει συντεταγμένες (X,Y) στο ένα σύστημα μεταφέρεται σε ένα άλλο σύστημα με συντεταγμένες (ξ,η) .

Διακρίνονται τρεις βασικές περιπτώσεις:

- α) Η αλλαγή αξόνων ή μεταφορά της αρχής των συντεταγμένων.
- β) Η αλλαγή της κλίμακας από το ένα σύστημα στο άλλο.
- γ) Στροφή των αξόνων γύρω από κοινή αρχή.
- δ) Γενική περίπτωση που περιλαμβάνει όλα τα προηγούμενα.

Αλλαγή αξόνων ή μεταφορά της αρχής των συντεταγμένων

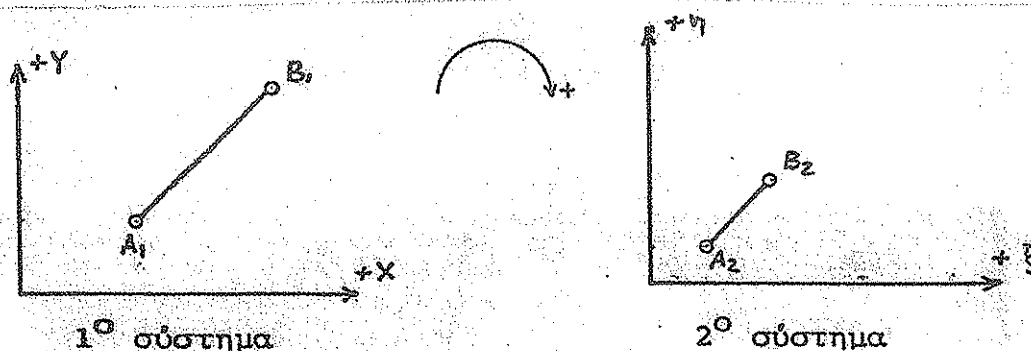


Η περίπτωση αυτή είναι η πιο απλή περίπτωση μετατροπής των συντεταγμένων ενός σημείου $A(X,Y)$ από το αρχικό σύστημα, στο νέο $A(\xi,\eta)$. Αν οι συντεταγμένες της αρχής είναι $O'(X_0, Y_0)$ τότε:

$$\xi = X_A - X_O$$

$$\eta = Y_A - Y_O$$

Αλλαγή της κλίμακας από το ένα σύστημα στο άλλο



Έστω ότι υπάρχουν δύο σημεία A και B τα οποία είναι κοινά σε δύο διαφορετικά συστήματα αναφοράς.

Στο 1^ο σύστημα η κλίμακα σχεδίασης είναι: $1:K_1$ και το ευθύγραμμο τμήμα A_1B_1 ενώνει τα σημεία A,B.

Στο 2^ο σύστημα η κλίμακα σχεδίασης είναι: $1:K_2$ και το ευθύγραμμο τμήμα A_2B_2 ενώνει επίσης τα σημεία A,B.

Αν $A_1B_1 = A_2B_2$ τότε τα δύο συστήματα έχουν την ίδια κλίμακα, οπότε: $X=\xi$ και $Y=\eta$.

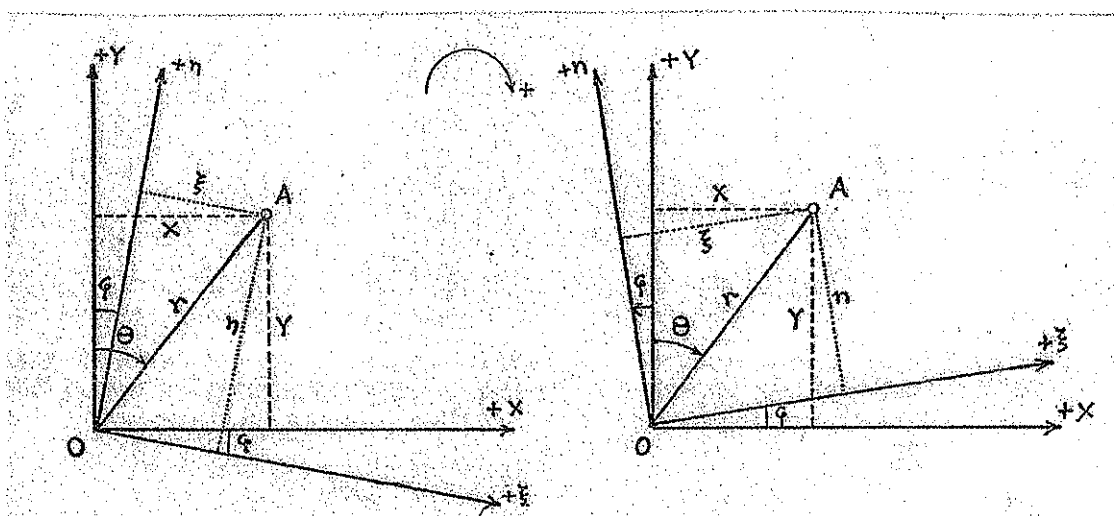
Διαφορετικά πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής κλίμακας m έτσι ώστε:

$$m = \frac{A_2B_2}{A_1B_1} = \frac{K_1}{K_2}$$

$$\xi = m \cdot X \quad \eta = m \cdot Y$$

(τα μήκη A_1B_1 , A_2B_2 μετρούνται στο σχέδιο)

Στροφή αξόνων γύρω από κοινή αρχή



Έστω ένα σημείο $A(X, Y)$ στο αρχικό σύστημα για το οποίο ζητείται να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες $A(\xi, \eta)$ σε ένα νέο σύστημα που έχει περιστραφεί ως προς το αρχικό κατά γωνία φ .

Από τις καρτεσιανές συντεταγμένες μπορούν να υπολογιστούν οι πολικές συντεταγμένες του σημείου $A(r, \theta)$ και αντίστροφα.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις που φαίνονται στον πίνακα:

Δεξιόστροφη περιστροφή	Αριστερόστροφη περιστροφή
$\xi = r \cdot \sin(\theta - \varphi)$	$\xi = r \cdot \sin(\theta + \varphi)$
$\eta = r \cdot \cos(\theta - \varphi)$	$\eta = r \cdot \cos(\theta + \varphi)$
Μετά από πράξεις	Μετά από πράξεις
$\xi = X \cdot \cos\varphi - Y \cdot \sin\varphi$	$\xi = X \cdot \cos\varphi + Y \cdot \sin\varphi$
$\eta = Y \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi$	$\eta = Y \cdot \cos\varphi - X \cdot \sin\varphi$

Γενική περίπτωση

Η γενική περίπτωση περιλαμβάνει το σύνολο των περιπτώσεων που εξετάστηκαν και η διαδικασία επίλυσής του προβλήματος είναι:

1. Υπολογίζονται νέες συντεταγμένες στο νέο σύστημα λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη μετάθεση.
2. Υπολογίζονται νέες προσωρινές συντεταγμένες με βάση τις συντεταγμένες του 1^{ου} βήματος, λαμβάνοντας υπόψη τη στροφή των αξόνων.
3. Υπολογίζονται οι τελικές συντεταγμένες με βάση τις συντεταγμένες του 2^{ου} βήματος, λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή σε κλίμακα μεταξύ των συστημάτων.

Τα προηγούμενα βήματα οδηγούν στις γενικές σχέσεις:

Δεξιόστροφη περιστροφή	Αριστερόστροφη περιστροφή
$\xi = m[(X-X_o)\cos\varphi - (Y-Y_o)\sin\varphi]$	$\xi = m[(X-X_o)\cos\varphi + (Y-Y_o)\sin\varphi]$
$\eta = m[(Y-Y_o)\cos\varphi + (X-X_o)\sin\varphi]$	$\eta = m[(Y-Y_o)\cos\varphi - (X-X_o)\sin\varphi]$

ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ

Οι αποτυπώσεις μικρών εκτάσεων είναι από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα που παρουσιάζονται και φορούν τον προσδιορισμό της μορφής διαφόρων ήδη διαμορφωμένων εκτάσεων, με σκοπό την οριζοντιογραφική τους παράσταση σε ένα επίπεδο χαρτί.

Το σύνολο των εργασιών που γίνονται στο ύπαιθρο και στο γραφείο και που έχει σκοπό τις παραπάνω εργασίες καλείται Γηπεδομετρία.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι απλά, δηλαδή: ακόντια, τρίποδες ακοντίων, βελόνες, μετροταινίες, ορθόγωνα και κλισίμετρα.

Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί στον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου είναι μερικά εκατοστά, με την προϋπόθεση ότι η επιφάνεια είναι κατά το δυνατόν επίπεδη και δεν υπερβαίνει τα 30 στρέμματα περίπου (περιοχή της τάξης των 100m γύρω από ένα σημείο).

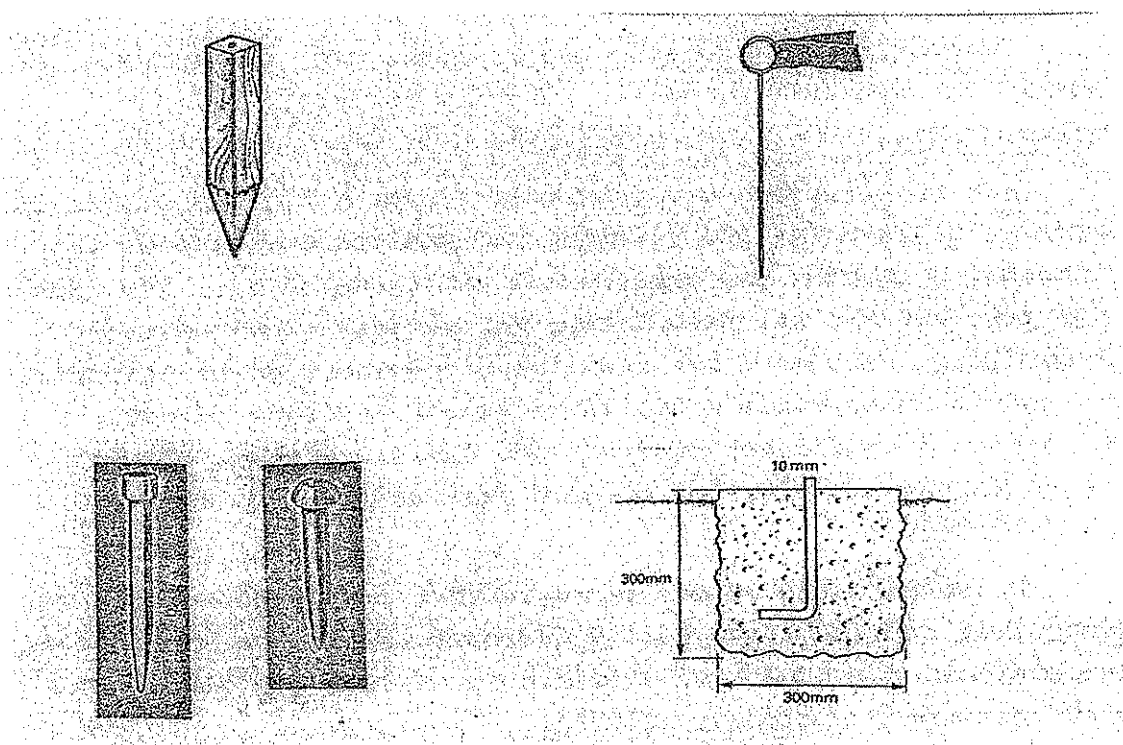
Οι εργασίες αρχίζουν με τη σήμανση των σημείων που χρησιμοποιούνται, την εξασφάλισή τους και την επισήμανσή τους, και κατόπιν ολοκληρώνονται με χαράξεις, πυκνώσεις και επεκτάσεις ευθυγραμμίων, με μετρήσεις των ευθυγραμμίων, καθώς και με χαράξεις ορθών γωνιών. Τέλος με βάση τα στοιχεία που πάρθηκαν στο ύπαιθρο, γίνεται στο γραφείο η εργασία της σύνταξης του σχεδίου στην κλίμακα που έχει από πριν καθοριστεί.

ΣΗΜΑΝΣΗ

Σήμανση ενός σημείου καλείται η υλοποίησή του πάνω στο έδαφος.

Η σήμανση μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους. Ανάλογα με το έδαφος χρησιμοποιούνται ξύλινοι πάσσαλοι, απλά καρφιά, σιδηρόβεργες, σιδερογωνιές, εκτοξευόμενα καρφιά, ή ακόμη και απλή βαφή όταν υπάρχει βράχος και κατάλληλο έδαφος.

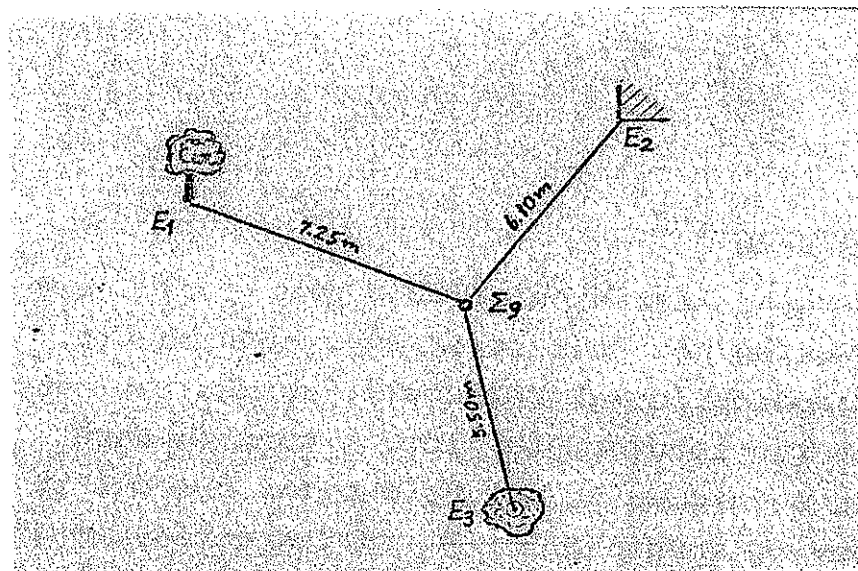
Αν είναι αναγκαία μεγαλύτερη μονιμότητα, τότε χρησιμοποιούνται πιο προσεγμένες κατασκευές, όπως προκατασκευασμένα σήματα ή μικρά βάθρα. Για πρόχειρη σήμανση χρησιμοποιούνται ειδικές τοπογραφικές βελόνες.



ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ

Για να μπορεί να ξαναβρεθεί η θέση ενός σημείου, όταν καταστραφεί η σήμανσή του ή καλυφθεί (από χώματα κ.λ.π.), συνήθως εξασφαλίζεται η θέση του, μετρώντας τρία οριζόντια μήκη, από το σημείο σε τρία σταθερά σημεία της γύρω περιοχής.

Η θέση του σημείου επαναπροσδιορίζεται, σαν τομή των τριών περιφερειών με κέντρα τα σημεία εξασφάλισης και ακτίνες τα μετρημένα οριζόντια μήκη εξασφάλισης. Μόνο σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η μέτρηση του οριζόντιου μήκους εξασφάλισης, μετριέται το κεκλιμένο μήκος.

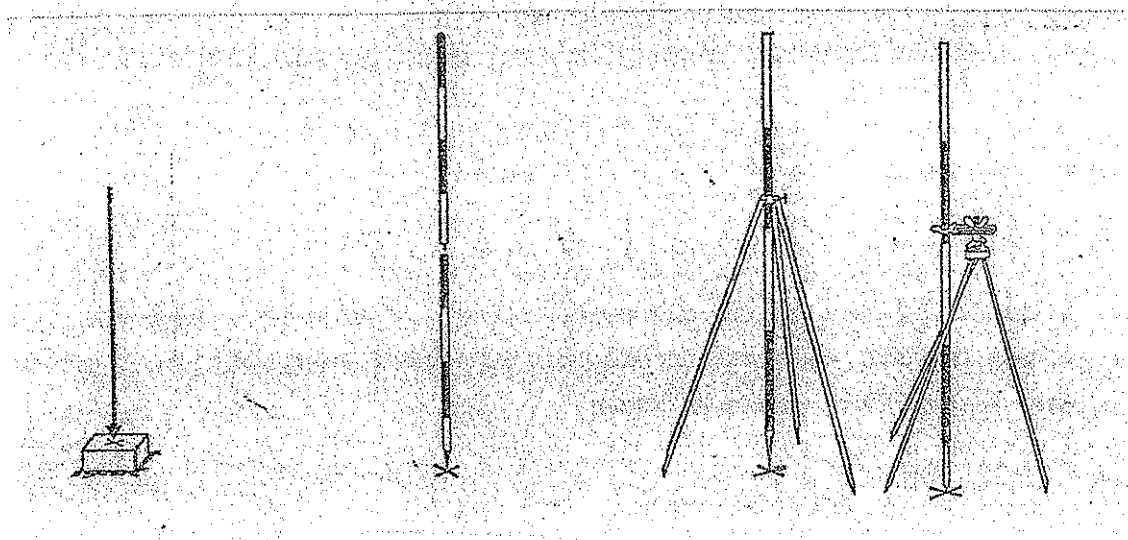


ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Για να γίνει ένα σημείο ορατό από κάποια απόσταση, θα πρέπει να μπορεί να προσδιοριστεί ένα τουλάχιστον σημείο της κατακορύφου που περνάει από αυτό. Η υλοποίηση αυτή της κατακορύφου λέγεται επισήμανση.

Η πιο απλή και πρόχειρη επισήμανση ενός σημείου είναι η λιναίη. Συνήθως όμως στη Γηπεδομετρία χρησιμοποιούνται ακόντια, με μήκος 2-3m και διάμετρο 2-4cm.

Τα ακόντια αυτά για να ξεχωρίζουν από μακριά, είναι χρωματισμένα με εναλλαγή άσπρα – κόκκινα και τοποθετούνται κατακόρυφα είτε κρατώντας τα πρόχειρα είτε χρησιμοποιώντας ένα μικρό τρίποδα. Η κατακορύφωση του ακοντίου πετυχαίνεται με οπτική παραλληλία του ακοντίου με μια λιναίη σε δύο κατακόρυφα επίπεδα. Που θα πρέπει να είναι κάθετα μεταξύ τους.



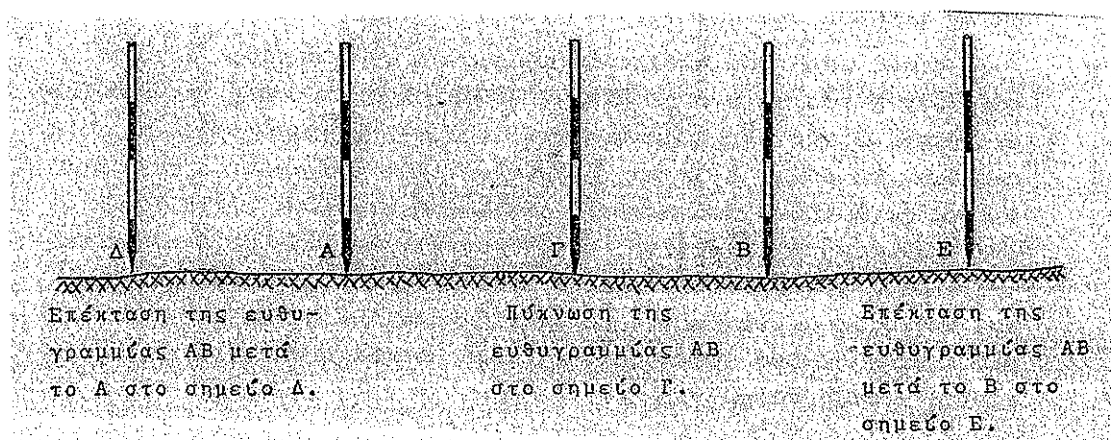
ΧΑΡΑΞΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ

Χάραξη ευθυγραμμίας λέγεται η εργασία που γίνεται για τον προσδιορισμό σημείων που βρίσκονται στην ευθυγραμμία.

Αν τα σημεία που προσδιορίζονται βρίσκονται μεταξύ των σημείων Α και Β που ορίζουν την ευθυγραμμία, τότε η εργασία αυτή λέγεται πύκνωση της ευθυγραμμίας, ενώ αν βρίσκονται έξω από το διάστημα που ορίζουν τα σημεία Α και Β, τότε η εργασία λέγεται επέκταση της ευθυγραμμίας.

Η απλούστερη μέθοδος για τη χάραξη, πύκνωση ή επέκταση ευθυγραμμίας είναι με τη χρήση 3 ακοντίων, που τοποθετούνται κατακόρυφα έτσι ώστε οι ακμές και των τριών να έρθουν σε οπτική επαφή.

Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με την παραπάνω μέθοδο για μια απόσταση περίπου 100m είναι ίση με $\pm 3\text{cm}$.



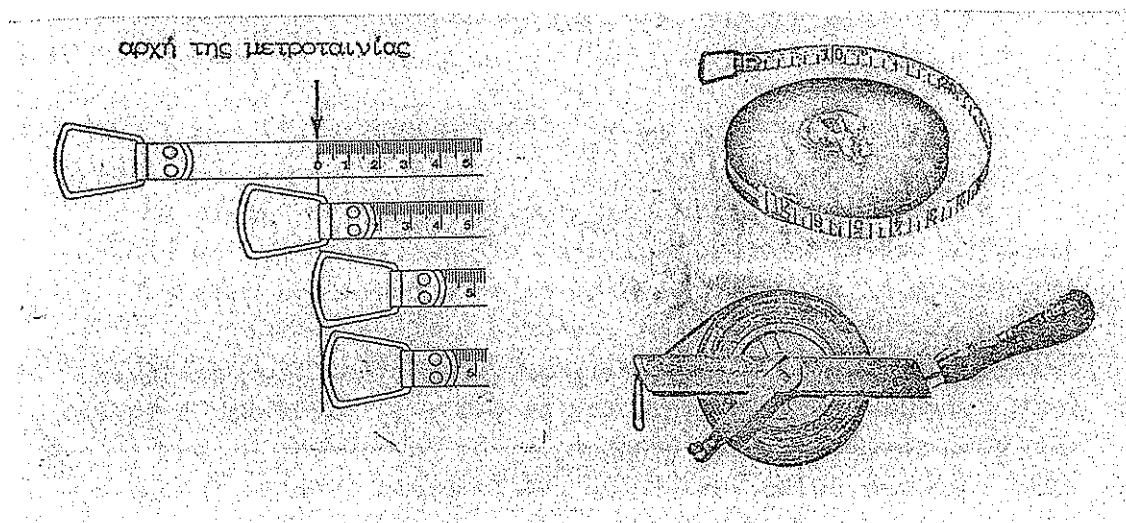
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

Η απόσταση μεταξύ δύο σημείων μπορεί να μετρηθεί με:

- Μετροταινίες,
- Οπτικά τηλέμετρα,
- Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων (E.D.M.).

Στη γηπεδομετρία, όπου αρκεί συνήθως ακρίβεια από 10cm μέχρι 2cm στα 100m, οι αποστάσεις μετριοούνται με μετροταινίες κατασκευασμένες από διάφορα υλικά, όπως λινό πανί, πλαστικό κ.ά.

Οι μετροταινίες αυτές έχουν υποδιαιρέσεις ανά εκατοστό και μήκος από 15 έως 50m. Είναι τυλιγμένες μέσα σε ειδικές θήκες, έχοντας στην αρχή ένα μεταλλικό δακτύλιο. Η αρχή μέτρησης της ταινίας μπορεί να είναι η άκρη του δακτυλίου αυτού ή κάποιο ορισμένο σημείο μερικά εκατοστά μετά το δακτύλιο.

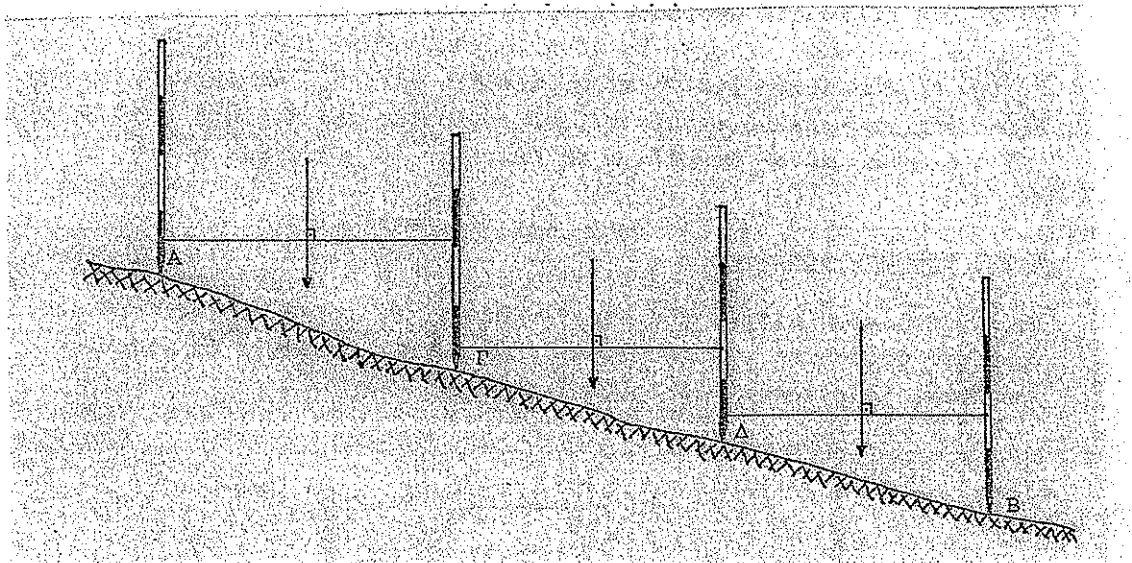


ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ

Εφόσον απόσταση μεταξύ δύο σημείων θεωρείται το μήκος της προβολής τους στο οριζόντιο επίπεδο είναι σκόπιμο οι μετρήσεις να γίνονται κρατώντας τη μετροταινία οριζόντια. Ο έλεγχος της οριζοντιότητας γίνεται με λιναίη από παρατηρητή που στέκεται έξω από την ευθυγραμμία.

Σε περιπτώσεις που το έδαφος είναι ομαλό και με μικρή κλίση η μετροταινία μπορεί να κρατηθεί κοντά στο έδαφος και παράλληλα με αυτό. Σε ανώμαλα εδάφη είναι προτιμότερο η μετροταινία να κρατιέται οριζόντια μακριά από το έδαφος. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι μετρήσεις γίνονται με βοήθεια κατακόρυφων ακοντίων και λιναίης.

Μια απόσταση θα πρέπει να μετριέται τουλάχιστον δύο φορές για έλεγχο, συνήθως σε μετάβαση και επιστροφή (aller - retour) και αν οι διαφορές των εξαγομένων βρίσκονται σε λογικά όρια ($\pm 3\sigma$) να θεωρείται σαν τιμή της απόστασης ο μέσος όρος των μετρήσεων.



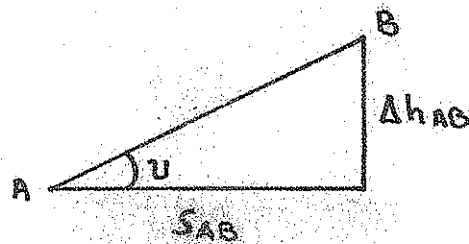
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΣΕΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ

Κλίση μιας διεύθυνσης AB ορίζεται από 2 σημεία της Φ.Γ.Ε. θεωρείται ο λόγος της υψομετρικής διαφοράς των A,B προς την απόσταση A,B. Η κλίση εκφράζεται συνήθως ως α% ή 1/κ.

Αν π.χ. η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων που απέχουν 50m είναι 5m η κλίση θα είναι 10% ή 1/10.

Γωνία κλίσης θα είναι η κατακόρυφη γωνία (γωνία ύψους) της γραμμής AB.

Η γωνία κλίσης μετρίεται με γωνιομετρικά όργανα όπως θεοδόλιχα ή κλισίμετρα.



ΧΑΡΑΞΗ ΟΡΘΩΝ ΓΩΝΙΩΝ

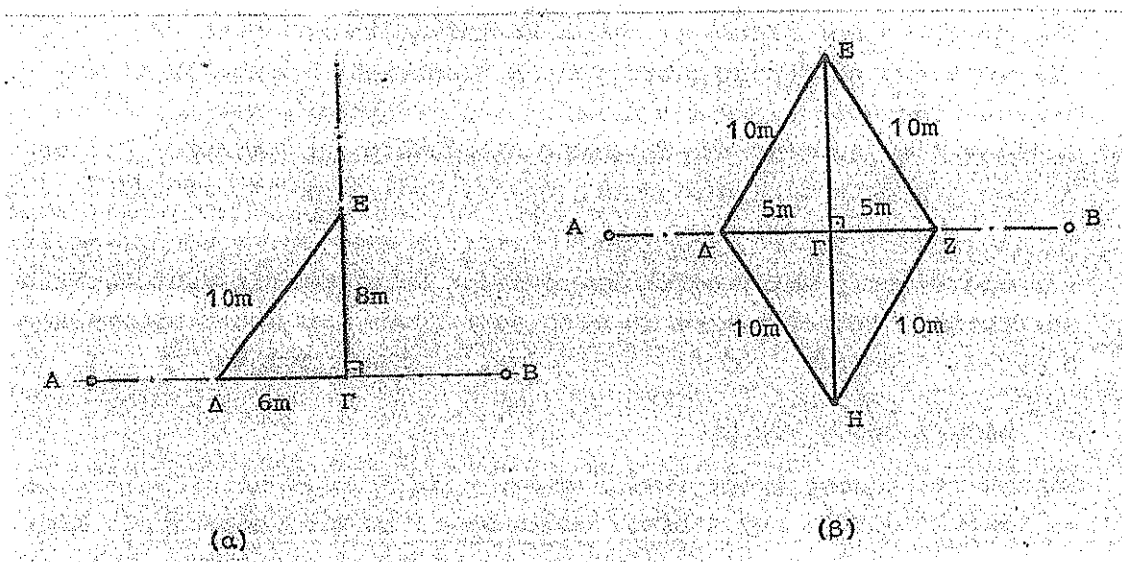
Χάραξη στο έδαφος ορθής γωνίας είναι η διαδικασία που γίνεται για να βρεθεί το πόδι της καθέτου από σημείο έξω από την ευθυγραμμία ή και από σημείο που βρίσκεται πάνω στην ευγραμμία να αχθεί κάθετος σε αυτήν.

Στις αποτυπώσεις μικρών εκτάσεων, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται απλά μέσα και όργανα, η χάραξη μιας ορθής γωνίας και η μέτρηση των πλευρών της δίνει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για την εργασία που εκτελείται.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την χάραξη ορθών γωνιών που μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

1. Χάραξη ορθών γωνιών με μετροταινία,
2. Χάραξη ορθών γωνιών με ορθόγωνο

Χάραξη ορθών γωνιών με μετροταινία



α) Με χρήση του Πυθαγόρειου Θεωρήματος

Μια ορθή γωνία μπορεί εύκολα να χαραχθεί χρησιμοποιώντας την αρχή του Πυθαγόρειου Θεωρήματος σε ένα τρίγωνο με κάθετες πλευρές 3m και 4m ή και πολλαπλάσιά τους:

$$5^2 = 4^2 + 3^2$$

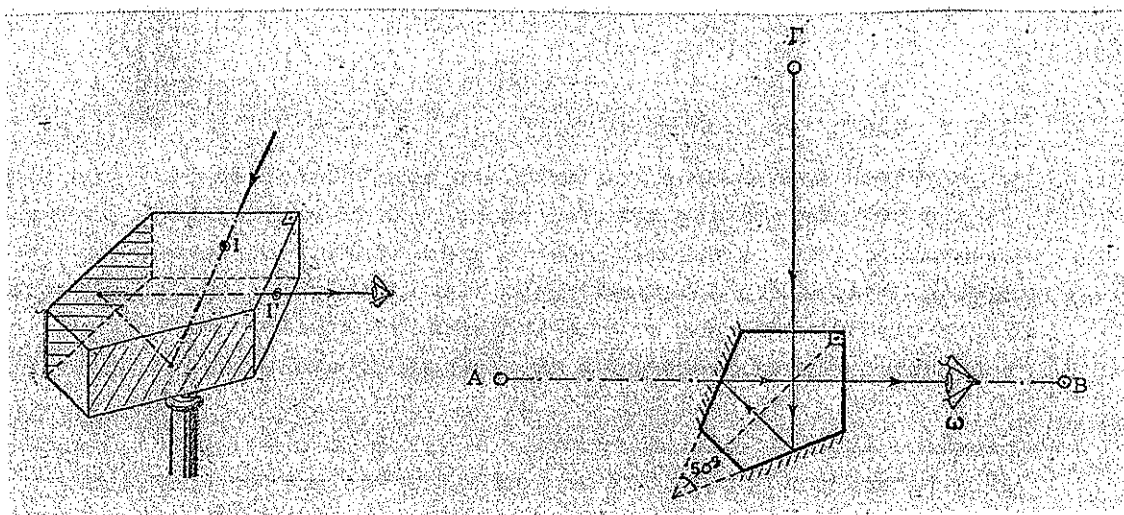
β) Με χάραξη ισόπλευρου τριγώνου

Σε αυτήν την περίπτωση εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα που έχει το ισόπλευρο τρίγωνο ότι το ύψος από μία κορυφή είναι συγχρόνως και διάμεσος της απέναντι πλευράς.

Χάραξη ορθών γωνιών με ορθόγωνο

Τα ορθόγωνα είναι απλά όργανα και πολύ εύκολα στη χρήση τους. Σήμερα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα πρισματικά ορθόγωνα.

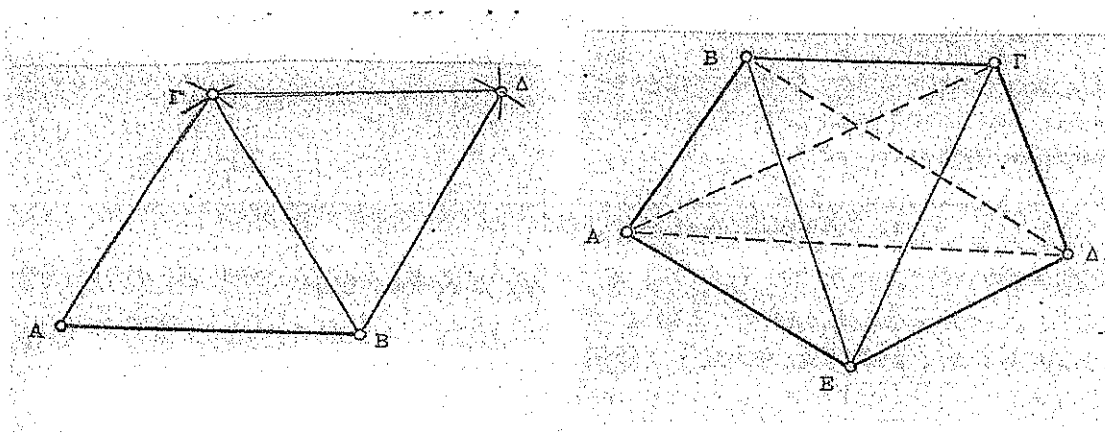
Το απλό πρισματικό ορθόγωνο αποτελείται από ένα πεντάπρισμα του οποίου δύο έδρες είναι επαργυρωμένες και ενεργούν ως επίπεδα κάτοπτρα, ενώ δύο άλλες έδρες του είναι κάθετες μεταξύ τους. Το πεντάπρισμα έχει την ιδιότητα όταν μία οπτική ακτίνα προσπέσει στη μία κάθετη έδρα μετά από δύο διαδοχικές ανακλάσεις στις δύο επαργυρωμένες του έδρες, να εξέρχεται σε ορθή γωνία με την προσπίπτουσα.



ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

Μία μικρή έκταση μπορεί να αποτυπωθεί οριζοντιογραφικά μόνο με μετροταινία και ακόντια, ενώ η χρήση ορθόγωνου βελτιώνει σε πολλές περιπτώσεις την ακρίβεια.

Α) Μέθοδος αποτύπωσης με τρίγωνα

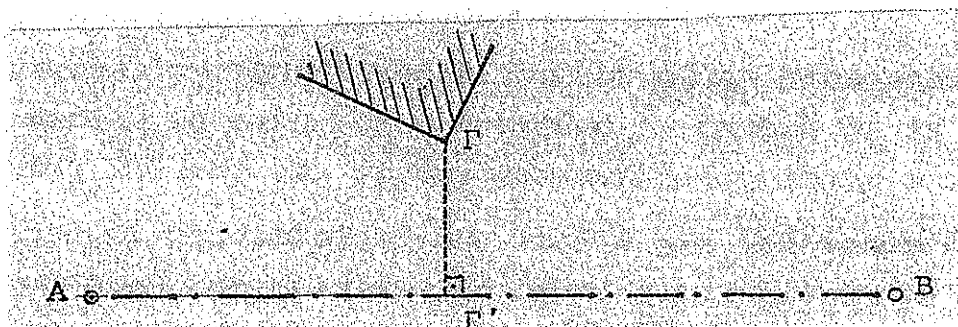


Η θέση ενός σημείου Γ ορίζεται οριζοντιογραφικά αν μετρηθούν οι αποστάσεις του από δύο γνωστά σημεία A και B σαν τομή δύο κύκλων. Επειδή υπάρχουν δύο θέσεις θα πρέπει να φανεί σε σκαρίφημα η θέση του Γ , ως προς τη βάση AB .

Για την αποτύπωση ενός γηπέδου $AB\Gamma\Delta E A$ χωρίζεται το γήπεδο σε τρίγωνα και μετριοούνται όλες οι πλευρές των τριγώνων. Για έλεγχο θα πρέπει να μετριοούνται και άλλα στοιχεία όπως π.χ. οι διαγώνιες.

Η ίδια λογική των τριγώνων χρησιμοποιείται για να αποτυπωθούν κτίσματα, μανδρότοιχοι ή όρια ιδιοκτησιών που βρίσκονται εντός του προς αποτύπωση γηπέδου, ενώ συγχρόνως πρέπει να μετριοούνται και οι διαστάσεις των κτισμάτων, μανδροτοίχων κ.λ.π.

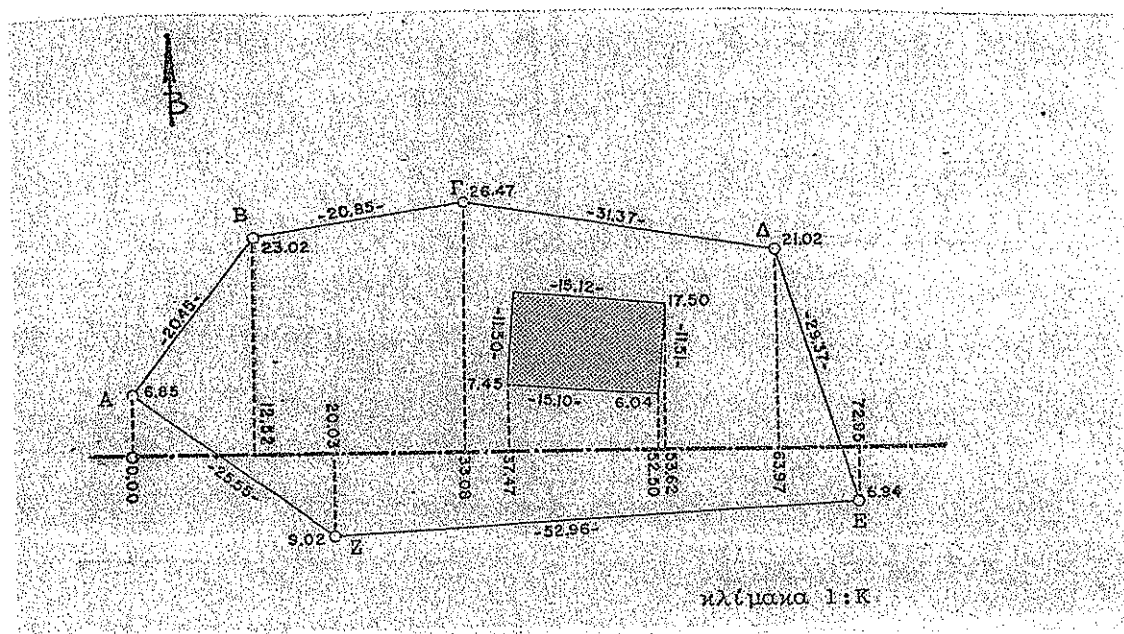
Β) Μέθοδος αποτύπωσης με ορθόγωνο



Σε αυτή τη μέθοδο η θέση ενός σημείου ορίζεται με τις συντεταγμένες του ως προς ένα τοπικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Ορίζεται ευθυγραμμία AB με δύο ακόντια και με τη βοήθεια ενός ορθόγωνου προβάλλεται σημείο Γ στην ευθυγραμμία AB. Η μέτρηση των αποστάσεων $ΑΓ'$ και $ΓΓ'$ δίνει τη θέση του νέου σημείου Γ στο σύστημα που υλοποιήθηκε με την ευθυγραμμία AB.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται μια τυπική αποτύπωση με ορθογώνιες συντεταγμένες.



Σύγκριση των δύο μεθόδων αποτύπωσης

Η ακρίβεια του προσδιορισμού των θέσεων των σημείων, στη μέθοδο των τριγώνων, εξαρτάται από την ακρίβεια της μέτρησης των αποστάσεων, αλλά και από τη γωνία που τέμνονται οι δύο ακτίνες. Η ακρίβεια είναι πιο αρμονική (δηλαδή ίδια προς όλες τις διευθύνσεις) όσο η γωνία πλησιάζει την ορθή και όσο πιο κοντά στη μεσοκάθετο της βάσης βρίσκεται το σημείο.

Το βασικό μειονέκτημα στη μέθοδο αποτύπωσης με τρίγωνα είναι ότι κάθε νέο σημείο εξαρτάται από τα προηγούμενα.

Η μέθοδος αποτύπωσης με ορθόγωνο έχει το πλεονέκτημα ότι η ακρίβεια είναι αρμονική και ότι κάθε σημείο προσδιορίζεται ανεξάρτητα από τα άλλα.

Με τη μέθοδο αυτή θεωρητικά μπορεί να αποτυπωθεί με ικανοποιητική ακρίβεια μια αρκετά μεγάλη έκταση, αλλά στην πράξη αυτό είναι δύσκολο να γίνει μόνο με ένα άξονα επειδή φυσικά μπορεί να υπάρχουν τεχνητά εμπόδια και μεγάλες υψομετρικές διαφορές. Σε αυτή την περίπτωση ορίζονται και άλλοι βοηθητικοί άξονες.

ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ

Ανεξάρτητα με τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί για την αποτύπωση μιας μικρής έκτασης, είναι απαραίτητο να γίνονται πάντοτε οι ακόλουθες ενέργειες:

- A) Αναγνώριση της περιοχής που πρόκειται να αποτυπωθεί
- B) Εκλογή μεθόδου αποτύπωσης
- Γ) Σήμανση στάσεων
- Δ) Στοιχεία υπαίθρου

A) Αναγνώριση της περιοχής που πρόκειται να αποτυπωθεί

Είναι μία από τις πιο καθοριστικές εργασίες για να μπορέσει να γίνει ο κατάλληλος προγραμματισμός.

Στις απλές εργασίες μία από πριν επιτόπου μετάβαση είναι πολύ βοηθητική. Λαμβάνεται πλήρως η εικόνα της περιοχής και εντοπίζονται οι δυσκολίες και όλες οι λεπτομέρειες που χρειάζονται να είναι γνωστές για την αποτύπωση.

Σε δυσκολότερες εργασίες προετοιμάζονται σκίτσα της περιοχής (αυτοσχέδια υπαίθρου), που βοηθούν στην οργάνωση των εργασιών, παίρνονται επίγειες φωτογραφίες ή ακόμη, αν υπάρχουν, χρησιμοποιούνται χάρτες της περιοχής ή και αεροφωτογραφίες.

Β) Εκλογή μεθόδου αποτύπωσης

Τις περισσότερες φορές εφαρμόζονται μικτές μέθοδοι αποτυπώσεων. Κάθε φορά θα πρέπει να εφαρμόζονται οι απλούστερες, ταχύτερες και οικονομικότερες μέθοδοι λαμβάνοντας όμως πάντοτε τόσα μετρητικά στοιχεία ώστε να εξασφαλίζονται οι έλεγχοι των μετρήσεων.

Γ) Σήμανση στάσεων

Όλα τα σημεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση θα πρέπει να είναι έτσι σημασμένα ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία και βεβαιότητα.

Πρέπει να τονιστεί ότι τα σημεία που σημαίνονται θα πρέπει να βρίσκονται εύκολα, να εξασφαλίζονται, να διατηρούνται και αν κριθεί αναγκαίο να κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι μόνιμα.

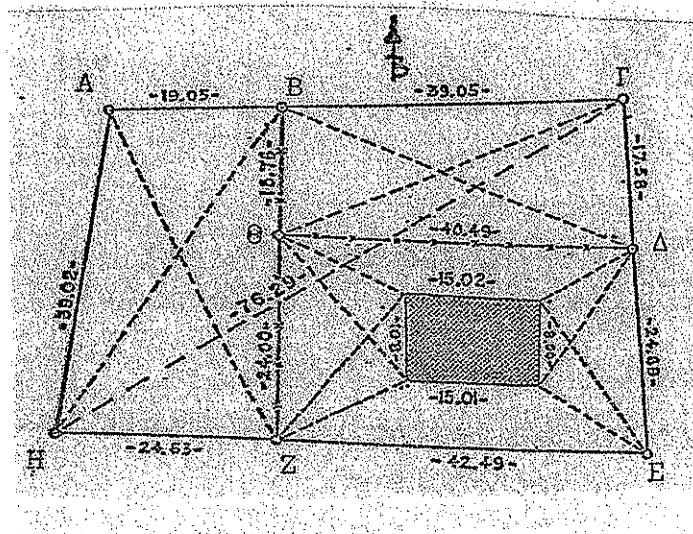
Δ) Στοιχεία υπαίθρου

Τα στοιχεία υπαίθρου τηρούνται σε ειδικό τετράδιο – σημειωματάριο με την ευθύνη του προϊσταμένου του συνεργείου εργασίας. Το μοναδιαίο συνεργείο ιδανικά θα πρέπει να είναι στελεχωμένο με 5 άτομα (προϊστάμενος, γραφέας, παρατηρητής και δύο βοηθοί).

Τα κυριότερα στοιχεία υπαίθρου που θα πρέπει να καταγράφονται είναι τα ακόλουθα:

1. Το όνομα και η τοποθεσία που γίνεται η αποτύπωση.
2. Σημείωση των κωδικών αριθμών των οργάνων, των ταινιών, και καταγραφή του υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία.
3. Η ημερομηνία που έγιναν οι εργασίες.
4. Η σύνθεση και τα ονόματα του συνεργείου εργασίας.
5. Το αυτοσχέδιο υπαίθρου ή σκαρίφημα υπαίθρου που σχεδιάστηκε αρχικά κατά την αναγνώριση και συμπληρώθηκε στη διάρκεια των μετρήσεων. Σε αυτό περιλαμβάνονται επίσης η περιγραφή βασικών σημείων και στάσεων, οι καιρικές συνθήκες, καθώς και ο προσανατολισμός της αποτύπωσης.

Το αυτοσχέδιο υπαίθρου σχεδιάζεται σε λευκό χαρτί και όχι σε κάποια κλίμακα.



ΣΥΝΤΑΞΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Αφού ολοκληρωθούν οι εργασίες υπαίθρου γίνεται η σύνταξη διαγράμματος, που είναι η απεικόνιση στοιχείων της Φ.Γ.Ε. και τεχνητών αντικειμένων, σε κάποια κλίμακα.

Αν στο διάγραμμα απεικονίζονται οριζοντιογραφικά στοιχεία τότε πρόκειται για οριζοντιογραφικό διάγραμμα, ενώ αν απεικονίζονται και υψομετρικά στοιχεία τότε πρόκειται για Τοπογραφικό διάγραμμα.

Η επιλογή της κλίμακας εξαρτάται από τον σκοπό, την ακρίβεια και την έκταση της εργασίας και συνήθως για εργασίες Γηπεδομετρίας κυμαίνεται από 1:50 έως 1:500.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτή που προκύπτει από την κλίμακα, διότι τα σφάλματα μεταδίδονται από σημείο σε σημείο, και διότι οι μετρήσεις δεν γίνονται μόνο για τη σύνταξη διαγράμματος αλλά και για μετέπειτα υπολογισμούς όπως ο προσδιορισμός εμβαδών.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Η μέθοδος που ακολουθείται στη σχεδίαση μικρών εκτάσεων εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση.

A) Αποτύπωση με τρίγωνα

Σε αυτήν την περίπτωση η αποτύπωση θα πρέπει:

1. Να γίνει ένας πρόχειρος υπολογισμός των ακραίων διαστάσεων της περιοχής που αποτυπώθηκε στην κλίμακα σχεδίασης ώστε να γίνει σωστά η τοποθέτηση στο χαρτί.
2. Με τη βοήθεια τριγώνου, διαβήτη και υποδεκάμετρου, ξεκινώντας από την αρχική βάση τοποθετούνται τα σημεία ελέγχου, ελέγχοντας κάθε φορά την κατασκευή με τις επιπλέον μετρήσεις που πάρθηκαν στο έδαφος. Έτσι αποφεύγονται σφάλματα στην απόδοση αλλά και εντοπίζονται σφάλματα μετρήσεων.
3. Τοποθετούνται τα σημεία λεπτομερειών με τα γεωμετρικά στοιχεία που πάρθηκαν στο έδαφος. Συνήθως συμβολίζεται στο διάγραμμα και η διεύθυνση του Βορρά.

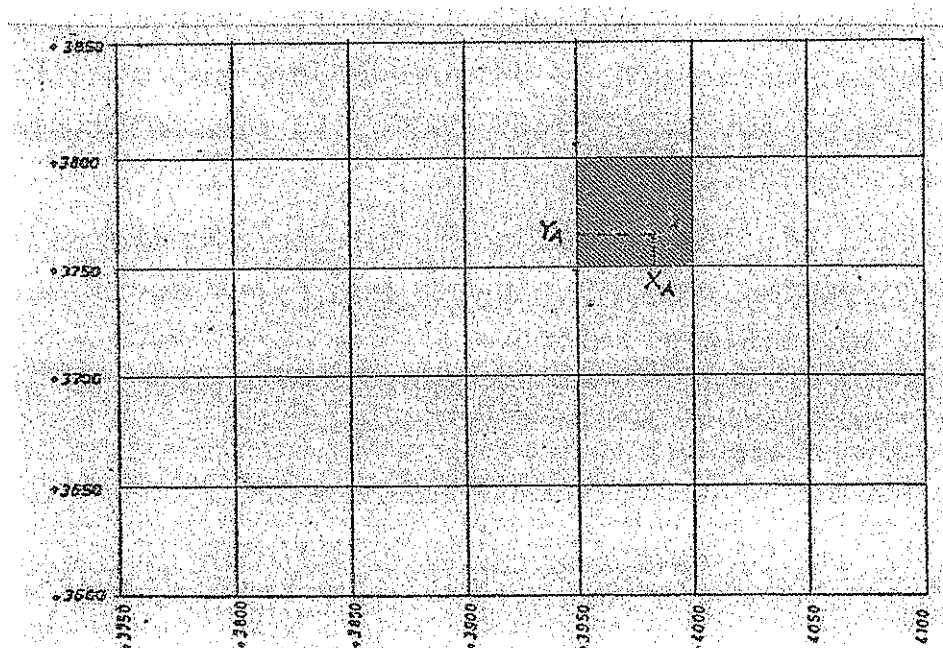
Β) Αποτύπωση με ορθόγωνο

Σε αυτήν την περίπτωση για την σχεδίαση είναι σκόπιμο να κατασκευαστεί κανάβος.

Κανάβος είναι ένα δίκτυο κάθετα τεμνόμενων ευθειών σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις (5εκ. και τις περισσότερες φορές 10 εκ.) σχεδιασμένο με ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια.

Οι ευθείες αυτές αντιστοιχούν σε ίσες ακέραιες τιμές τετμημένων (X) και τεταγμένων (Y). Έτσι, ανάλογα με την κλίμακα του σχεδίου υπολογίζεται η πραγματική τετμημένη ή τεταγμένη που αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή του κανάβου και γράφεται στο κάτω άκρο της αν είναι γραμμή ίσων τετμημένων, ενώ αν είναι γραμμή ίσων τεταγμένων στο αριστερό της άκρο.

Στη συνέχεια είναι εύκολη η τοποθέτησή σημείων με τις συντεταγμένες τους.



1. Σημεία αναφοράς		4. Οριογραμμές	
	Τριγωνομετρικά		Ιδιοκτησιών Καλλιεργειών
	Πολυγωνικά		Επαρχίας Κοινοτήτας
	Υψομετρικά		
2. Κτίσματα		5. Δρόμοι	
	Τριόροφο πλακοσκεπές		Διαμορφωμένοι
	Μονόροφο με κεραμίδια		Αδιαμόρφωτοι
	Υπό κατασκευή		Μονοπάτι
	Μονόροφο ξύλινο		Σιδηρόδρομος μονής-διπλής γραμμής
	Βεράντα με στέγη		Οδός σε όρυγμα
	Βεράντα χωρίς στέγη		Οδός σε επίχωμα
	Υπόστεγο		
3. Διάφορα		6. Υδάτινες επιφάνειες	
	Μνημεία		Ρέμα ξερό
	Ερείπια		Χείμαρρος
	Εκκλησία		Ποτάμι
	Κοιμητήριο		Έλος
	Εικονοστάσι		Γέφυρα
	Μετασχηματιστής		Δεξαμενή
	Μανδρότοιχος < 30 cm		
	> 30 cm		
	Ξηρολιθιά	7. Βλάστηση	
	Συρματοπλέγμα		Δέντρα μεμονωμένα
	Φράκτης		Κινοφόρα
	Κιγκλίδωμα		Ελαιόδεντρα
	Κολώνες ΔΕΗ-ΟΤΕ		Οπωροφόρα
	Λατομείο		Αμπελώνες
	Βράχος		Θάμνοι
	Όρυγμα		

Πίνακας συμβόλων του ΥΠΕΧΩΔΕ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΜΒΑΔΩΝ

Το εμβαδόν ενός κλειστού σχήματος μπορεί να υπολογιστεί με:

- Αναλυτική μέθοδο: δηλαδή με αριθμητικούς υπολογισμούς από μετρητικά στοιχεία που παίρνονται άμεσα από το ύπαιθρο.

Με τη μέθοδο αυτή το εμβαδόν ενός κλειστού σχήματος προσδιορίζεται αν το σχήμα αυτό έχει:

1. γεωμετρική μορφή με ευθύγραμμα όρια και μπορεί να διαιρεθεί σε απλά μοναδιαία γεωμετρικά σχήματα,
 2. αν μπορούν να εκφραστούν οι θέσεις των ορίων σε κάποιο σύστημα συντεταγμένων.
- Γραφική μέθοδο: δηλαδή από στοιχεία που παίρνονται από ένα διάγραμμα ή χάρτη.
 - Ημιγραφική μέθοδο: δηλαδή από στοιχεία που άλλα παίρνονται από το ύπαιθρο και άλλα από το διάγραμμα ή χάρτη.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΜΒΑΔΩΝ

1. Υπολογισμός Εμβαδού Απλών Γεωμετρικών Σχημάτων

Αν το σχήμα είναι ορθογώνιο παραλληλόγραμμο ή τραπέζιο τότε ο προσδιορισμός του εμβαδού γίνεται από τις γνωστές απλές σχέσεις:

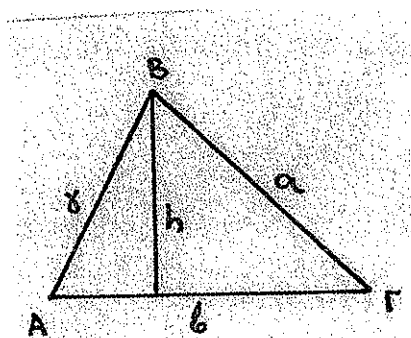
$$E = \alpha \cdot \beta \qquad E = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot h$$

Αν η μορφή ενός γηπέδου είναι τριγωνική, ή αν είναι πιο πολύπλοκη και μπορεί να χωριστεί σε τρίγωνα, τότε το εμβαδόν μπορεί να υπολογιστεί με μία από τις παρακάτω σχέσεις:

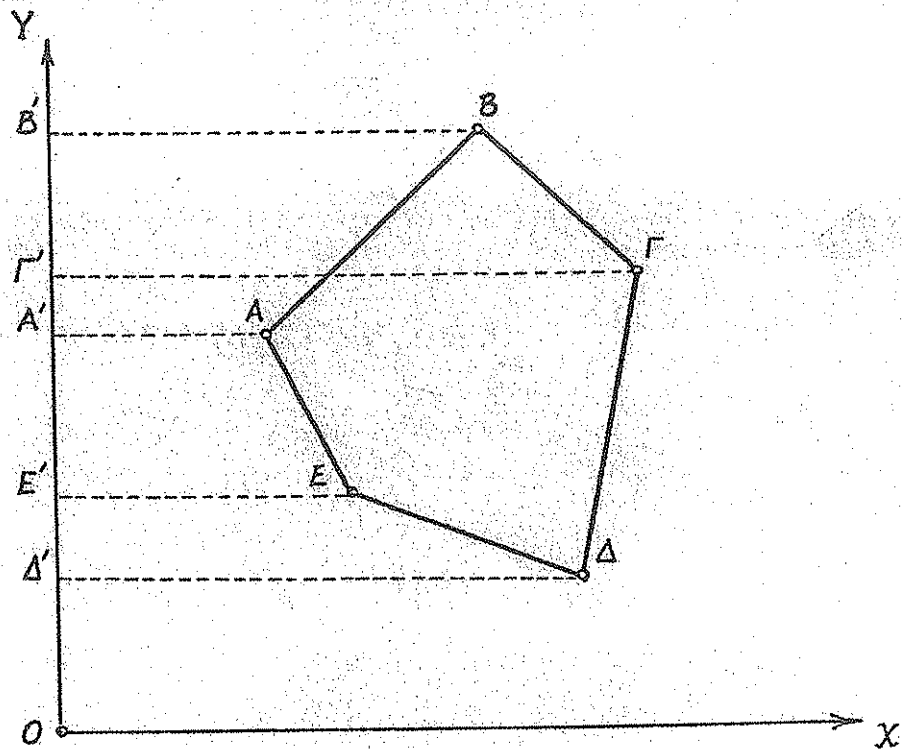
$$E = \frac{1}{2} \beta \cdot h \qquad E = \frac{1}{2} \alpha \cdot \beta \cdot \sin \Gamma \qquad E = \frac{1}{2} \alpha^2 \frac{\sin B \cdot \sin \Gamma}{\sin A}$$

Όταν μπορούν να προσδιοριστούν και οι τρεις πλευρές ενός τριγώνου, τότε είναι προτιμώτερο να χρησιμοποιείται ο τύπος του Ήρωνα, δηλαδή:

$$E = \sqrt{\tau \cdot (\tau - \alpha) \cdot (\tau - \beta) \cdot (\tau - \gamma)} \qquad \tau = \frac{1}{2}(\alpha + \beta + \gamma)$$



2. Υπολογισμός Εμβαδού με Ορθογώνιες Συντεταγμένες

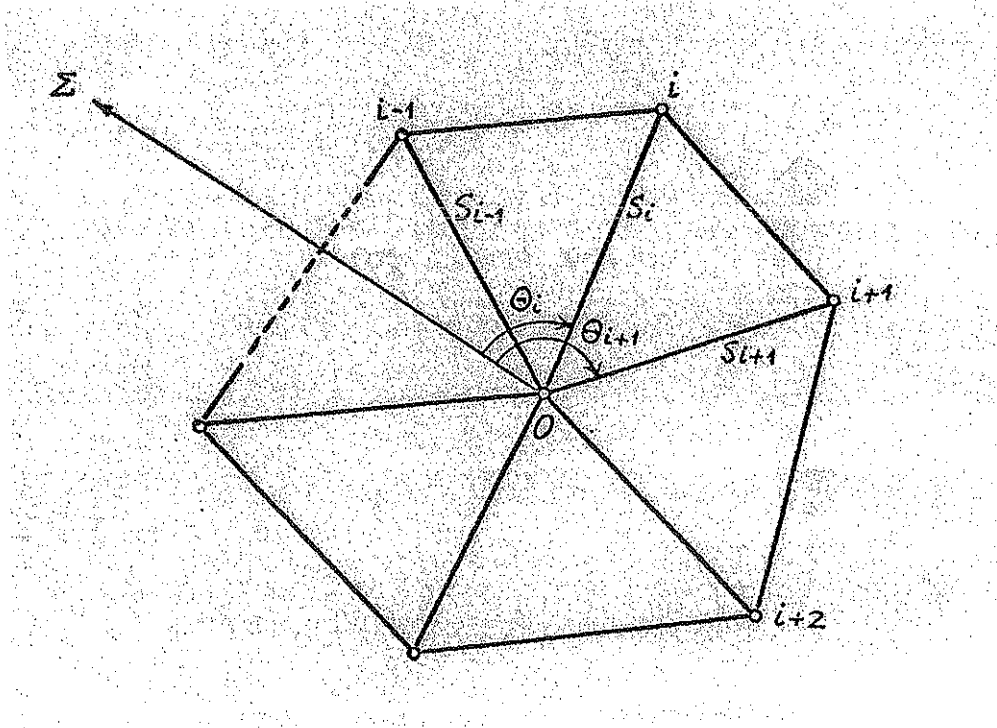


Το εμβαδόν ενός κλειστού πολυγώνου με n κορυφές μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των κορυφών του, με μία από τις παρακάτω γενικές σχέσεις:

$$2E = \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1})$$

$$2E = \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1})$$

3. Υπολογισμός Εμβαδού με Πολικές Συντεταγμένες

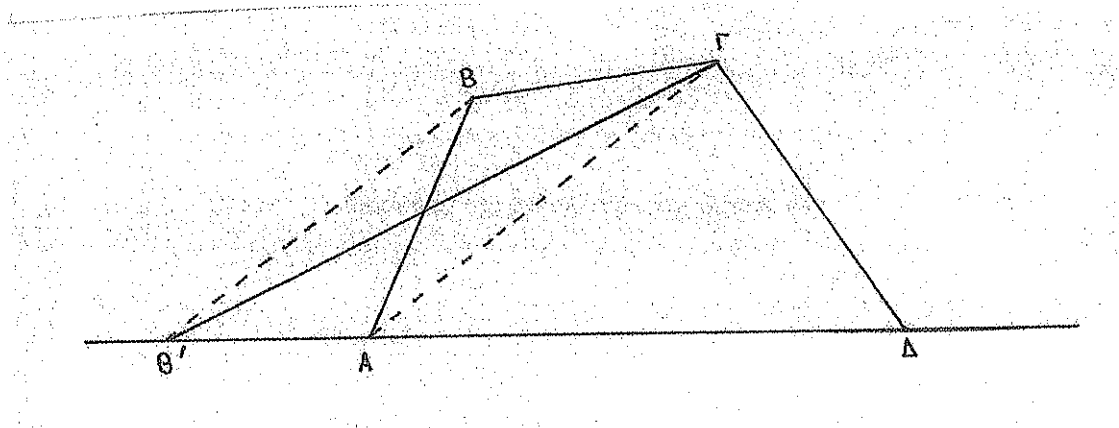


Σε περιπτώσεις που οι κορυφές ενός κλειστού σχήματος φαίνονται από ένα κεντρικό σημείο που βρίσκεται μέσα στο κλειστό σχήμα, τότε το εμβαδόν μπορεί να προσδιοριστεί με τη μέθοδο των Πολικών Συντεταγμένων, ως το άθροισμα των εμβαδών των διαδοχικών τριγώνων που σχηματίζονται:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^v S_i \cdot S_{i+1} \sin(\Theta_{i+1} - \Theta_i)$$

ΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΜΒΑΔΩΝ

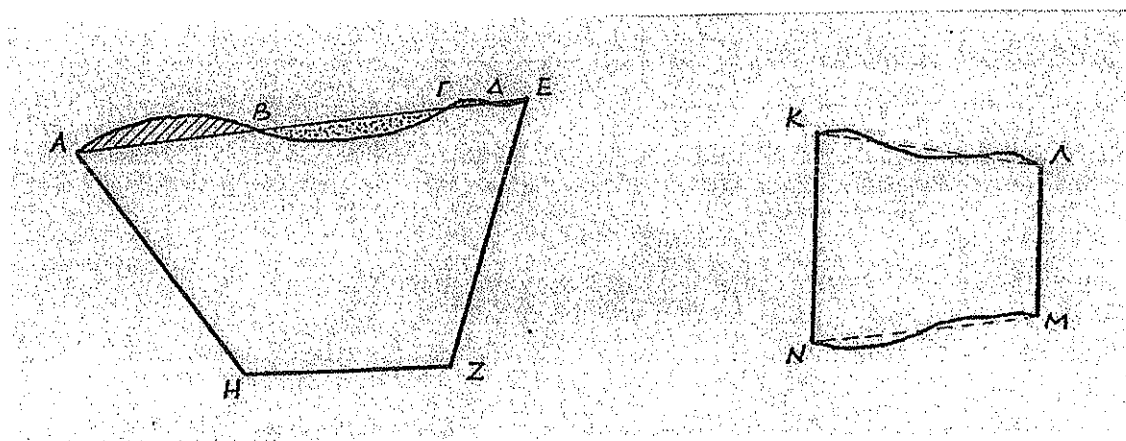
1. Γραφικός Μετασχηματισμός Σχήματος με ευθύγραμμα όρια



Ένα κλειστό σχήμα που έχει ευθύγραμμα όρια μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα ισοδύναμο τρίγωνο.

Στο προηγούμενο σχήμα φαίνεται ένα τετράπλευρο $AB\Gamma\Delta$. Από το B άγεται η $BB' \parallel A\Gamma$. Το τρίγωνο $AB'\Gamma$ έχει το ίδιο εμβαδόν με το τρίγωνο $AB\Gamma$ γιατί έχουν την ίδια βάση και το ίδιο ύψος.

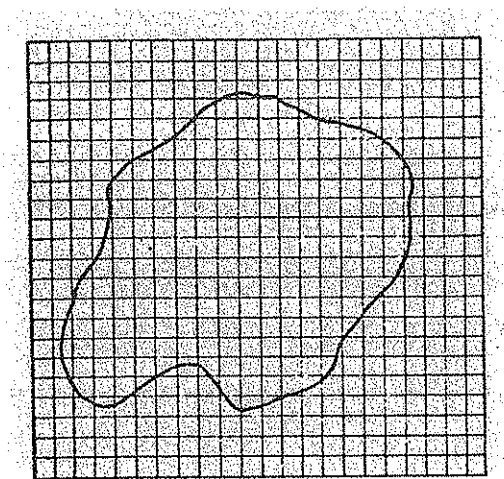
2. Γραφικός Μετασχηματισμός Σχήματος με καμπύλα όρια



Στην περίπτωση που τα όρια, του για εμβαδομέτρηση σχήματος, δεν είναι ευθύγραμμα, τότε γίνεται προσπάθεια να αντικατασταθούν με ευθύγραμμα τμήματα η θέση των οποίων όμως δεν πρέπει να αλλοιώνει το συνολικό εμβαδό.

Είναι φανερό ότι η ακρίβεια προσδιορισμού του εμβαδού με τη μέθοδο αυτή εξαρτάται πολύ από την επιλογή της θέσης των ευθύγραμμων τμημάτων ως προς τα καμπύλα όρια.

3. Προσδιορισμός Εμβαδού Σχημάτων με Εμβαδομετρικές Πλακέτες



Ένας εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος για τον υπολογισμό σχημάτων με ακανόνιστα όρια, είναι εκείνος που χρησιμοποιώντας ένα διαφανές χαρτί χωρισμένο σε τετράγωνα γνωστού εμβαδού (ή «μιλιμετρέ» χαρτί) και τοποθετώντας το πάνω στο σχήμα που είναι για εμβαδομέτρηση, μετρίεται ο αριθμός των τετραγώνων που περιέχεται μέσα στο σχήμα.

Όταν το όριο του σχήματος διαιρεί ένα από τα μικρά τετράγωνα, τότε:

- Το τετράγωνο αυτό υπολογίζεται στη μέτρηση όταν περισσότερο από τη μισή του επιφάνεια περιέχεται μέσα στο σχήμα.
- Το τετράγωνο εξαιρείται από τη μέτρηση όταν λιγότερο από τη μισή του επιφάνεια είναι μέσα στο σχήμα.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΩΝΙΩΝ

Στη Γεωδαισία χρησιμοποιούνται οι οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο αναφέρονται.

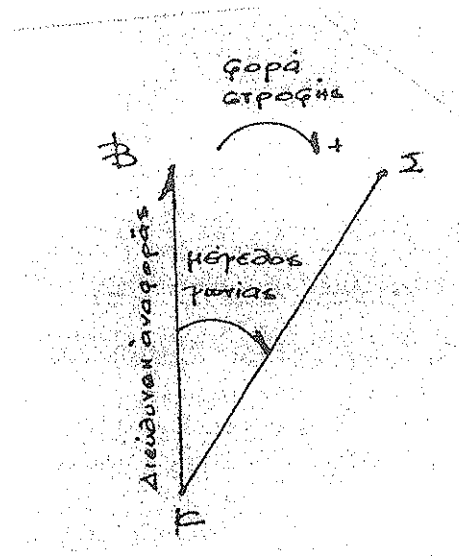
Με τις οριζόντιες γωνίες προσδιορίζονται διευθύνσεις κατά την οριζόντια έννοια, που μαζί με αποστάσεις επιτρέπουν τον προσδιορισμό της ορθής προβολής σημείων πάνω στο οριζόντιο επίπεδο.

Με τις κατακόρυφες γωνίες γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός της απόστασης μεταξύ του σημείου και της προβολής του σε οριζόντιο επίπεδο. Δηλαδή, οι κατακόρυφες γωνίες μαζί με μετρήσεις μηκών, προσδιορίζουν υψομετρικές διαφορές μεταξύ σημείων.

Για να προσδιοριστούν διευθύνσεις, αφού έχουν μετρηθεί γωνίες, θα πρέπει:

1. Να οριστούν οι βασικές διευθύνσεις αναφοράς.
2. Να περιγραφούν τα όργανα με τα οποία γίνονται οι κάθε είδους γωνιομετρήσεις.
3. Να περιγραφεί η μεθοδολογία των γωνιομετρήσεων.

1. Βασικές Διευθύνσεις Αναφοράς



Για τις οριζόντιες γωνίες η αρχική διεύθυνση αναφοράς μπορεί:

1. Να αναφέρεται στον πραγματικό Βορρά (Αστρονομικό).
2. Να αναφέρεται στον Μαγνητικό Βορρά.
3. Να αναφέρεται σε κάποιο επίπεδο σύστημα συντεταγμένων (Αναφορά στον Βορρά τετραγωνισμού).
4. Να είναι αυθαίρετη.

Για τις κατακόρυφες γωνίες η αρχική διεύθυνση αναφοράς μπορεί:

1. Να είναι η κατακόρυφος με αφετηρία το ζενίθ (ζενίθιες γωνίες) ή και το ναδίρ (ναδιριές γωνίες).
2. Να είναι η οριζόντια ευθεία (γωνίες ύψους).

Η διεύθυνση του Πραγματικού ή Αστρονομικού (Γεωγραφικού) Βορρά ορίζεται από τη διεύθυνση του Μεσημβρινού του τόπου, δηλαδή του μέγιστου κύκλου που προβάλλεται πάνω στη γη και περιέχει την κορυφή της γωνίας, καθώς και το Βόρειο και Νότιο Πόλο.

Οι γωνίες που αναφέρονται στη διεύθυνση του Πραγματικού ή Αστρονομικού (Γεωγραφικού) Βορρά καλούνται «Αζιμούθια» ή και Πραγματικά ή Αστρονομικά (Γεωγραφικά) Αζιμούθια.

Η διεύθυνση του Μαγνητικού Βορρά ορίζεται από μια μαγνητική βελόνη που ισορροπεί μόνο κάτω από την επίδραση του Μαγνητικού πεδίου της Γης και προσδιορίζει τη διεύθυνση του Μαγνητικού Βόρειου Πόλου. Ο Μαγνητικός Πόλος ορίζεται ως το κέντρο σύγκλισης όλων των Μαγνητικών Μεσημβρινών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι Μαγνητικοί Πόλοι είναι διάφοροι από τους Αστρονομικούς ή Γεωγραφικούς Πόλους.

Οι γωνίες που αναφέρονται στη διεύθυνση του Μαγνητικού Βορρά καλούνται «Μαγνητικά Αζιμούθια».

Η διεύθυνση του Βορρά Τετραγωνισμού ορίζεται η παράλληλη προς τον άξονα των τεταγμένων του κρατικού ή οποιουδήποτε άλλου συτήματος αναφοράς. Συνήθως η διεύθυνση αυτή ταυτίζεται με τη διεύθυνση του Γεωδαιτικού Βορρά σε κάποιο κεντρικό σημείο της περιοχής.

Ο Γεωδαιτικός Βορράς συνήθως δεν ταυτίζεται με τον Αστρονομικό Βορρά. Η διαφορά τους όμως δεν είναι μεγαλύτερη από μερικά δευτερόλεπτα του τόξου.

Οι οριζόντιες γωνίες που αναφέρονται στη διεύθυνση του Βορρά τετραγωνισμού καλούνται «γωνίες προσανατολισμού» ή γωνίες διευθύνσεως.

Η αυθαίρετη διεύθυνση μπορεί να οριστεί εύκολα, θεωρώντας μια τυχαία διεύθυνση ως αρχική διεύθυνση αναφοράς. Οι γωνίες επομένως προσδιορίζονται ως προς αυτή την αρχική διεύθυνση.

Το μειονέκτημα της χρησιμοποίησης μιας αυθαίρετης αρχικής διεύθυνσης, είναι η δυσκολία ή και πιθανά η αδυναμία, της επαναχρησιμοποίησής της όταν χαθούν τα αρχικά σημεία που τα όρισαν.

2. Όργανα Μέτρησης Γωνιών και διευθύνσεων

- Πυξίδες

Οι πυξίδες είναι όργανα που προσδιορίζουν Μαγνητικά Αζιμούθια με ακρίβεια μερικών πρώτων λεπτών του τόξου.

- Θεοδόλιχο

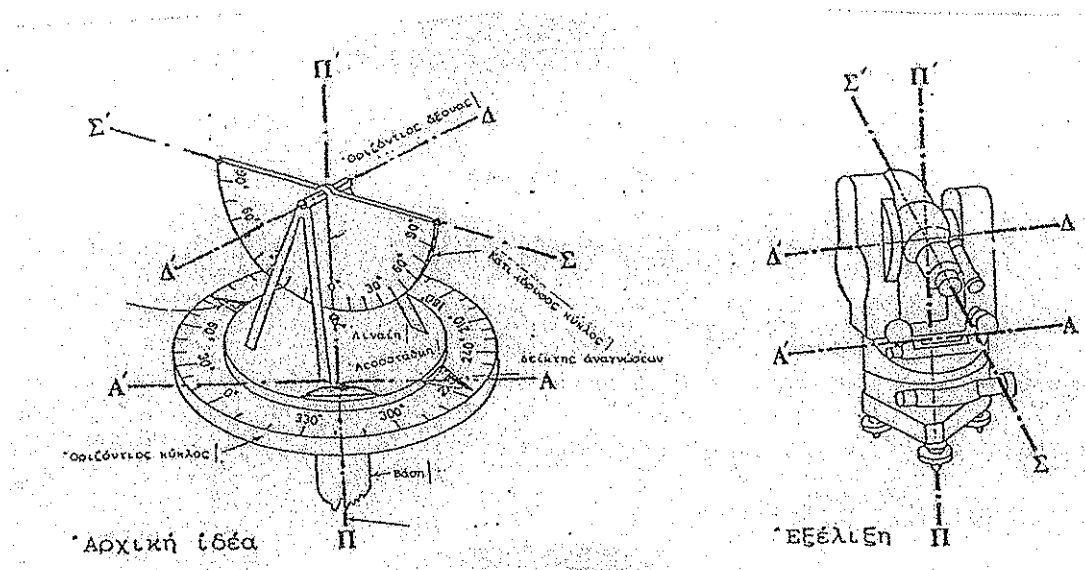
Τα θεοδόλιχα είναι όργανα που μετρούν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περισσότερες Τοπογραφικές – Γεωδαιτικές Εργασίες.

Η ακρίβεια προσδιορισμού μιας γωνίας με θεοδόλιχο μπορεί να είναι από μερικά λεπτά του τόξου, μέχρι μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου τόξου, ανάλογα με τον τύπο του οργάνου που χρησιμοποιείται.

- Εξάντες

Οι εξάντες είναι όργανα που μετρούν επίσης γωνίες, αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως στην Αστρονομία και τη Ναυσιπλοΐα.

Θεοδόλιχο



Η ιδέα της κατασκευής του βασίζεται στη σωστή γεωμετρική θέση τριών μηχανικών αξόνων. Οι άξονες αυτοί είναι:

- Ο πρωτεύον άξονας $\Pi\Pi'$, που θα πρέπει να είναι κατακόρυφος.
- Ο δευτερεύον άξονας $\Delta\Delta'$, που θα πρέπει να είναι κάθετος στον $\Pi\Pi'$.
- Ο άξονας $\Sigma\Sigma'$ (σκοπευτική γραμμή), που θα πρέπει να είναι κάθετος στον $\Delta\Delta'$.

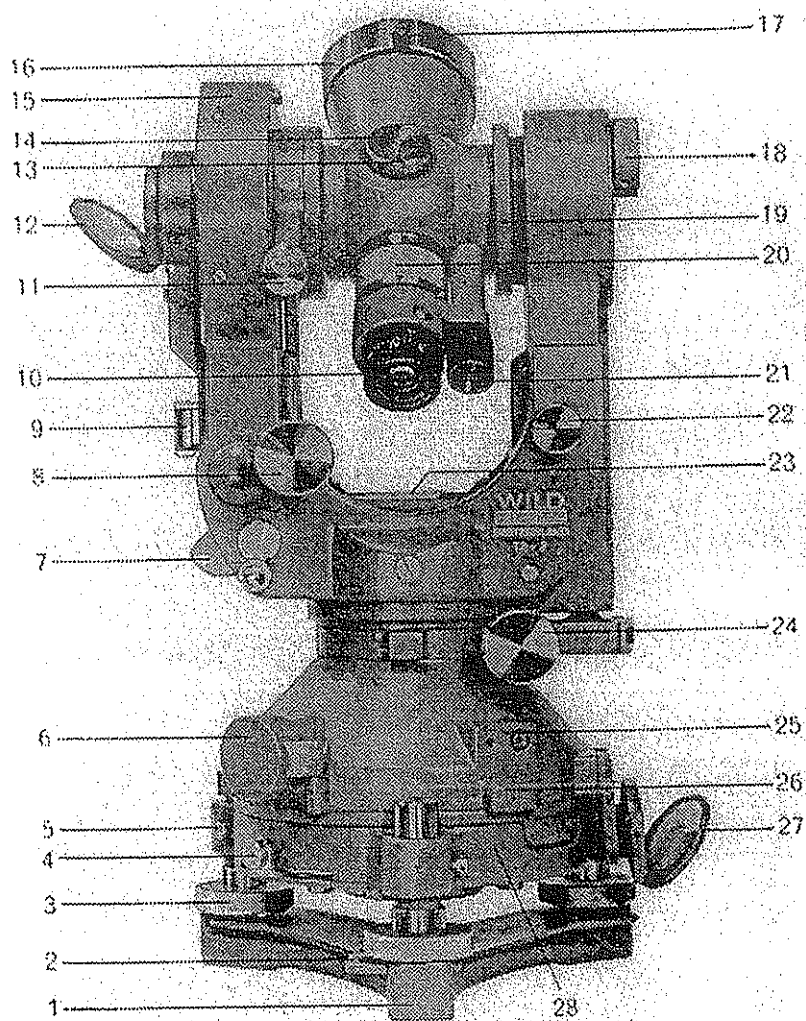
Βασικά Μέρη Θεοδολίχου

Το κάτω μέρος, που είναι σταθερό, συνδέεται με τρίποδα και αποτελείται από ένα τρικόχλιο για βάση, με σφαιρική αεροστάθμη.

Το πάνω μέρος ή κυρίως σώμα του θεοδολίχου περιέχει:

- την άντυγα ή δίκρανο,
- τον οριζόντιο και κατακόρυφο κύκλο,
- το τηλεσκόπιο,
- την κανονική σωληνωτή αεροστάθμη,
- τα συστήματα αναγνώσεων,
- τα συστήματα φωτισμού των αναγνώσεων,
- τον κοχλία μηδενισμού των οριζόντιων αναγνώσεων,
- τους κοχλίες χειρισμού του οργάνου,
- το σύστημα οπτικής κέντρωσης.

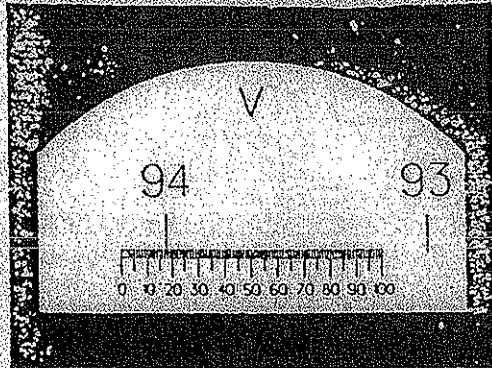
Το τηλεσκόπιο μπορεί να διαγράφει οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση και υπάρχουν δύο ειδικοί κοχλίες που το σταθεροποιούν στην επιθυμητή θέση. Αντίστοιχα υπάρχουν δύο ακόμη κοχλίες που επιτρέπουν πολύ μικρές κινήσεις του τηλεσκοπίου κατά την οριζόντια και κατακόρυφη έννοια, οι οποίοι λέγονται μικροκινητήριοι.



1. Πλάκα βάσης.
2. Ελατήριο της πλάκας.
3. Κοχλίας τριπόχλιου.
4. Μοχλός απεδέσμευσης τριπόχλιου.
5. Κοχλίας ρύθμισης του κοχλία του τριπόχλιου.
6. Κοχλίας τοποθέτησης αναγνώσεων οριζώντιου κύκλου.
7. Ανακλαστήρας φωτισμού αεροστάθμης ασφαλείας.
8. Μικροκινητήριο κοχλίας κίνησης κατακόρυφου κύκλου.
9. Πρίσμα παρατήρησης αεροστάθμης ασφαλείας.
10. Προσοφθαλμίο.
11. Ανασταλτινός κοχλίας κίνησης κατακόρυφου κύκλου.
12. Κάτοπτρο φωτισμού αναγνώσεων κατακόρυφου κύκλου.
13. Ετροφέας ρύθμισης του φωτισμού του σταυρονήματος.
14. Ετόχαστρο.
15. Θήκη κατακόρυφου κύκλου.
16. Αντικειμενικός φακός.
17. Ετόχαστρο.
18. Κοχλίας οπτικού μικρομέτρου.
19. Δακτύλιος επιθετής αεροστάθμης.
20. Δακτύλιος έστιασης τηλεσκοπίου.
21. Προσοφθαλμίο μικροσκοπίου αναγνώσεων.
22. Ετροφέας έναλλαγής αναγνώσεων των κύκλων.
23. Αεροστάθμη.
24. Μικροκινητήριο κοχλίας κίνησης οριζώντιου κύκλου.
25. Βαίza παροχής φωτισμού.
26. Ετήριγμα μεταφοράς.
27. Κάτοπτρο φωτισμού αναγνώσεων οριζώντιου κύκλου.
28. Βάση τριπόχλιου.

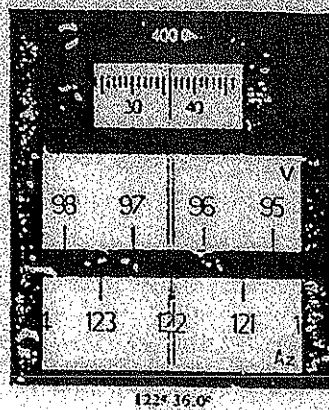
Συστήματα Αναγνώσεων

- Οπτική κλίμακα (υποδιαίρεση 1° , εκτίμηση $25''$)

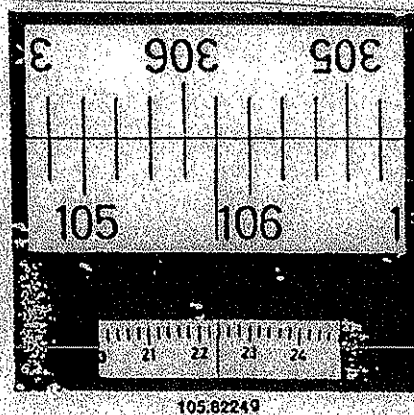


- $94^{\circ},175$

- Απλό Οπτικό Μικρόμετρο (υποδιαίρεση $20''$, εκτίμηση $5''$)



- Διπλό Οπτικό Μικρόμετρο (υποδιαίρεση $1''$ ή $2''$, εκτίμηση $0.5''$)



Κατηγορίες Θεοδολίων

- Θεοδόλια ακριβείας

Είναι τα θεοδόλια που χρησιμοποιούνται για τριγωνισμούς 1^{ης} και 2^{ης} τάξης, για οδεύσεις υψηλής ακρίβειας και για Γεωδαιτική Αστρονομία. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ακρίβεια με απ' ευθείας ανάγνωση 0.5^{cc} με διπλό οπτικό μικρόμετρο.

- Θεοδόλια απόδοσης 1^{cc}

Είναι τα θεοδόλια που χρησιμοποιούνται για τριγωνισμούς 2^{ης} τάξης και μικρότερους, για οδεύσεις ακριβείας, για μετρήσεις μικρομετακινήσεων σε φράγματα και τεχνικά έργα και για χαράξεις ακριβείας. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η απ' ευθείας ανάγνωση 1^{cc} με διπλό οπτικό μικρόμετρο.

- Θεοδόλια για γενική χρήση

Είναι τα θεοδόλια που χρησιμοποιούνται για τριγωνισμούς 3^{ης} και 4^{ης} τάξης, για οδεύσεις απλής ακρίβειας, για Τοπογραφικές Αποτυπώσεις, για εργασίες κατασκευών και χαράξεις. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η απ' ευθείας ανάγνωση 1^c με απλό οπτικό μικρόμετρο.

- Θεοδόλια για κατασκευές

Είναι τα θεοδόλια που χρησιμοποιούνται για απλές τοπογραφικές εργασίες και κυρίως σε κατασκευές και απλές χαράξεις. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η απευθείας ανάγνωση 5^c με οπτική κλίμακα.

Διαδικασία μέτρησης Γωνιών

Η διαδικασία για τη μέτρηση μιας γωνίας με θεοδόλιχο είναι η ακόλουθη:

1. Στήσιμο του τρίποδα πάνω από το σημείο στάσης.
2. Τοποθέτηση του θεοδόλιχου στον τρίποδα.
3. Κέντρωση του θεοδόλιχου στο σημείο στάσης, με βοήθεια λιναίης.
4. Οριζοντίωση του θεοδόλιχου.
5. Έλεγχος της κέντρωσης.
6. Εστίαση του τηλεσκοπίου σε μακρινό σημείο.
7. Προσανατολισμός του θεοδόλιχου σε γνωστή διεύθυνση.
8. Περίπτωση οριζόντιας γωνίας ΒΑΓ:
 - Σκόπευση στο Β – ανάγνωση – καταγραφή.
 - Σκόπευση στο Γ – ανάγνωση – καταγραφή.
9. Περίπτωση κατακόρυφης γωνίας στο σημείο Β.
 - Σκόπευση στο Β – ανάγνωση – καταγραφή.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΗΚΩΝ

Κατηγορίες οργάνων

Ανάλογα με το μέσο και τον τρόπο μέτρησης ενός μήκους, διακρίνουμε τις μετρήσεις μηκών σε άμεσες και έμμεσες.

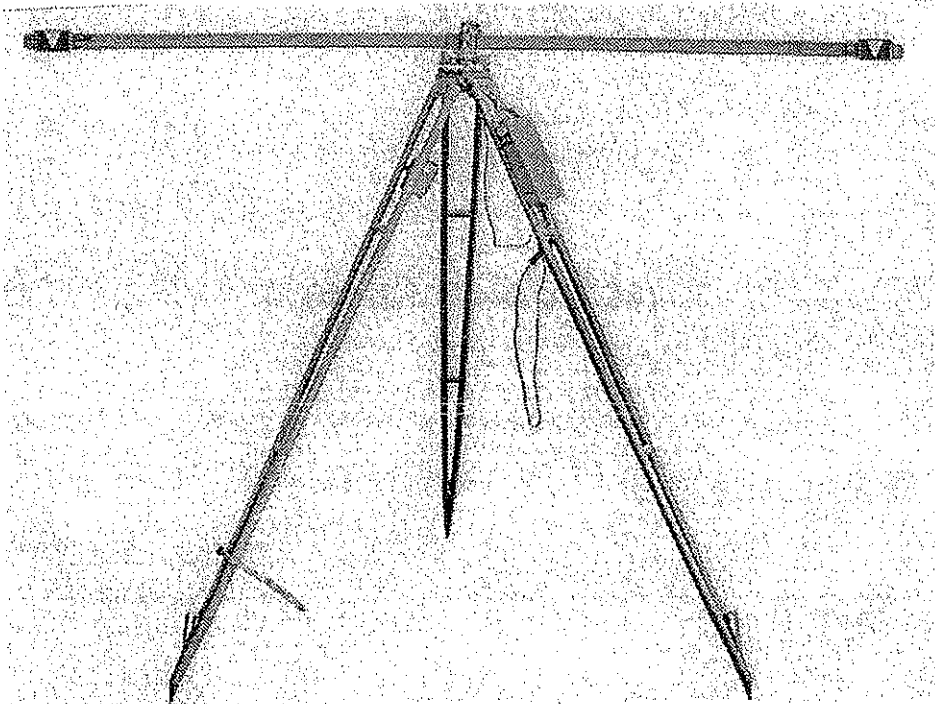
Στις άμεσες μετρήσεις μηκών χρησιμοποιούνται μέσα που με αυτά μετριέται ένα μήκος απ' ευθείας, ενώ στις έμμεσες μετρήσεις υπολογίζεται το μήκος, αφού πρώτα γίνουν βοηθητικές μετρήσεις.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται κάθε φορά είναι ανάλογα με την ακρίβεια που χρειάζεται σε μια εργασία και με τη μορφολογία και τις δυσκολίες που παρουσιάζει το περιβάλλον που θα γίνουν οι μετρήσεις.

Τα μέσα αυτά χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

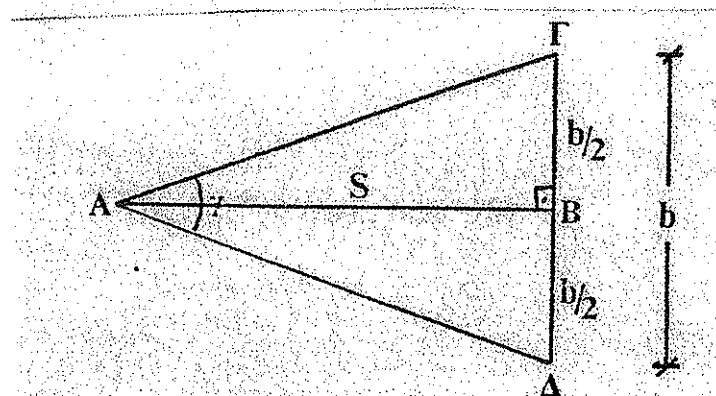
- Μετροταινίες
- Οπτικά τηλέμετρα
- Ηλεκτρομαγνητικά Όργανα Μέτρησης Αποστάσεων (E.D.M).

Οπτικά Τηλέμετρα – Δίμετρη Βάση



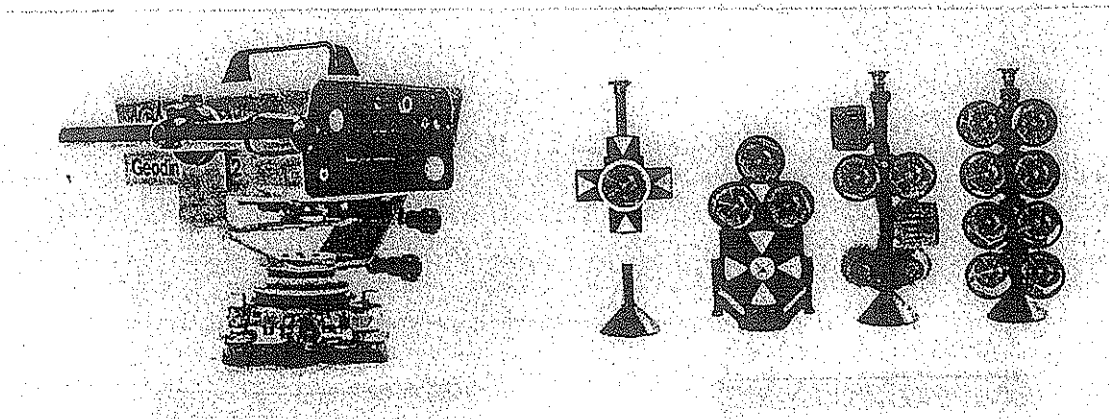
Με τα οπτικά τηλέμετρα η μέτρηση του μήκους γίνεται έμμεσα από το μήκος της οριζόντιας βάσης «b» και την παραλλακτική γωνία «γ», βάσει της σχέσης:

$$S = \frac{1}{2} b \cot \frac{\gamma}{2}$$



Η δίμετρη βάση παρέχει καλύτερη ακρίβεια από την μετροταινία και πολλές φορές είναι ταχύτερη μέθοδος. Εφαρμόζεται συνήθως όταν παρεμβάλλονται εμπόδια, όπως χαράδρες, ποταμοί, αυτοκινητόδρομοι, κ.ά..

Ηλεκτρομαγνητικά Όργανα Μέτρησης Αποστάσεων (E.D.M.)

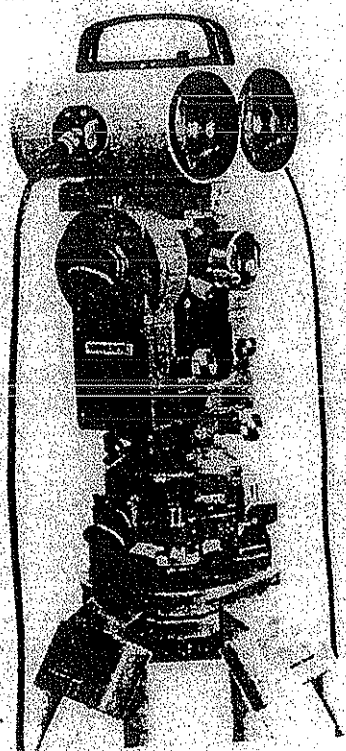


Τα όργανα αυτά στηρίζονται στη χρονομέτρηση της διαδρομής ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, από ένα σημείο σε ένα άλλο με σκοπό τη μέτρηση της απόστασης. Δηλαδή:

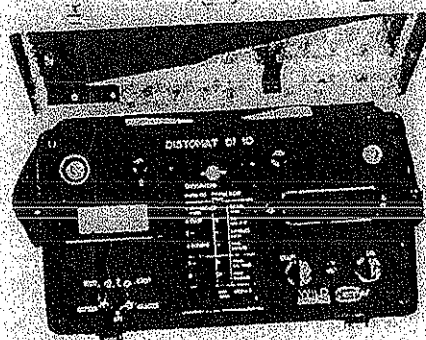
$$\text{Απόσταση} = \text{Ταχύτητα διάδοσης} \times \text{χρόνο}$$

Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων εξαρτάται από τη γνώση της ταχύτητας διάδοσής τους, που σήμερα είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια.

Ως φέρουσα ακτινοβολία χρησιμοποιείται ορατό φως, υπέρυθρες ακτίνες, ακτίνες laser ή και μικροκύματα.



DI10 σε Wild T2



μονάδα χειρισμού

Στο ένα άκρο της ευθυγραμμίας τοποθετείται το κυρίως όργανο και στο άλλο άκρο, ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας, ένας αριθμός ειδικών ανακλαστήρων (κατάφωτα).

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από το κυρίως όργανο πηγαίνουν στους ανακλαστήρες και μετά γυρίζουν πίσω στο κυρίως όργανο, όπου μετά από κάποια εσωτερική επεξεργασία διαβάζεται αμέσως η απόσταση.

Η ακρίβεια που πετυχαίνουν είναι από ± 1 cm έως $0,2$ mm ± 1 ppm.

Κατηγορίες Οργάνων E.D.M.

Μικρού βεληνεκούς

- Είναι όργανα κατασκευασμένα για μετρήσεις από μερικά μέτρα μέχρι 5km.
- Για τη διαδικασία της μέτρησης, στο ένα άκρο της ευθυγραμμίας είναι τοποθετημένο το όργανο και στο άλλο ένας τουλάχιστον ειδικός ανακλαστήρας.
- Η μέτρηση διαρκεί από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι λίγα λεπτά.
- Για να γίνει δυνατή η διατήρηση της ακρίβειας θα πρέπει να είναι γνωστές οι μετεωρολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος που γίνονται οι μετρήσεις, έτσι ώστε να γίνουν μετά οι κατάλληλες διορθώσεις και αναγωγές (διόρθωση για καθυστέρηση διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων λόγω μεταβολής της πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας μεταξύ πομπού και δέκτη).
- Τα περισσότερα όργανα αυτής της κατηγορίας έχουν ενσωματωμένη ατμοσφαιρική διόρθωση.

Μεγάλου Βεληνεκούς

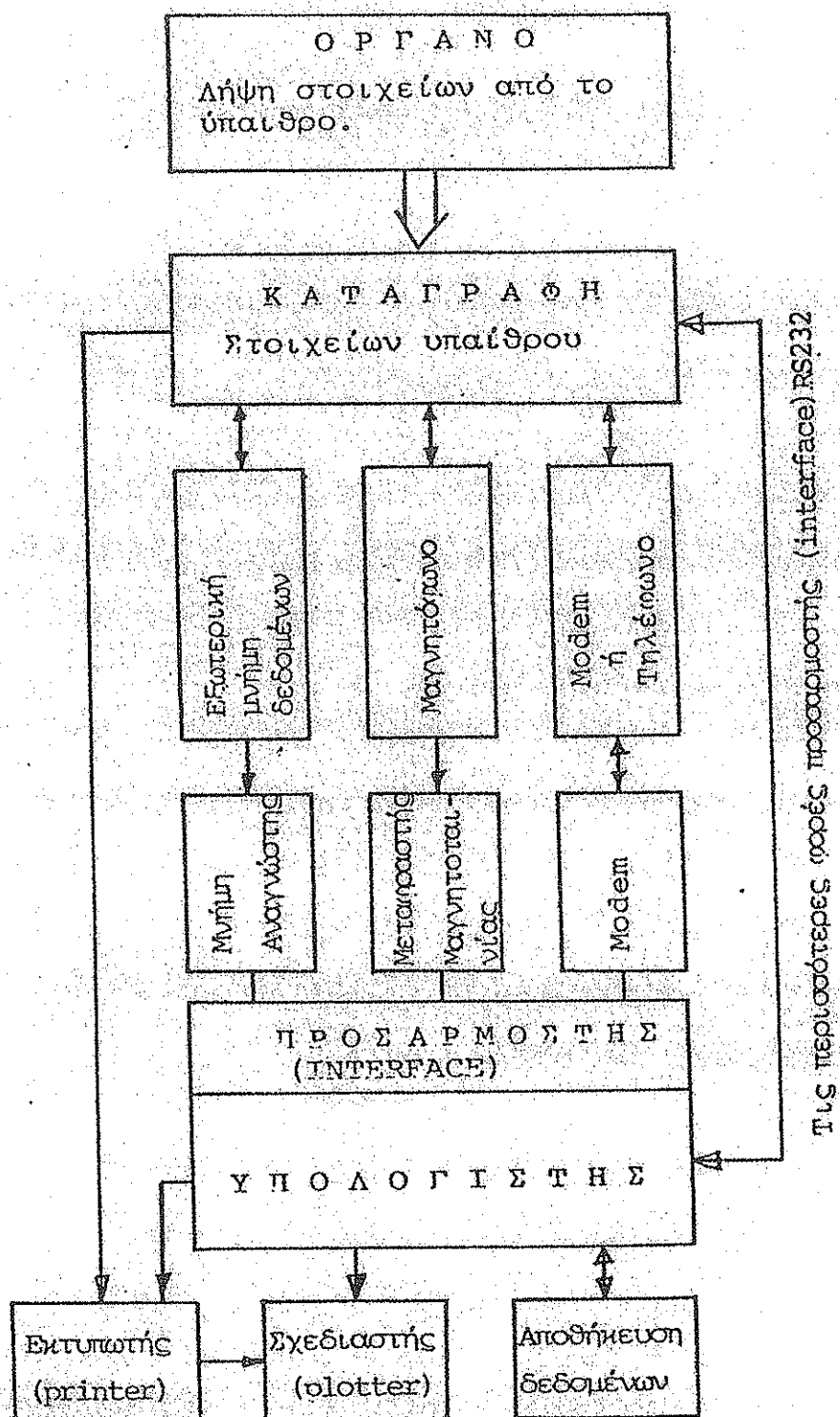
- Μπορούν να μετρήσουν αποστάσεις από μερικά μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες χιλιόμετρα.
- Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) στα όργανα που χρησιμοποιούν ορατό φως και β) στα όργανα που χρησιμοποιούν μικροκύματα στις μετρήσεις.
- Τα όργανα αυτά χρειάζονται μια μεγαλύτερη διαδικασία για κάθε μέτρηση στο ύπαιθρο και μετά επίσης χρειάζεται μια διαδικασία υπολογισμού του μήκους που μετρήθηκε.

ΟΡΓΑΝΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ

Η εξέλιξη των απλών EDM, οδήγησε στη δημιουργία των ταχυμετρικών EDM, που είναι συνδυασμός ενός κλασσικού θεοδόλιχου, με ένα EDM και κάποιο μικρό υπολογιστή.

Η εξέλιξη των ταχυμετρικών EDM, οδήγησε στο σχεδιασμό και κατασκευή οργάνων που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν με πλήρη αυτοτέλεια και με ηλεκτρονικό τρόπο, μήκη, γωνίες και διευθύνσεις και σαν παράγωγο και υψομετρικές διαφορές, χωρίς να χρειάζεται συνδυασμός περισσότερων οργάνων. Τα όργανα αυτά μπορούν να υποκαταστήσουν όλα τα όργανα με εξαίρεση προς το παρόν τα όργανα μεγάλου βεληνεκούς.

Οι δυνατότητες των οργάνων αυτών δεν σταματούν μόνο στη λήψη των στοιχείων υπαίθρου, με μεγάλη ή πολύ μεγάλη ακρίβεια, αλλά μπορούν να ολοκληρώσουν μια εργασία, μέσω ενός υπολογιστή, εκτυπωτή ή σχεδιαστή όταν συνδυαστούν με διάφορα παρελκόμενα ηλεκτρονικά ή όχι.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑ

Η θέση ενός σημείου στο έδαφος μπορεί να προσδιοριστεί αν από ένα γνωστό σημείο μετρηθεί η απόσταση και η γωνία ως προς μία γνωστή διεύθυνση.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να επεκταθεί σε διαδοχικά σημεία, έτσι ώστε να δημιουργηθούν σειρές από τεθλασμένες γραμμές, που θα είναι γνωστά τα μήκη τους και οι μεταξύ τους γωνίες. Μια τέτοια τεθλασμένη γραμμή λέγεται πολυγωνομετρική όδευση.

Τα μήκη και οι γωνίες λέγονται πλευρές και γωνίες ή στοιχεία της όδευσης.

Τα σημεία τομής των πλευρών της όδευσης λέγονται κορυφές της όδευσης ή πολυγωνομετρικά σημεία.

Τα στοιχεία της όδευσης μετριοούνται με γωνιομετρικό όργανο, που ανάλογα με την ακρίβεια μπορεί να είναι από πυξίδα μέχρι θεοδόλιχο ακριβείας και με μετροταινία ή με όργανα E.D.M., πάλι ανάλογα με την ακρίβεια.

Είδη Οδεύσεων

Οι οδεύσεις ανάλογα με τη θέση της πρώτης και τελευταίας κορυφής μπορούν να διακριθούν σε:

- Ανοικτές οδεύσεις.
- Κλειστές οδεύσεις.

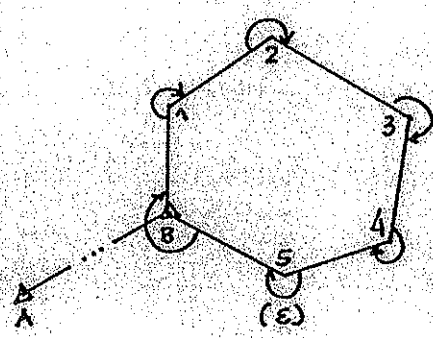
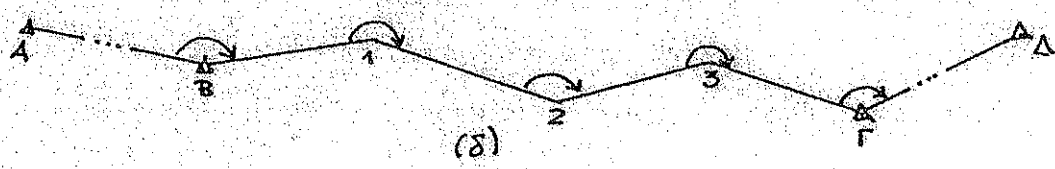
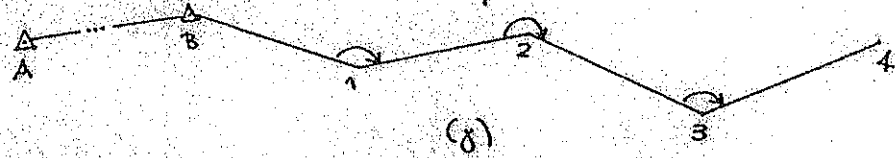
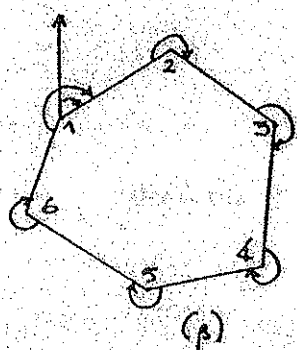
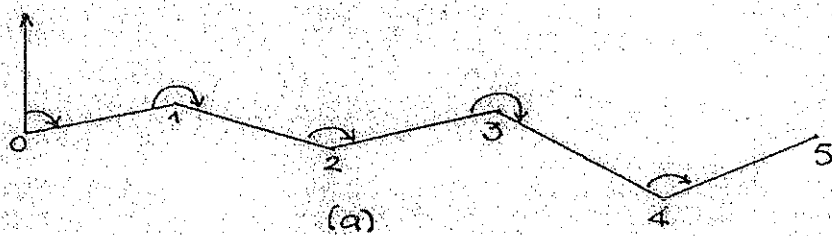
Ανοικτές οδεύσεις είναι εκείνες που η πρώτη και η τελευταία τους κορυφή δεν συμπίπτουν.

Κλειστές οδεύσεις είναι εκείνες που η πρώτη και η τελευταία τους κορυφή συμπίπτει.

Μια ανοικτή όδευση είναι εξαρτημένη όταν η αρχή ή το τέλος της είναι σημείο με γνωστές συντεταγμένες και από εκεί μπορεί να σκοπευθεί μια γνωστή διεύθυνση.

Μια ανοικτή όδευση είναι πλήρως εξαρτημένη όταν η αρχή και το τέλος της είναι σημείο με γνωστές συντεταγμένες και μπορούν και από τα δύο αυτά σημεία να σκοπευθούν γνωστές διευθύνσεις.

Μια κλειστή όδευση είναι εξαρτημένη όταν μια κορυφή της έχει γνωστές συντεταγμένες και από εκεί μπορεί να σκοπευθεί γνωστή διεύθυνση.



Εφαρμογές Οδεύσεων

Οι οδεύσεις χρησιμοποιούνται σε κάθε είδους τοπογραφικές εργασίες κυρίως για να δημιουργήσουν σημεία ελέγχου για την εκτέλεση των αποτυπώσεων.

Σε αποτύπωση ενός τμήματος μιας πόλης ή μιας μεγάλης περιοχής δημιουργούνται αρχικά βασικές περιφερειακές οδεύσεις. Συνήθως οι οδεύσεις αυτές είναι κλειστές, που τα ενδιάμεσα σημεία τους συνδέονται μεταξύ τους με άλλες δευτερεύουσες κλειστές ή ανοικτές έτσι ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η περιοχή από ένα πυκνό δίκτυο σημείων που θα βοηθήσουν στην πληρέστερη αποτύπωσή της.

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανοικτές ή εξαρτημένες οδεύσεις για την αποτύπωση περιοχών που πρόκειται να κατασκευαστούν τεχνικά έργα (ζώνες αποτύπωσης για Οδοποιία, Σιδηροδρομική, Υδραυλική κ.λ.π.).

Σήμερα με την εξέλιξη των οργάνων (πολύ καλών Θεοδολίχων και οργάνων EDM) και των διαφόρων μέσων γενικά, οι οδεύσεις μπορούν να αντικαταστήσουν τον τριγωνισμό, εκεί που δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

Σειρά εργασιών σε μια όδευση

Όπως σε κάθε Γεωδαιτική εργασία έτσι και στις οδεύσεις θα πρέπει να τηρηθεί μια σειρά από διάφορα διαδοχικά στάδια, τέτοια ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα όσο το δυνατόν πιο σωστά, οικονομικά και γρήγορα.

Τα διάφορα διαδοχικά στάδια στις εργασίες σε μια όδευση είναι:

- Αναγνώριση.
- Υλοποίηση των κορυφών της όδευσης, εκλογή και εγκατάσταση σημάτων για τις σκοπεύσεις.
- Μετρήσεις.
- Καταγραφή των μετρήσεων.
- Υπολογισμοί.

Επίλυση Οδεύσεων

Αναλυτική μέθοδος

Η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί είναι:

- A) Θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις και αναγωγές στα μετρημένα μήκη των πλευρών της όδευσης, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι διορθωμένες οριζόντιες αποστάσεις.
- B) Θα πρέπει να είναι γνωστές (ή αυθαίρετα εκλεγμένες) οι συντεταγμένες της πρώτης κορυφής της όδευσης (σε κάποιο σύστημα αναφοράς) καθώς και ο προσανατολισμός της πρώτης της πλευράς.
- Γ) Με την αρχική γωνία προσανατολισμού (αρχική γωνία διευθύνσεως) και με τις μετρημένες γωνίες β_i της όδευσης, υπολογίζονται οι γωνίες διευθύνσεως κάθε πλευράς.
- Δ) Με τις υπολογισμένες γωνίες διευθύνσεως κάθε πλευράς και τις διορθωμένες οριζόντιες αποστάσεις των πλευρών, με τη βοήθεια των θεμελιωδών προβλημάτων της Γεωδαισίας, υπολογίζονται τα ΔX_i και ΔY_i και τελικά τα X_i , και Y_i για κάθε κορυφή.
- E) Τελικά ανάλογα με τη μορφή της όδευσης γίνεται η διόρθωση των συντεταγμένων των κορυφών της όδευσης.

Τυπολόγιο – Σειρά εργασιών

Εφαρμόζονται τα βασικά υπολογιστικά προβλήματα της Γεωδαισίας με την παρακάτω σειρά:

- α) Υπολογίζονται αρχικά οι γωνίες διεύθυνσεως α_{AB} και $\alpha_{\Gamma\Delta}$ από:

$$\tan \alpha_{ij} = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

- β) Υπολογίζεται η $\alpha'_{\Gamma\Delta} = \alpha_{AB} + \Sigma \beta_i + n200 - K400$

όπου: α_{AB} : η αρχικά υπολογισμένη γωνία διεύθυνσεως,

β_i : οι γωνίες οδεύσεως που μετρήθηκαν

n : ο αριθμός των γωνιών β_i

- γ) Υπολογίζεται το γωνιακό σφάλμα W_β με ανάλογη διόρθωση σε κάθε γωνία β :

$$W_\beta = \alpha_{\Gamma\Delta} - \alpha'_{\Gamma\Delta}$$

$$\delta_\beta = W_\beta / n$$

$$\beta = \beta' + \delta_\beta$$

δ) Υπολογίζονται όλες οι γωνίες διεύθυνσεως:

$$\alpha_{\eta,(\eta+1)} = \alpha_{(\eta-1,\eta)} + \beta_{\eta} + 200 - K400$$

ε) Υπολογίζονται οι διαφορές των συντεταγμένων $\Delta X'$ και $\Delta Y'$ από:

$$\Delta X' = S \sin \alpha$$

$$\Delta Y' = S \cos \alpha$$

στ) Υπολογίζεται το γραμμικό σφάλμα W_X και W_Y :

$$W_X = (X_{\Gamma} - X_B) - \Sigma \Delta X'$$

$$W_Y = (Y_{\Gamma} - Y_B) - \Sigma \Delta Y'$$

και έπειτα διορθώνονται τα $\Delta X'$ και $\Delta Y'$ κατά:

$$\delta_X = \frac{W_X}{\Sigma S} S_{ij}$$

$$\delta_Y = \frac{W_Y}{\Sigma S} S_{ij}$$

ε) Υπολογίζονται τελικά οι συντεταγμένες:

$$X_{\eta} = X_{\eta-1} + \Delta X' + \delta_X$$

$$Y_{\eta} = Y_{\eta-1} + \Delta Y' + \delta_Y$$

Όλες οι περιπτώσεις που εμφανίζονται, επιλύονται με εφαρμογή του παραπάνω τυπολογίου. Βέβαια, σε κάθε ειδική περίπτωση μπορεί να υπάρξουν αφαιρέσεις και μικρές αλλαγές.

Στην περίπτωση της κλειστής εξαρτημένης όδευσης θα είναι:

$$\alpha_{AB} = \alpha_{\Gamma\Delta} + 200^g$$

Στην κλειστή ανεξάρτητη όδευση θα πρέπει να ισχύει ότι:

$$\Sigma\beta = 200^g (n \pm 2) \quad \begin{array}{l} \text{(το + ισχύει για εξωτερικές γωνίες } \beta) \\ \text{(το - ισχύει για εσωτερικές γωνίες } \beta) \end{array}$$

$$\text{και } \Sigma\Delta X' = 0, \quad \Sigma\Delta Y' = 0$$

Αν δεν ισχύουν τα παραπάνω τότε:

$$\Sigma\beta - \Sigma\beta' = \Sigma\beta$$

$$-\Sigma\Delta X' = W_X$$

$$-\Sigma\Delta Y' = W_Y$$

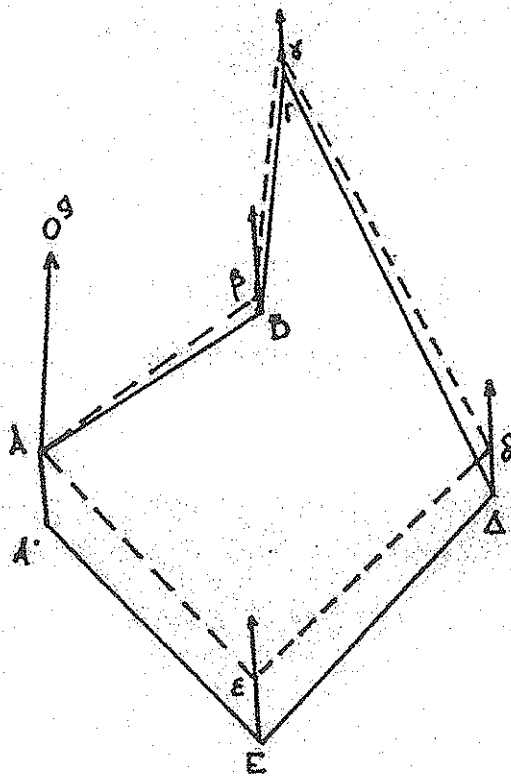
Στις ανεξάρτητες οδεύσεις και στις εξαρτημένες από το ένα άκρο η επίλυση γίνεται χωρίς να γίνουν διορθώσεις για γωνιακά και γραμμικά σφάλματα.

Γραφική Μέθοδος

Στην περίπτωση που δεν απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια στην επίλυση μιας όδευσης, η επίλυση και συνόρθωση της όδευσης μπορεί να γίνει με γραφική μέθοδο.

Η αρχική κατασκευή και ο έλεγχος γίνεται με ένα βαθμογνωμόνιο ακριβείας και ένα κανόνα.

Αν θεωρηθεί ως παράδειγμα μια κλειστή ανεξάρτητη όδευση, και αν όλα τα στοιχεία που μετρήθηκαν δεν έχουν σφάλμα (μετρητικό ή γραφικό), θα πρέπει το αρχικό σημείο, έστω το Α να συμπίπτει με το Α' που θα προσδιοριστεί από το Ε.



Αν δεν συμβεί αυτό τότε θα γίνει η συνόρθωση της όδευσης γραφικά.

- A) Προσδιορίζεται γραφικά η διεύθυνση του σφάλματος κλεισίματος AA' .
- B) Από κάθε κορυφή της όδευσης φέρνεται παράλληλη προς τη διεύθυνση του σφάλματος κλεισίματος.
- Γ) Σχεδιάζεται σε ανάπτυγμα και σε κάποια κλίμακα το σύνολο του μήκους των πλευρών της όδευσης και στο σημείο A' σχεδιάζεται κάθετα το σφάλμα κλεισίματος ($\alpha A'$).

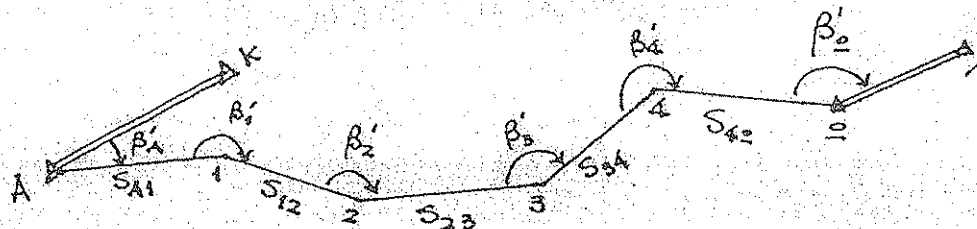


(το συνολικό ανάπτυγμα σχεδιάστηκε σε υποδιπλάσια κλίμακα)

- Δ) Τα τμήματα $\alpha A'$, ϵE , $\delta \Delta$, $\gamma \Gamma$ και βB είναι τα αναλογικά σφάλματα κλεισίματος που παίρνονται σε κάθε σημείο πάνω στη διεύθυνση που έχει ληφθεί παράλληλη με το αρχικό σφάλμα κλεισίματος $\alpha A'$.
- E) Αν ενωθούν οι διορθωμένες θέσεις των κορυφών της όδευσης, θα έχουμε γραφικά την τελική συνορθωμένη μορφή της όδευσης.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΟΔΕΥΣΕΩΝ

Παράδειγμα 1^ο : Ανοικτή πλήρως εξαρτημένη οδευση.



Δίδονται	:	$X_A = 10223,75$	$Y_A = 9825,61$
		$X_\Omega = 10120,45$	$Y_\Omega = 9603,77$
		$X_K = 9367,08$	$Y_K = 8018,37$
		$X_\Lambda = 9375,22$	$Y_\Lambda = 7217,43$

Μετρήθηκαν	:	$\beta'_A = 109,190$	$S_{A-1} = 45,59 \text{ m}$
		$\beta'_1 = 200,915$	$S_{1-2} = 55,02$
		$\beta'_2 = 182,420$	$S_{2-3} = 51,23$
		$\beta'_3 = 184,145$	$S_{3-4} = 51,18$
		$\beta'_4 = 228,085$	$S_{4-\Omega} = 46,58$
		$\beta'_\Omega = 185,310$	

Ζητούνται : Οι συντεταγμένες των κορυφών της οδευσης

α. Υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης a_{KA} και $a_{\Omega\Lambda}$

$$\left. \begin{aligned} \arctan a_{KA} &= \frac{X_A - X_K}{Y_A - Y_K} = 28,180^\circ \\ \Delta X &> 0 \\ \Delta Y &< 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow a_{KA} = 28,180^\circ$$

$$\left. \begin{aligned} \arctan a_{\Omega\Lambda} &= \frac{X_\Lambda - X_\Omega}{Y_\Lambda - Y_\Omega} = 19,270^\circ \\ \Delta X &0, \Delta Y > 0 \end{aligned} \right\} \rightarrow a_{\Omega\Lambda} = 219,270^\circ$$

β. Υπολογίζεται η $a'_{\Omega\Lambda} = a_{KA} + \sum \beta_i + \eta \cdot 200 - K \cdot 400$

$$a'_{\Omega\Lambda} = a_{KA} + \beta_A + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_{\Omega} + 6 \cdot 200 - K \cdot 400$$

$$a'_{\Omega\Lambda} = 219,245$$

γ. Υπολογίζεται το γωνιακό σφάλμα $W_{\beta} = a_{\Omega\Lambda} - a'_{\Omega\Lambda}$ και η ανάλογη διόρθωση σε κάθε γωνία $\delta\beta = \frac{W_{\beta}}{n}$

$$W_{\beta} = 219,270 - 219,245 \rightarrow W_{\beta} = 0,025$$

$$\delta\beta = \frac{W_{\beta}}{n} = \frac{0,025}{6} \rightarrow \delta\beta = 0,0042$$

Οι διορθωμένες γωνίες θλάσης είναι : $\beta_i = \beta_i^g + \delta\beta$

$$\beta_A = 10,1942$$

$$\beta_3 = 184,1492$$

$$\beta_1 = 200,9192$$

$$\beta_4 = 228,0892$$

$$\beta_2 = 182,4242$$

$$\beta_{\Omega} = 185,3142$$

δ. Υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης : $a_{n,(n+1)} = a_{(n-1),n} + \beta_n + 200 - K \cdot 400$

$$a_{KA} = 28,180$$

$$a_{A1} = a_{KA} + \beta_A + 200 - K \cdot 400 = 238,374$$

$$a_{12} = a_{A1} + \beta_1 + 200 - K \cdot 400 = 239,293$$

$$a_{23} = a_{12} + \beta_2 + 200 - K \cdot 400 = 221,718$$

$$a_{34} = a_{23} + \beta_3 + 200 - K \cdot 400 = 205,867$$

$$a_{4\Omega} = a_{34} + \beta_4 + 200 - K \cdot 400 = 233,956$$

$$a_{\Omega\Lambda} = a_{4\Omega} + \beta_{\Omega} + 200 - K \cdot 400 = 219,270 \quad (\text{για έλεγχο})$$

ε. Υπολογίζονται οι διαφορές των συντεταγμένων:

$$\begin{aligned}\Delta X' &= S_{ij} \sin \alpha_{ij} \\ \Delta X'_{A1} &= S_{A1} \sin \alpha_{A1} = -25,847 \text{ m} \\ \Delta X'_{12} &= S_{12} \sin \alpha_{12} = -31,844 \\ \Delta X'_{23} &= S_{23} \sin \alpha_{23} = -17,140 \\ \Delta X'_{34} &= S_{34} \sin \alpha_{34} = -4,710 \\ \Delta X'_{4\Omega} &= S_4 \sin \alpha_4 = -23,683\end{aligned}$$

$$\Sigma \Delta X' = -103,224 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\Delta Y' &= S_{ij} \cos \alpha_{ij} \\ \Delta Y'_{A1} &= S_{A1} \cos \alpha_{A1} = -37,555 \text{ m} \\ \Delta Y'_{12} &= S_{12} \cos \alpha_{12} = -44,868 \\ \Delta Y'_{23} &= S_{23} \cos \alpha_{23} = -48,278 \\ \Delta Y'_{34} &= S_{34} \cos \alpha_{34} = -50,963 \\ \Delta Y'_{4\Omega} &= S_4 \cos \alpha_{4\Omega} = -40,110\end{aligned}$$

$$\Sigma \Delta Y' = -221,774 \text{ m}$$

στ. Υπολογίζονται τα γραμμικά σφάλματα: $W_X = (X_\Omega - X_A) - \Sigma \Delta X'$

$$W_Y = (Y_\Omega - Y_A) - \Sigma \Delta Y' \quad \text{και}$$

διορθώνονται τα $\Delta X'$ και $\Delta Y'$ κατά: $\delta X = \frac{W_X}{\Sigma S} S_{ij}$ και $\delta Y = \frac{W_Y}{\Sigma S} S_{ij}$

$$W_X = -0,076 \text{ m}, \quad W_Y = -0,066 \text{ m}, \quad \Sigma S = 249,600 \text{ m}$$

$$\delta X_{A1} = -0,014 \text{ m}$$

$$\delta Y_{A1} = -0,012 \text{ m}$$

$$\delta X_{12} = -0,016$$

$$\delta Y_{12} = -0,014$$

$$\delta X_{23} = -0,016$$

$$\delta Y_{23} = -0,014$$

$$\delta X_{34} = -0,016$$

$$\delta Y_{34} = -0,014$$

$$\delta X_{4\Omega} = -0,014$$

$$\delta Y_{4\Omega} = -0,012$$

$$\Sigma \delta X = W_X = -0,076 \text{ m}$$

$$\Sigma \delta Y = W_Y = -0,066 \text{ m}$$

ζ. Υπολογίζονται τελικά οι συντεταγμένες: $X_\eta = X_\eta - 1 + \Delta X' + \delta X$

$$Y_\eta = Y_\eta - 1 + \Delta Y' + \delta Y$$

$$X_A = 10223,75 \text{ m}$$

$$Y_A = 9825,61 \text{ m}$$

$$X_1 = 10197,89$$

$$Y_1 = 9788,04$$

$$X_2 = 10166,03$$

$$Y_2 = 9743,16$$

$$X_3 = 10148,87$$

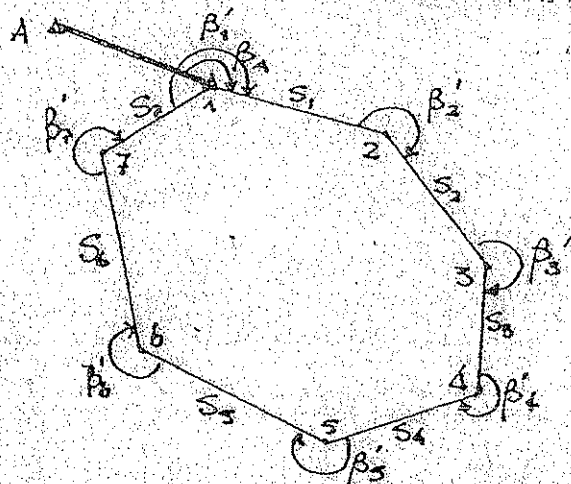
$$Y_3 = 9694,87$$

$$X_4 = 10144,15$$

$$Y_4 = 9643,89$$

$$X_\Omega = 10120,45 \text{ (για έλεγχο)} \quad Y_\Omega = 9603,77 \text{ (για έλεγχο)}$$

Π α ρ ά δ ε ι γ μ α 2 ο : Κλειστή εξαρτημένη όδευση.



$$\begin{aligned} \text{Δίνονται: } X_1 &= 528,29 \text{ m} \\ \Psi_1 &= 126,50 \text{ m} \\ X_A &= 403,01 \text{ m} \\ \Psi_A &= -80,76 \text{ m} \end{aligned}$$

Μετρήθηκαν:	$\beta_A = 123,870$	$S_1 = 117,38 \text{ m}$
	$\beta'_1 = 237,082$	$S_2 = 102,75$
	$\beta'_2 = 268,886$	$S_3 = 134,64$
	$\beta'_3 = 225,444$	$S_4 = 99,83$
	$\beta'_4 = 267,761$	$S_5 = 119,17$
	$\beta'_5 = 245,387$	$S_6 = 213,49$
	$\beta'_6 = 266,632$	$S_7 = 129,12$
	$\beta'_7 = 288,819$	

Ζητούνται οι συντεταγμένες των κορυφών της όδευσης.

α. Υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης a_{A1} και a_{1A}

$$a'_{A1} = \arctan \frac{X_1 - X_A}{\Psi_1 - \Psi_A} = -77,7142^\circ$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta X > 0 \\ \Delta \Psi < 0 \end{array} \right\} \rightarrow a_{A1} = 200 + a'_{A1} = 122,2858^\circ$$

$$a_{1A} = a_{A1} + 200 = 322,2858^\circ$$

β. Υπολογίζεται η $a'_{1A} = a_{A1} + \beta_A + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_6 + \beta_7 + (\beta_1 - \beta'_A) + 8.200 - \epsilon 400$

$$a'_{1A} = 322,2968$$

γ. Υπολογίζεται το γωνιακό σφάλμα $W_\beta = a_{1A} - a'_{1A} = -0,0110$ και η

$$\text{ανάλογη διορθωση σε κάθε γωνία } \delta\beta = \frac{W_\beta}{n} = \frac{-0,0110}{7} = -0,0016$$

Αρα οι διορθωμένες γωνίες $\beta_1 = \beta'_1 + \delta\beta_1$

$$\beta_A = 123,8700$$

$$\beta_4 = 267,7594$$

$$\beta_1 = 237,0804$$

$$\beta_5 = 245,3854$$

$$\beta_2 = 268,8844$$

$$\beta_6 = 266,6305$$

$$\beta_3 = 225,4424$$

$$\beta_7 = 288,8175$$

δ. Υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης των πλευρών:

$$a_{n,(n+1)} = a_{(n-1),n} + \beta_n + 200 - \epsilon 400$$

$$a_{12} = 46,1558$$

$$a_{56} = 253,6274$$

$$a_{23} = 115,0402$$

$$a_{67} = 320,2579$$

$$a_{34} = 140,4826$$

$$a_{71} = 9,0754$$

$$a_{45} = 208,2420$$

$$a_{12} = 46,1558 \quad (\text{για έλεγχο})$$

ε. Υπολογίζονται οι διαφορές των συντεταγμένων: $\Delta X' = S \sin \alpha$

$$\Delta Y' = S \cos \alpha$$

$$\Delta X'_{12} = 77,840$$

$$\Delta Y'_{12} = 87,858$$

$$\Delta X'_{23} = 99,896$$

$$\Delta Y'_{23} = -24,050$$

$$\Delta X'_{34} = 108,323$$

$$\Delta Y'_{34} = -79,963$$

$$\Delta X'_{45} = -12,888$$

$$\Delta Y'_{45} = -98,995$$

$$\Delta X'_{56} = -88,928$$

$$\Delta Y'_{56} = -79,330$$

$$\Delta X'_{67} = -202,772$$

$$\Delta Y'_{67} = 66,794$$

$$\Delta X'_{71} = 18,345$$

$$\Delta Y'_{71} = 127,810$$

$$\Sigma \Delta X' = -0,184m$$

$$\Sigma \Delta Y' = 0,124m$$

στ. Υπολογίζεται το γραμμικό σφάλμα: $W_X = -\sum \Delta X' = 0,184 \text{ m}$

$$W_Y = -\sum \Delta Y' = -0,124 \text{ m}$$

και διορθώνονται τα $\Delta X'$ και $\Delta Y'$ κατά: $\delta X = \frac{W_X}{\sum S} S_{ij}$

$$\delta Y = \frac{W_Y}{\sum S} S_{ij}$$

δX

$$\delta X_{12} = 0,024$$

$$\delta X_{23} = 0,021$$

$$\delta X_{34} = 0,026$$

$$\delta X_{45} = 0,020$$

$$\delta X_{56} = 0,024$$

$$\delta X_{67} = 0,043$$

$$\delta X_{71} = 0,021$$

$$\sum \delta X = W_X = 0,184 \text{ m (για έλεγχο)}$$

δY

$$\delta Y_{12} = -0,016$$

$$\delta Y_{23} = -0,014$$

$$\delta Y_{34} = -0,018$$

$$\delta Y_{45} = -0,014$$

$$\delta Y_{56} = -0,016$$

$$\delta Y_{67} = -0,029$$

$$\delta Y_{71} = -0,017$$

$$\sum \delta Y = W_Y = -0,124 \text{ m}$$

ζ. Υπολογίζονται τελικά οι συντεταγμένες: $X_n = X_{n-1} + \Delta X' + \delta X$

$$Y_n = Y_{n-1} + \Delta Y' + \delta Y$$

X

$$X_1 = 528,29$$

$$X_2 = 606,15$$

$$X_3 = 706,07$$

$$X_4 = 814,42$$

$$X_5 = 801,50$$

$$X_6 = 712,65$$

$$X_7 = 509,92$$

$$X_1 = 528,29 \text{ (για έλεγχο)}$$

Y

$$Y_1 = -126,50$$

$$Y_2 = -38,66$$

$$Y_3 = -62,72$$

$$Y_4 = -142,70$$

$$Y_5 = -241,71$$

$$Y_6 = -321,06$$

$$Y_7 = -254,29$$

$$Y_1 = -126,50 \text{ (για έλεγχο)}$$

ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ

Τριγωνισμός είναι το σύνολο των εργασιών που γίνονται σε ένα δίκτυο τριγώνων που μετριοούνται όλες τους οι γωνίες καθώς και μια αρχική πλευρά, η βάση. Οι υπόλοιπες πλευρές υπολογίζονται από τις γωνίες και τη μετρημένη αρχικά βάση.

Σκοπός του τριγωνισμού είναι να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των κορυφών των τριγώνων με την απαιτούμενη κάθε φορά ακρίβεια, έτσι ώστε να υπάρχει το κατάλληλο κάθε φορά δίκτυο ελέγχου για όλες τις Γεωδαιτικές και Τοπογραφικές Εργασίες που γίνονται σε μια περιοχή.

Η μορφή αυτή του ανεξάρτητου τριγωνομετρικού δικτύου είναι εκείνη που έχει καθιερωθεί από παλαιά, επειδή πάντοτε υπήρχαν δυσκολίες άμεσης μέτρησης των πλευρών.

Σήμερα με την εξέλιξη των οργάνων EDM, μπορεί να καταργηθεί η μέτρηση της βάσης και μπορούν εύκολα να μετρηθούν μερικές από τις πλευρές του δικτύου ή ακόμη και όλες. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο των εργασιών που γίνονται λέγεται τριπλευρισμός.

Κατηγορίες Τριγωνισμού

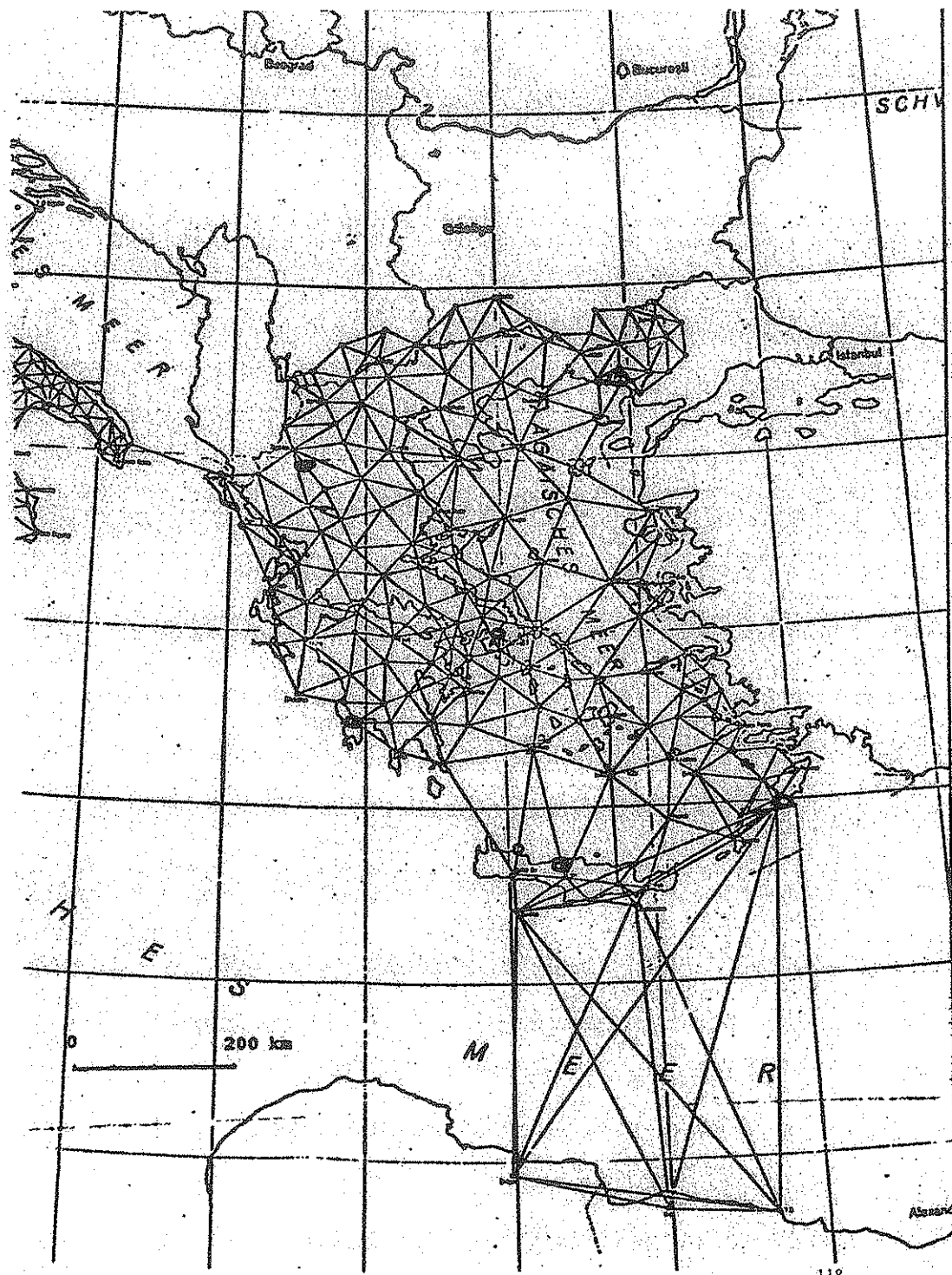
Ανάλογα με τα μήκη των πλευρών των τριγώνων ενός τριγωνομετρικού δικτύου, με το επιτρεπόμενο σφάλμα του γωνιακού κλεισίματος των τριγώνων καθώς και με το επιτρεπόμενο γραμμικό σφάλμα στο δίκτυο, που εξαρτάται από την ακρίβεια μέτρησης της βάσης, ο τριγωνισμός διακρίνεται βασικά στις κατηγορίες (τάξεις) που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Τάξη	Πλευρές	Γωνιακό Κλείσιμο Τριγώνου	Γραμμικό Σφάλμα
1η	30-100km και μεγαλύτερες	μέσο $\leq 1''$ ή $\sim 3^{cc}$ max $\leq 3''$ ή $\sim 9^{cc}$	δυσμενέστερη περίπτωση 1/50.000
2η	15-30km	μέσο $\leq 3''$ ή $\sim 9^{cc}$ max $\leq 5''$ ή $\sim 15^{cc}$	1/20000 μέχρι 1/50000
3η*	1-15km	15'' ή $\sim 40^{cc}$ -50 ^{cc}	1/5000 1/20000

Ακόμη υπάρχει ο Τριγωνισμός μηδενικής τάξης, που χαρακτηρίζεται από πλευρές της τάξης 1000 – 2000 km και μεγαλύτερες και που οι παρατηρήσεις γίνονται σε Τεχνητούς Δορυφόρους με διάφορα οπτικά μέσα.

Στην περίπτωση που απαιτούνται μεγάλες ακρίβειες στα αποτελέσματα ενώ οι πλευρές του τριγωνομετρικού δικτύου είναι μικρές, (μερικές εκατοντάδες μέτρα) τότε ο τριγωνισμός ονομάζεται Μικροτριγωνισμός και εφαρμόζεται συνήθως για ελέγχους κινητότητας μεγάλων τεχνικών έργων (φράγματα, μεγάλα κτίρια κ.λ.π.).

Τριγωνομετρικό Δίκτυο Ελλάδας

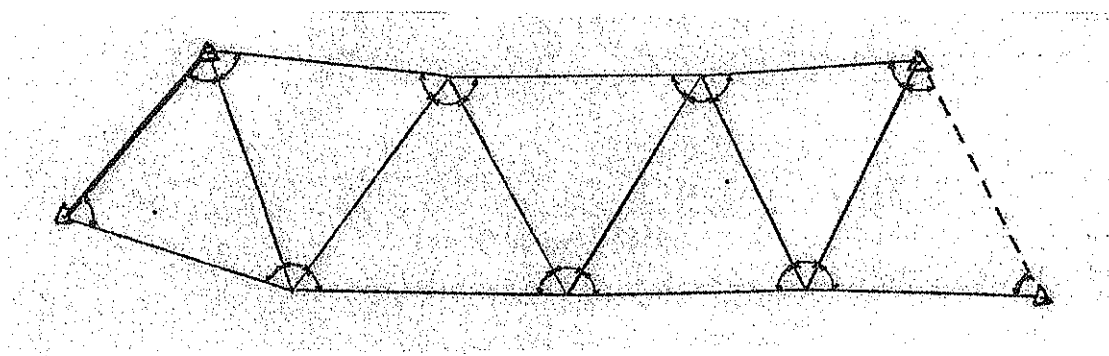


Μορφή σχημάτων Τριγωνισμού

Οι πιο συνηθισμένες μορφές που μπορεί να έχει ένα ανεξάρτητο Τριγωνομετρικό Δίκτυο είναι:

- Αλυσίδα τριγώνων.
- Απλά ή συνεχή τετράπλευρα.
- Κεντρικό δίκτυο.

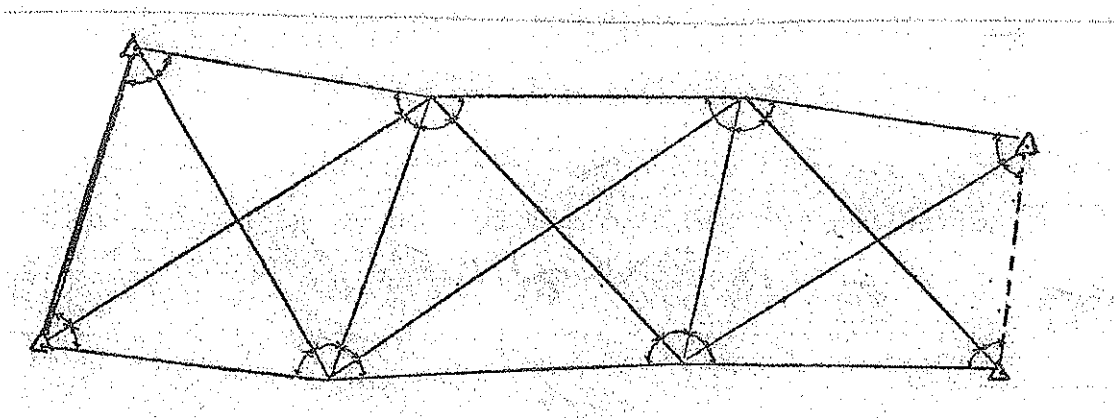
Α) Αλυσίδα Τριγώνων



Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για απλές εργασίες. Χρησιμοποιείται για τριγωνομετρικό έλεγχο ζωνών εδάφους και για κατασκευές στην Οδοποιΐα, Σιδηροδρομική, Υδραυλική και όπου δεν επιτρέπεται τίποτε διαφορετικό από τη μορφολογία και τοπογραφία της περιοχής που γίνεται η εργασία.

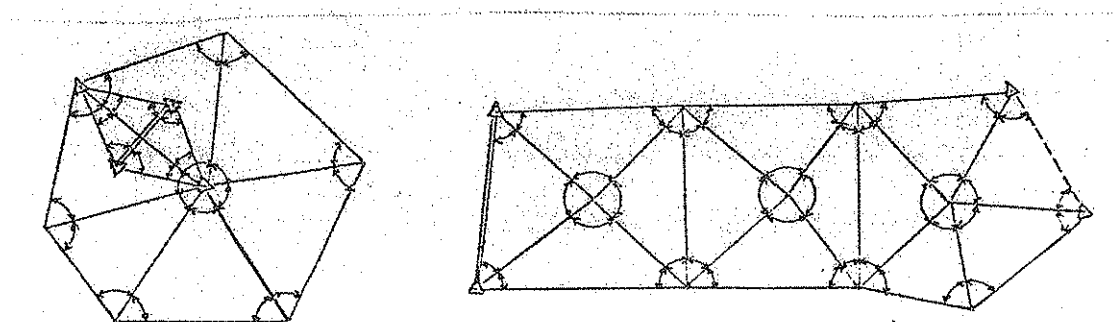
Τα τρίγωνα είναι προτιμότερο να είναι όσο το δυνατόν ισόπλευρα.

Β) Απλά ή συνεχή τετράπλευρα



Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για εργασίες μεγαλύτερης ακρίβειας. Το σχήμα των τετραπλεύρων είναι προτιμότερο να είναι κανονικό και όχι στενόμακρο.

Γ) Κεντρικό δίκτυο



Η μορφή αυτή δικτύου παρουσιάζεται όταν υπάρχει κάποιο κεντρικό σημείο που μπορούν να δημιουργηθούν γύρω του διαδοχικά τρίγωνα. Είναι ένα ενδιάμεσο σχήμα ως προς την ακρίβεια, σχετικά με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις.

Διαδικασία Τριγωνισμού

Όταν πρόκειται να ιδρυθεί ένα Ανεξάρτητο Τριγωνομετρικό Δίκτυο, θα πρέπει να τηρηθεί μια σειρά εργασιών για να γίνει δυνατή η εκτέλεση της εργασίας με τον πιο γρήγορο, οικονομικό και σωστό τρόπο. Τα διάφορα που θα πρέπει να ακολουθηθούν για την ίδρυση του δικτύου είναι:

- Αναγνώριση της περιοχής, για την επιλογή των τριγωνομετρικών σημείων και της βάσης.
- Καθορισμός του τύπου των στόχων και των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και των μεθόδων παρατηρήσεων.
- Κατασκευή των Τριγωνομετρικών σημείων (βάθρων) και επισήμανσή τους.
- Μέτρηση της βάσης.
- Προσδιορισμός του αζιμουθίου ή της γωνίας προσανατολισμού της βάσης και των συντεταγμένων του ενός άκρου.
- Μέτρηση Οριζοντίων και κατακορύφων γωνιών.
- Υπολογισμός Τριγωνισμού.

Αναγνώριση της περιοχής

Αναγνώριση της περιοχής πρέπει να γίνεται προκειμένου να εντοπιστούν οι ιδιαιτερότητες της μορφολογίας της περιοχής, για να επιλεγούν οι θέσεις που θα εγκατασταθούν τα τριγωνομετρικά σημεία.

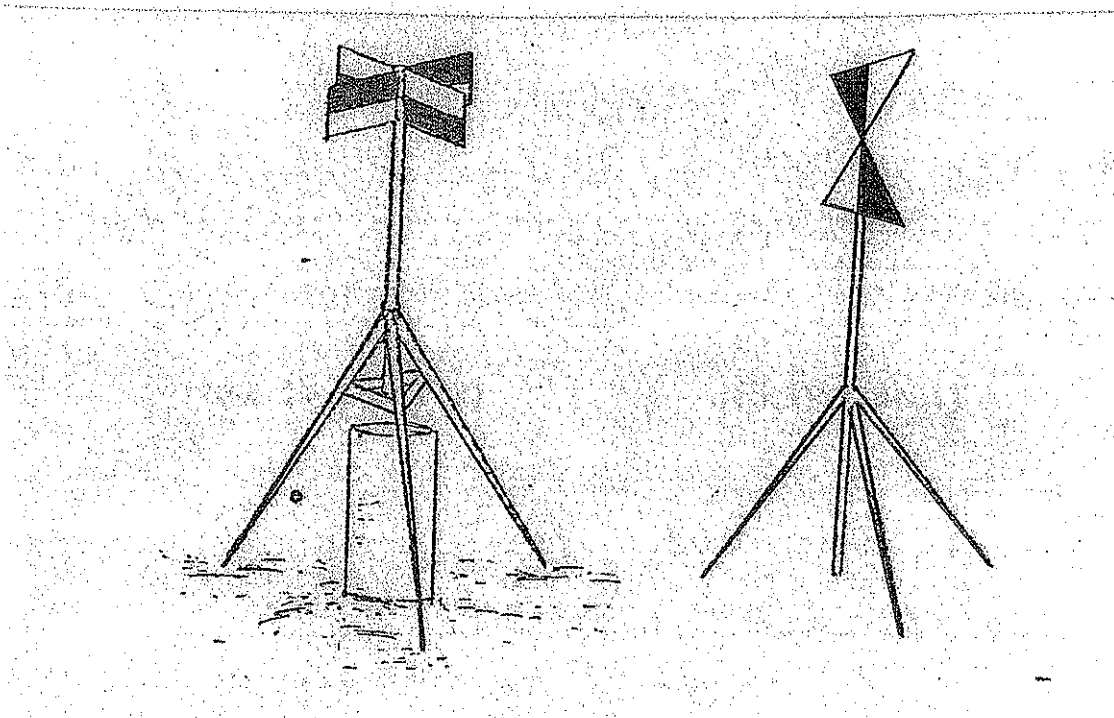
Η επιλογή των θέσεων των τριγωνομετρικών σημείων μπορεί να γίνει και από χάρτες στο γραφείο, αλλά και πάλι θα πρέπει να γίνει έλεγχος με επί τόπου μετάβαση στο ύπαιθρο.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί:

- Στο σχήμα των τριγώνων (όσο το δυνατόν ισόπλευρα χωρίς οξείες γωνίες)
- Στην αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων που θα γίνουν οι σκοπεύσεις.

Καθορισμός τύπου οργάνων – στόχων και μεθόδων

Ο καθορισμός του τύπου των οργάνων και των στόχων που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και των μεθόδων παρατηρήσεων, εξαρτάται από την ακρίβεια που απαιτείται, ανάλογα με την τάξη του τριγωνισμού, τα μήκη και τις ορατότητες.



Τα βάθρα των τριγωνομετρικών σημείων, βασίζονται στις προδιαγραφές κατασκευής των κρατικών υπηρεσιών.

Υπάρχουν τυποποιημένες κατασκευές και διαστάσεις.

Η επισήμανση των τριγωνομετρικών σημείων μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την κατασκευή ή συνήθως μετά την κατασκευή, λίγο πριν αρχίσουν οι παρατηρήσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορων ειδών ξύλινα ή μεταλλικά σήματα (παπάδες).

Η βάση σε ένα τριγωνομετρικό δίκτυο θα πρέπει να είναι μετρημένη, με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια. Στους κλασσικούς τριγωνισμούς και σε ανεξάρτητα δίκτυα η μέτρηση της βάσης γίνεται στην αρχή του δικτύου και στο τέλος για έλεγχο. Αν όμως το δίκτυο είναι μεγάλο θα πρέπει να γίνονται μετρήσεις βάσεων και ενδιάμεσα.

Προσανατολισμός της βάσης και προσδιορισμός των συντεταγμένων του ενός άκρου της

Στα μεγάλα δίκτυα (κρατικά) ο προσανατολισμός γίνεται στην αρχή του δικτύου με αστρονομικές παρατηρήσεις. Οι αστρονομικές παρατηρήσεις επαναλαμβάνονται σε κάθε βάση ελέγχου καθώς και σε διάφορες πλευρές του δικτύου για έλεγχο.

Τα μικρότερα ανεξάρτητα δίκτυα μπορούν να προσανατολιστούν με:

- Αστρονομικές παρατηρήσεις (με παρατηρήσεις στον Πολικό Αστέρα, προσδιορίζεται το Αστρονομικό Αζιμούθιο).
- Πυξίδα (γίνεται προσανατολισμός ως προς τον Μαγνητικό Βορρά για αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μαγνητική απόκλιση).
- Με προσανατολισμό από τις συντεταγμένες (από γύρω γνωστά σημεία).
- Με αυθαίρετο προσανατολισμό (σε περιπτώσεις που δεν είναι αναγκαίος ο προσανατολισμός).

Μέτρηση Γωνιών – Οριζοντίων και Κατακορύφων

Στα τριγωνομετρικά δίκτυα δίνεται πάντοτε μεγαλύτερη προσοχή στις οριζόντιες γωνίες. Οι οριζόντιες γωνίες μαζί με τη βάση χρησιμοποιούνται στην επίλυση του δικτύου και είναι τα βασικά στοιχεία που χρειάζονται για τους υπολογισμούς. Οι κατακόρυφες γωνίες χρησιμοποιούνται βοηθητικά, για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των σημείων του δικτύου που χρειάζονται κυρίως στις αναγωγές και διορθώσεις των μηκών.

Υπολογισμός του τριγωνισμού

Η σειρά των εργασιών για τον υπολογισμό ενός τριγωνομετρικού δικτύου, μετά το τελείωμα εργασιών υπαίθρου είναι:

- Υπολογισμός του μήκους βάσης.
- Υπολογισμός των οριζόντιων γωνιών.
- Διόρθωση (συνόρθωση) των σχημάτων.
- Επίλυση των τριγώνων.
- Υπολογισμός των Αζιμουθίων και γωνιών προσανατολισμού.
- Υπολογισμός των συντεταγμένων και του προσανατολισμού των πλευρών.
- Υπολογισμός των υψομέτρων.

Υπολογισμός του μήκους της βάσης

Ο υπολογισμός του μήκους της βάσης γίνεται από τα στοιχεία υπαίθρου, αφού εφαρμοστούν όλες οι διορθώσεις και οι αναγωγές που ήδη έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

Υπολογισμός των οριζόντιων γωνιών

Όταν οι οριζόντιες γωνίες προέρχονται από διάφορες πηγές και έχουν μετρηθεί με διάφορους τρόπους, τότε θα πρέπει να παίρνεται η πιθανότερη τιμή της γωνίας με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.). Η Μ.Ε.Τ. είναι μια στατιστική μέθοδος που αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος.

Σε κανονικές περιπτώσεις και για τριγωνισμό κάθε τάξης δεν χρειάζεται ιδιαίτερος υπολογισμός, αλλά παίρνεται κατ' ευθείαν ο μέσος όρος των γωνιών.

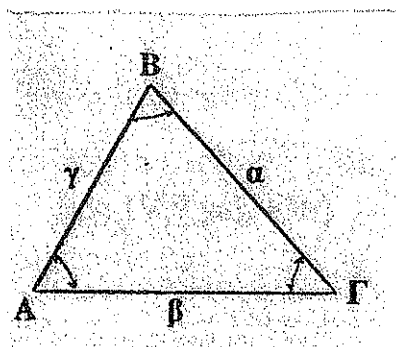
Διόρθωση (συνόρθωση) σχημάτων

Στα δίκτυα 1^{ης} και 2^{ης} τάξης, οι μορφές των σχημάτων είναι μικτές και κάπως πολύπλοκες. Στην περίπτωση αυτή κάθε σημείο μπορεί να προσδιοριστεί από περισσότερα από ένα τρίγωνα.

Τα πολύπλοκα αυτά σχήματα λύνονται και διορθώνονται όλα μαζί με μεθόδους της ΜΕΤ. Για τους υπολογισμούς είναι απαραίτητη η χρήση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.

Στης συνέχεια θα εξεταστεί η διόρθωση του βασικού σχήματος του τριγώνου.

Το τρίγωνο



Αν σε ένα τρίγωνο ΑΒΓ έχουν μετρηθεί οι γωνίες Α,Β,Γ και η πλευρά του «α», πρέπει να υπολογιστούν οι άλλες δύο πλευρές του «β» και «γ», εφαρμόζοντας το νόμο του ημιτόνου:

$$\beta = \frac{\alpha \sin B}{\sin A} \qquad \gamma = \frac{\alpha \sin \Gamma}{\sin A}$$

Πρώτα όμως θα πρέπει να εξεταστεί αν πληρείται η βασική συνθήκη ότι το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου πρέπει να είναι 200° . Επειδή όμως γίνονται σφάλματα στις μετρήσεις η βασική συνθήκη δεν ισχύει και θα είναι:

$$A + B + \Gamma + f = 200^\circ$$

Όπου f το σφάλμα που προέρχεται από τις μετρήσεις.

Έτσι οι γωνίες Α, Β και Γ θα πρέπει να διορθωθούν κατά $f/3$ η κάθε μία για να ισχύει η συνθήκη, δηλαδή:

$$\left(A + \frac{f}{3}\right) + \left(B + \frac{f}{3}\right) + \left(\Gamma + \frac{f}{3}\right) = 200^\circ$$

Οι διορθωμένες τώρα γωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο νόμο του ημιτόνου για να υπολογιστούν οι πλευρές.

Υπολογισμός των Αζιμουθίων ή γωνιών προσανατολισμού

Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα σε ένα ανεξάρτητο δίκτυο για να διορθωθεί και να υπολογιστούν οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σημείων, είναι το αρχικό αζιμούθιο ή η γωνία προσανατολισμού και οι συντεταγμένες ενός σημείου, συνήθως του ενός άκρου της βάσης, μαζί με όλα τα άλλα στοιχεία που έχουν μετρηθεί στο ύπαιθρο. Με βάση αυτά τα στοιχεία υπολογίζονται τα αζιμούθια όλων των τριγωνομετρικών σημείων.

Υπολογισμός των συντεταγμένων και του προσανατολισμού των πλευρών

Στα δίκτυα 1^{ης} και 2^{ης} τάξης οι συντεταγμένες των κορυφών συνήθως δίνονται και υπολογίζονται σε συντεταγμένες φ και λ. Στα μικρότερα δίκτυα οι εργασίες των υπολογισμών γίνονται συνήθως με απλές επίπεδες ορθογώνιες συντεταγμένες.

Οι συντεταγμένες του ενός σημείου της βάσης είναι γνωστές ή παίρνονται αυθαίρετα και οι συντεταγμένες των υπολοίπων σημείων υπολογίζονται από τις επιλύσεις των τριγώνων (ως όδευση). Επίσης είναι γνωστός ή παίρνεται αυθαίρετα ο προσανατολισμός της πρώτης πλευράς και έτσι αφού επιλυθούν τα τρίγωνα μπορούν να προσανατολισθούν όλες οι πλευρές του δικτύου.

Υπολογισμός Υψομέτρων

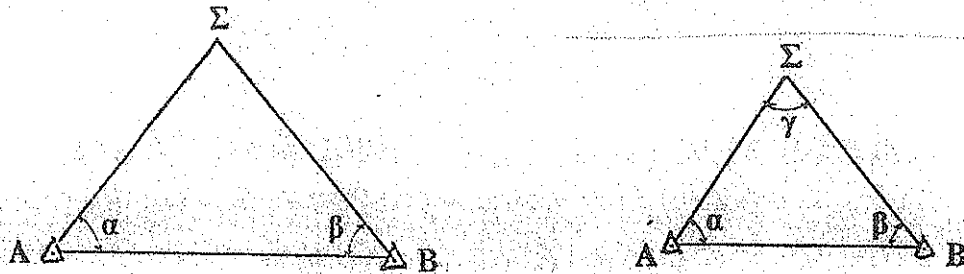
Ο προσδιορισμός των υψομέτρων των σημείων του δικτύου μπορεί να γίνει με γεωμετρική χωροστάθμιση ή με τριγωνομετρική υψομετρία. Η γεωμετρική χωροστάθμιση είναι ακριβέστερη, ενώ η τριγωνομετρική υψομετρία είναι ευκολότερη και ταχύτερη.

Πυκνώσεις Δικτύων

Πολλές φορές υπάρχει ανάγκη προσδιορισμού νέων σημείων, κοντά στα ανεξάρτητα δίκτυα που έχουν ήδη ιδρυθεί και επιλυθεί, δηλαδή υπάρχει ανάγκη πυκνώσης των ανεξάρτητων τριγωνομετρικών δικτύων.

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τις πυκνώσεις των δικτύων είναι:

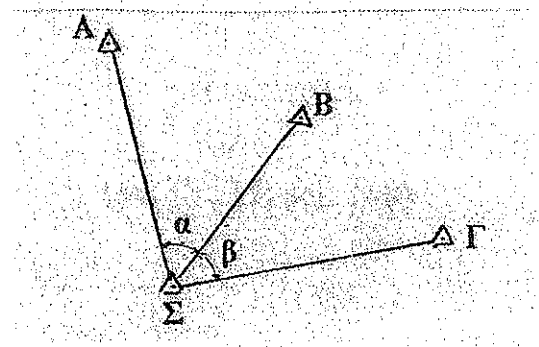
- Η εμπροσθοτομία.
- Η οπισθοτομία
- Η μέθοδος Hansen.



Η εμπροσθοτομία εφαρμόζεται για να προσδιοριστεί η θέση ενός νέου σημείου Σ (δεν είναι απαραίτητο να είναι προσιτό), όταν είναι γνωστή η θέση τουλάχιστον δύο άλλων προσιτών σημείων.

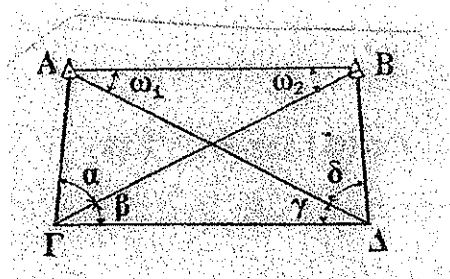
Γνωστά στοιχεία (X_A, Y_A) και (X_B, Y_B) και μετριοούνται οι γωνίες α , β εφόσον τα σημεία A , B . Με αυτά τα στοιχεία μπορούν να υπολογιστούν οι συντεταγμένες του Σ .

Αν το σημείο B δεν είναι προσιτό και φυσικά δεν μπορεί να μετρηθεί η γωνία β , τότε αν το σημείο Σ είναι προσιτό, μετρίεται η γωνία γ και μετά υπολογίζεται η β ως $\beta = 200 - (\alpha + \gamma)$, οπότε το πρόβλημα ανάγεται στην απλή εμπροσθοτομία.



Στην περίπτωση που είναι προσιτό το σημείο Σ , που πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του, και υπάρχουν γύρω άλλα γνωστά σημεία (τουλάχιστον τρία) A, B, Γ είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του αν μετρηθούν οι γωνίες α και β . Υπάρχουν διάφορες λύσεις για το πρόβλημα της οπισθοτομίας.

Πρόβλημα Hansen



Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο τριγωνομετρικά σημεία A και B απρόσιτα και γνωστά και επίσης υπάρχουν δύο σημεία άγνωστα και προσιτά Γ και Δ που πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες τους τότε μετριοούνται οι γωνίες $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, και χρησιμοποιώντας τις βοηθητικές γωνίες ω_1 και ω_2 υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων Γ και Δ .

Τριγωνισμός και Οδεύσεις

Σήμερα με την εξέλιξη των οργάνων (πολύ καλών Θεοδολίχων και οργάνων EDM) και των διαφόρων μέσων γενικά, οι οδεύσεις μπορούν να αντικαταστήσουν τον τριγωνισμό, εκεί που δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Μάλιστα οι οδεύσεις πλεονεκτούν ως προς τον τριγωνισμό επειδή δεν χρειάζεται ιδιαίτερος έλεγχος ως προς το σχήμα και ακόμη δεν χρειάζεται τόσο προσεκτική αναγνώριση και προετοιμασία.

Επίσης, οι κορυφές των οδεύσεων είναι προσιτές και πολύ πιο εύκολα χρησιμοποιούμενες για μελλοντικές εργασίες.

ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ

Υψομετρία είναι η διαδικασία της μέτρησης υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων που βρίσκονται πάνω στη Φ.Γ.Ε. ή του προσδιορισμού των υψομέτρων σημείων της Φ.Γ.Ε. από μια ορισμένη επιφάνεια αναφοράς, που χρησιμοποιείται ως αρχή.

Ως επιφάνεια αναφοράς παίρνεται η μ.σ.θ.

Επομένως, υψόμετρο ενός σημείου που βρίσκεται πάνω στη Φ.Γ.Ε. είναι η απόσταση που απέχει το σημείο από τη μ.σ.θ. Η απόσταση αυτή μετριέται κατά μήκος της κατακορύφου που περνάει από το σημείο και είναι κάθετη στο γεωειδές.

Προσδιορισμός της μ.σ.θ.

Η μεταβολή της μ.σ.θ. οφείλεται στην ύπαρξη των παλιρροιών που βασικά δημιουργούνται από τις επιδράσεις των ουράνιων σωμάτων και κυριότερα της Σελήνης.

Για να προσδιοριστεί η μ.σ.θ., δηλαδή ένα μέσο υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας, χρειάζονται μακροχρόνιες και συνεχείς παρατηρήσεις της μεταβολής της μ.σ.θ. σχετικά με κάποιο σταθερό σημείο, που βρίσκεται στη στεριά. Οι παρατηρήσεις για τον προσδιορισμό της μ.σ.θ. μπορούν να γίνουν με ειδικά όργανα που είναι τα παλιρροιόμετρα και οι παλιρροιογράφοι.

Παλιρροιόμετρο

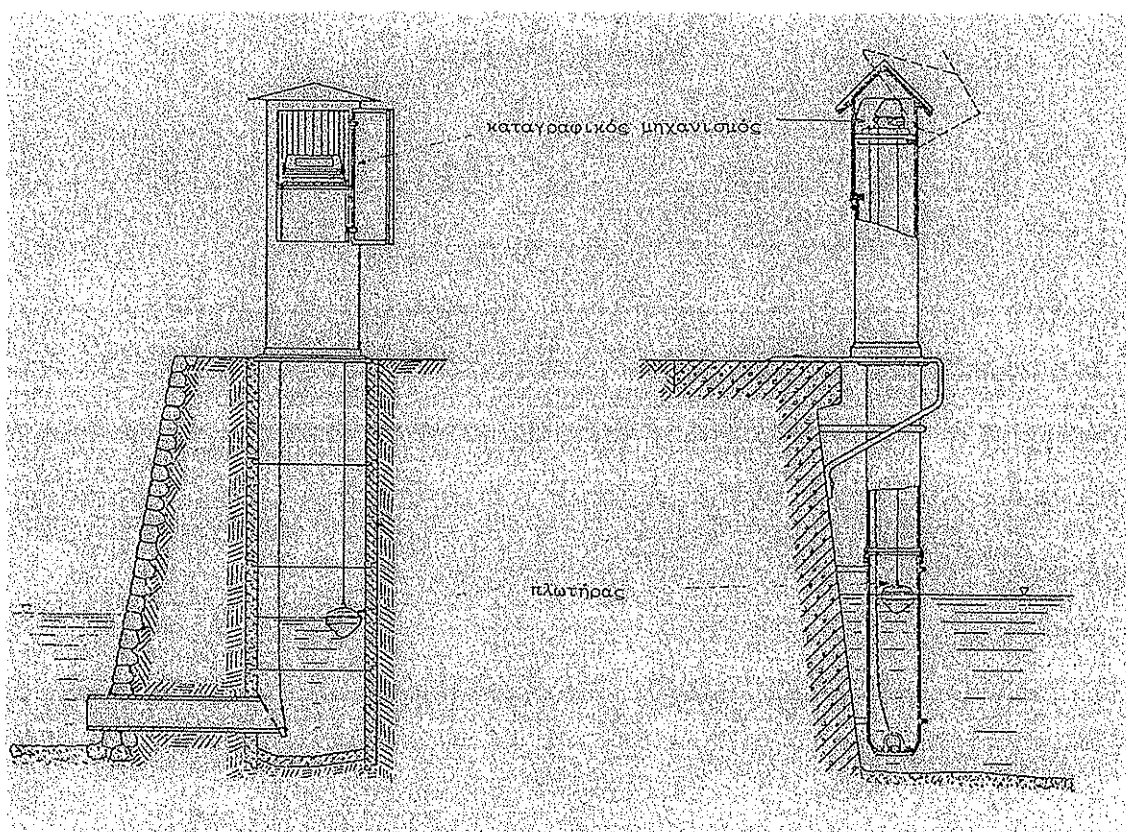
Το παλιρροιόμετρο είναι η απλούστερη μορφή οργάνου για τον προσδιορισμό της μ.σ.θ. Αποτελείται από ένα διηρημένο πήχυ (π.χ. σταδία) που τοποθετείται μέσα στη θάλασσα, ενώ μια συγκεκριμένη υποδιαίρεση του παλιρροιομέτρου συνδέεται υψομετρικά με ένα σταθερό σημείο στη στεριά. Μετά από παρατηρήσεις σε τακτές ώρες σε όλη τη διάρκεια του 24ωρου γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός της μ.σ.θ. και στη συνέχεια το υψόμετρο του σταθερού σημείου.

Σε μερικά 24ωρα μπορεί να προσδιοριστεί η μ.σ.θ. με προσέγγιση μερικών δεκάτων του μέτρου.

Παλιρροιογράφος

Ο παλιρροιογράφος είναι ένα όργανο που αποτελείται από ένα καταγραφικό αυτογραφικό μηχανισμό και ένα πλωτήριο, που τοποθετείται μέσα σε ειδικό σωλήνα στη θάλασσα.

Η κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα, λόγω της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, καταγράφεται με αυτογραφικό μηχανισμό κι έτσι μετά από επεξεργασία και ανάλυση των παλιρροιογραφημάτων, προσδιορίζεται η μ.σ.θ. και δίνεται υψόμετρο σε σταθερό σημείο της στεριάς (υψομετρική αφετηρία) που έχει συνδεθεί υψομετρικά με κάποια ένδειξη του παλιρροιογράφου.



Ο αυτογραφικός μηχανισμός μπορεί να έχει τη δυνατότητα ημερήσιας, εβδομαδιαίας ή και τριμηνιαίας καταγραφής. Οι παρατηρήσεις θα πρέπει να γίνουν τουλάχιστον για ένα χρόνο για να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός της μ.σ.θ. με ακρίβεια μερικών εκατοστών. Περισσότερες παρατηρήσεις επιτρέπουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της μ.σ.θ. και φυσικά στην υψομετρική αφετηρία.

Στην Ελλάδα υπάρχουν παλιρροιογράφοι στον Πειραιά, στη Θεσσαλονίκη, στο Ηράκλειο, στην Καβάλα και στην Καλαμάτα.

Υψομετρικά Δίκτυα

Τα υψομετρικά δίκτυα δημιουργούνται με τη μεταφορά υψομέτρων από την αρχική υψομετρική αφετηρία, σε διάφορα άλλα χαρακτηριστικά σημεία του εδάφους μακριά από τη θάλασσα.

Οι κορυφές των υψομετρικών δικτύων ονομάζονται υψομετρικές αφετηρίες (reperes) και υλοποιούνται με ειδικά σήματα. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιούνται ως ενδιάμεσα σημεία γνωστών υψομέτρων που βοηθούν στη μεταφορά του υψομέτρου από το αρχικό σημείο αναφοράς.

Προσδιορισμός Υψομέτρων -

Μέθοδοι μέτρησης υψομετρικών διαφορών

Το υψόμετρο ενός σημείου μπορεί να προσδιοριστεί, αν υπολογιστεί, με έμμεσο ή άμεσο τρόπο, η υψομετρική διαφορά μεταξύ του σημείου αυτού κα κάποιου άλλου σημείου, που το υψόμετρό του είναι γνωστό.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών είναι:

- Γεωμετρική Χωροστάθμιση.
- Τριγωνομετρική υψομετρία.
- Βαρομετρική υψομετρία.
- Υδροστατική ή Υδραυλική Χωροστάθμιση.
- Άλλες μέθοδοι.

Γεωμετρική Χωροστάθμιση

Είναι άμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται βασικά, ο χωροβάτης με τον χωροσταθμικό πήχυ (σταδία). Είναι η ακριβέστερη μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με ακρίβεια της τάξης μεγέθους $\pm 1\text{cm}$ ή και καλύτερη.

Τριγωνομετρική Υψομετρία

Είναι έμμεση η μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Βασίζεται στη μέτρηση κατακορύφων γωνιών και αποστάσεων μεταξύ σημείων. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται γωνιομετρικά όργανα που μετράνε κατακόρυφες γωνίες, καθώς και όργανα που μετράνε μήκη (συνήθως E.D.M.) Τα μήκη μεταξύ των σημείων που χρειάζεται να προσδιοριστεί η υψομετρική διαφορά, μπορούν επίσης να υπολογιστούν αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες των σημείων.

Η ακρίβεια του προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο αυτή είναι της τάξης των $\pm 10\text{cm}$, που είναι δυνατό να βελτιωθεί αν οι γωνίες και οι αποστάσεις μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια.

Βαρομετρική Υψομετρία

Είναι έμμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Στη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ σημείων. Η διαφορά αυτή μπορεί να μεταφραστεί σε υψομετρική διαφορά.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται Βαρόμετρα – Αλτίμετρα.

Η ακρίβεια του προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο αυτή μπορεί να είναι της τάξης του $\pm 1\text{m}$.

Υδροστατική ή Υδραυλική Χωροστάθμιση

Είναι έμμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων. Στις μετρήσεις χρησιμοποιείται ειδική συσκευή. Η ακρίβεια της μεθόδου μπορεί να είναι της ίδιας τάξης με την ακρίβεια της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης.

Άλλες μέθοδοι

Με την τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων ετών έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι προσδιορισμού υψομέτρων και υψομετρικών διαφορών με χρήση αεροπλάνων, δορυφόρων και συστημάτων Laser.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΗ

Η Γεωμετρική χωροστάθμηση είναι μέθοδος άμεσου προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των σημείων της Φ.Γ.Ε.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα όργανο που μπορεί να οριζοντιώνει εύκολα μια σκοπευτική γραμμή και να σκοπεύει με αυτή οριζόντια, καθώς και δύο τουλάχιστον αριθμημένοι πήχεις τοποθετημένοι κατακόρυφα στα σημεία που χρειάζεται να προσδιοριστεί η υψομετρική τους διαφορά.

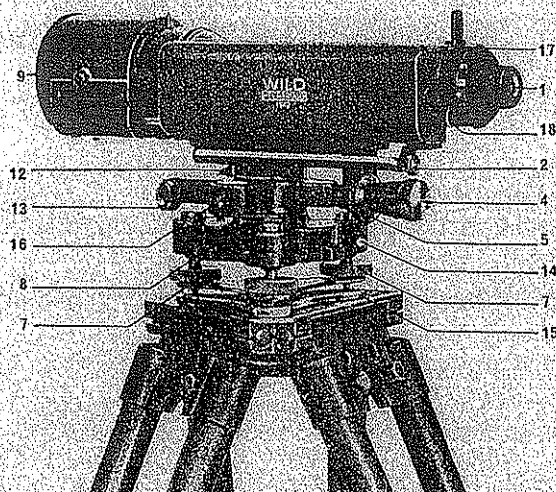
Το όργανο που σκοπεύει οριζόντια, λέγεται χωροβάτης και οι αριθμημένοι πήχεις ονομάζονται σταδίες.

Χωροβάτης

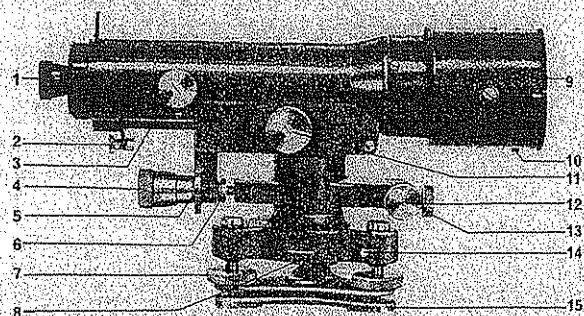
Ο χωροβάτης είναι ένα όργανο που ορίζει ένα σκοπευτικό άξονα που μπορεί να τον οριζοντιώνει. Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γίνεται συνήθως με μια αεροστάθμη ή κάποιο άλλο σύστημα, που συνδέεται με το σκοπευτικό άξονα.

Ανάλογα με τον τρόπο που οριζοντιώνεται ο σκοπευτικός άξονας, οι χωροβάτες διακρίνονται σε:

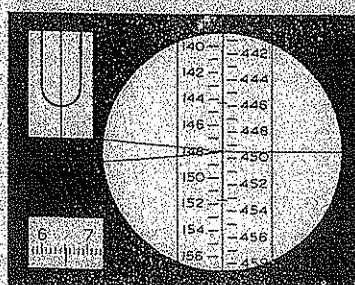
- Απλούς χωροβάτες, όπου η οριζοντίωση γίνεται με σωληνωτή αεροστάθμη.
- Χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης, όπου η οριζοντίωση γίνεται με τη βοήθεια μικρού εκκρεμούς.



1. Προσφθάλιο τηλεσκοπίου
2. Κοχλίας ανακλστήρα για τό-
φωτισμό της αεροστάθμης
3. Κοχλίας έστιασης
4. Κοχλίας κατακόρυξης μικροκίνη-
σης (κοχλίας μικρών κλίσεων)
5. Κλίμακα τυμπάνου
6. Διορθωτικός κοχλίας για τό-
4
7. Κοχλίας οριζοντίωσης
8. Λαβή
9. Προστατευτικό κάλυμμα μικρομέτρου
10. Κοχλίας στερέωσης του καλύμματος
του μικρομέτρου
11. Κοχλίας μικρομέτρου
12. Μικροκίνητος κοχλίας
οριζόντιας κίνησης
13. Ανασταλτικός κοχλίας
οριζόντιας κίνησης
14. Ρυθμιστικός κοχλίας
15. Τριγωνική πλάκα βάσης
16. Σφαιρική αεροστάθμη
17. Προσφθάλιο για τη
σωληνωτή αεροστάθμη
18. Προσφθάλιο για τη
κλίμακα του μικρομέτρου



Χωροβάτης Wild N3



Ανάγνωση σταθίας με Χωροβάτη N3 Wild.

Ανάγνωση σταθίας	148	cm
Ανάγνωση μικρομέτρου	653	
Πλήρης Ανάγνωση	148,653	cm

Κατηγορίες Χωροβατών

A. Χωροβάτες Ακριβείας

Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα με μεγάλη ακρίβεια και η υψηλή ακρίβεια στις αναγνώσεις με σταδία.

Συνήθως ο σκοπευτικός άξονας μπορεί να οριζοντιώνεται με ακρίβεια $\pm 0'',2$. Η ακρίβεια προσδιορισμού μιας υψομετρικής διαφοράς με ένα τέτοιο χωροβάτη μπορεί να είναι της τάξης των 0,5 – 0,2mm/km.

Χρησιμοποιούνται σε χωροσταθμικές οδεύσεις 1^{ης} τάξης, σε έλεγχο παραμορφώσεων φραγμάτων, κτιρίων και κατασκευών, καθώς και για εγκαταστάσεις μηχανημάτων με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας στην τοποθέτηση.

B. Χωροβάτες γενικής χρήσης

Είναι όργανα μέσης ακριβείας, που μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν με καλά αποτελέσματα και για χωροσταθμήσεις ακριβείας και για τρέχουσες κατασκευαστικές εργασίες.

Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γίνεται με ακρίβεια $\pm 0'',5 - 1''$, και η ακρίβεια προσδιορισμού μιας υψομετρικής διαφοράς με ένα τέτοιο χωροβάτη μπορεί να είναι της τάξης των 5mm – 2mm/km.

Γ. Χωροβάτες για κατασκευές

Είναι όργανα για μικρότερες απαιτήσεις ακρίβειας, κατάλληλα για κατασκευαστικές εργασίες καθώς και για απλές τοπογραφικές εργασίες.

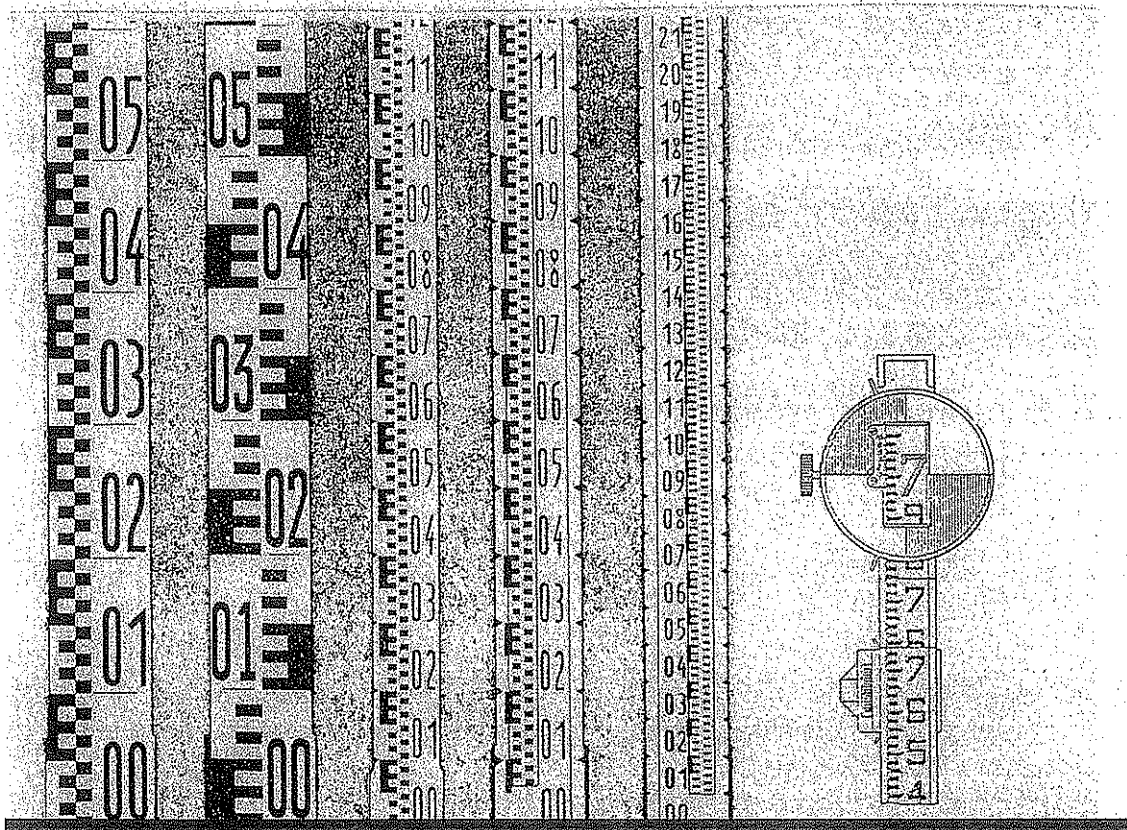
Ο έλεγχος της αεροστάθμης γίνεται από κάτοπτρο και όχι από ειδική διάταξη, και μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών της τάξης του $\pm 1 - 2$ cm.

Σταδίες

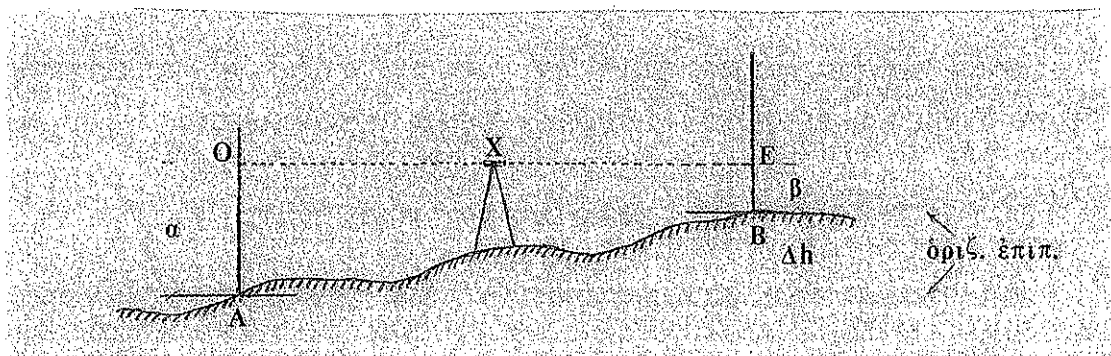
Ανάλογα με το χωροβάτη και τις απαιτήσεις ακριβείας κάθε εργασίας χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών αριθμημένοι πήγχεις, που λέγονται σταδίες.

Οι σταδίες που χρησιμοποιούνται στις απλές χωροσταθμήσεις έχουν μήκος 3 ή 4m (ή και μικρότερο) και είναι διηρημένες κάθε 10mm ή 5mm.

Είναι κατασκευασμένες από ξύλο ή μέταλλο και για την ευκολία μεταφοράς αναδιπλώνονται σε 2 - 4 μέρη ή μπορεί να είναι τηλεσκοπικές. Συνήθως έχουν ενσωματωμένη μια σφαιρική αεροστάθμη.



Λαδκασία Χωροστάθμησης



Στα σημεία A και B (όπου S_{AB} = μερικές δεκάδες μέτρα), που ζητείται να προσδιοριστεί η υψομετρική τους διαφορά, τοποθετούνται κατακόρυφα δύο σταδίες.

Σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο τοποθετείται ένας χωροβάτης που σκοπεύει πρώτα τη σταδία στο σημείο A και έπειτα τη σταδία στο σημείο B.

Η διαφορά των δύο αναγνώσεων στις σταδίες θα δώσει άμεσα την υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων A και B.

Συνηθίζεται η πρώτη σκόπευση να λέγεται Οπισθοσκόπευση (O) (σημείο A) ενώ η δεύτερη Εμπροσθοσκόπευση (E) (σημείο B), όταν η φορά της εργασίας είναι από το A προς το B.

Επομένως:

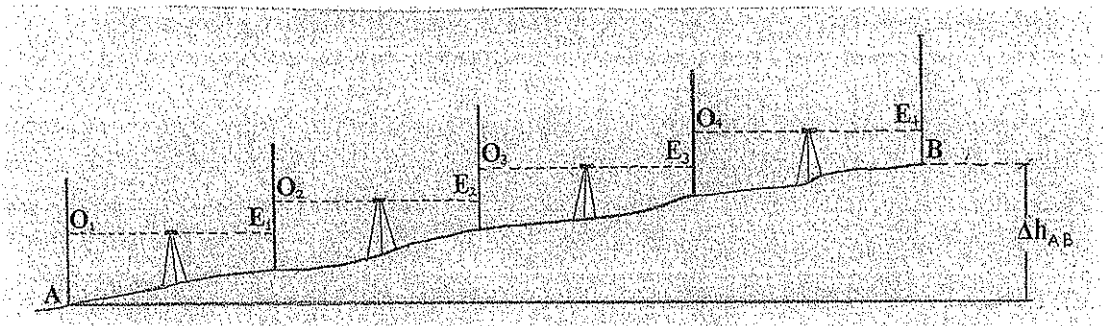
$$\Delta h_{AB} = h_B - h_A = O - E = \alpha - \beta$$

Όπου α, β = οι αναγνώσεις στις σταδίες στα A και B αντίστοιχα.

Όταν τα σημεία A και B απέχουν αρκετά, τότε εφαρμόζεται διαδοχικά η απλή χωροστάθμηση. Η διαδοχική αυτή εφαρμογή της απλής χωροστάθμησης λέγεται χωροσταθμική όδευση.

Η τελική υψομετρική διαφορά είναι:

$$\Delta h_{AB} = \Sigma (O - E) = \Sigma(O) - \Sigma(E)$$

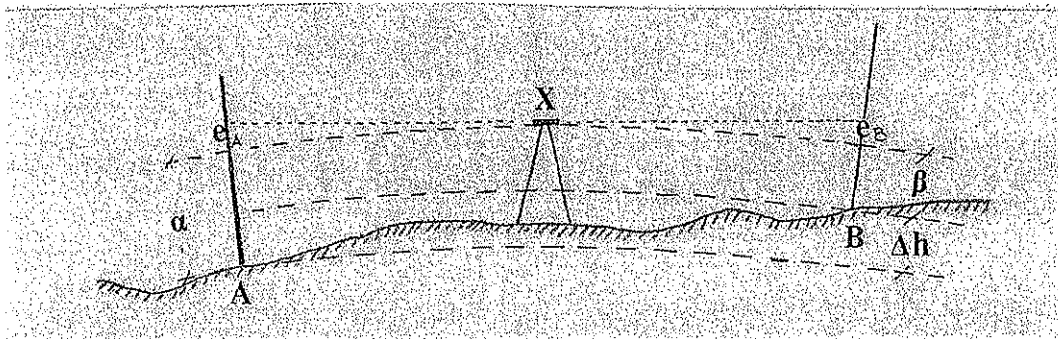


Πριν από τον προσδιορισμό των διαφορών δύο ή περισσότερων σημείων με χωροσταθμική όδευση θα πρέπει να γίνει αναγνώριση της περιοχής και εκλογή των υψομετρικών αφετηριών.

Οι αποστάσεις μεταξύ οργάνου και σταδίας θα πρέπει να μην είναι μεγάλες εφ' όσον το επιτρέπει η τοπογραφία της περιοχής.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι σε μια χωροσταθμική όδευση ο προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων θα πρέπει να γίνει με μετάβαση και επιστροφή (aller – retour) χωρίς να είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται κάθε φορά τα ίδια ενδιάμεσα σημεία (κορυφές της όδευσης).

Σε μικρές αποστάσεις οι χωροσταμικές επιφάνειες που περνούν από τα σημεία Α και Β θεωρούνται οριζόντιες. Σε μεγαλύτερες όμως αποστάσεις οι χωροσταμικές επιφάνειες πρέπει να θεωρούνται καμπύλες, που ακολουθούν περίπου τη μορφή της καμπυλότητας της γης. Τότε για τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων Α και Β, θα πρέπει ο χωροβάτης να τοποθετείται στη μεσοκάθετη της απόστασης ΑΒ, για να εξαλείφεται το σφάλμα που προέρχεται από την καμπυλότητα των χωροσταθμικών επιφανειών.



Πηγές Σφαλμάτων στις χωροσταθμήσεις

Σφάλματα στις χωροσταθμήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Στο κυρίως όργανο.
- Στα βοηθητικά όργανα που χρησιμοποιούνται.
- Στις συνθήκες του περιβάλλοντος.
- Σε απροσεξία του παρατηρητή.

ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΑ

Η Τριγωνομετρική Υψομετρία είναι μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων της Φ.Γ.Ε.

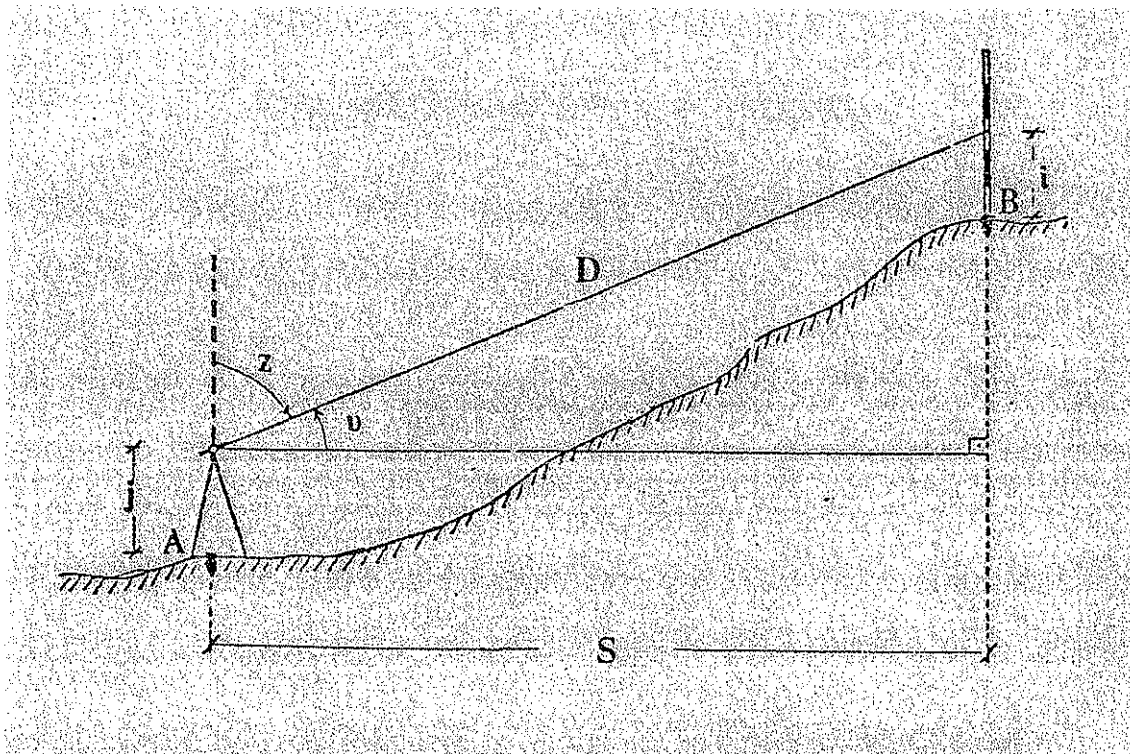
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται γωνιομετρικά όργανα που μετράνε κατακόρυφες γωνίες καθώς και όργανα που μετράνε μήκη. Τα όργανα που μετράνε τις κατακόρυφες γωνίες είναι κυρίως τα θεοδόλιχα, ενώ τα μήκη ανάλογα με την επιδιωκόμενη ακρίβεια και την απόσταση, μπορούν να μετρηθούν με όργανα E.D.M.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν είναι γνωστές οι συντεταγμένες των σημείων που μεταξύ τους γίνεται η Τριγωνομετρική Υψομετρία, τότε μπορεί να υπολογιστεί το μήκος.

Διαδικασία Τριγωνομετρικής Υψομετρίας

Το θεοδόλιχο τοποθετείται στο σημείο A και μετρίεται η κατακόρυφη γωνία (z ή $υ$) προς το στόχο που είναι το σημείο B. Μετρίεται επίσης το κεκλιμένο μήκος D ή υπολογίζεται η οριζόντια απόσταση S.

Απαραίτητο συμπλήρωμα στις εργασίες υπαίθρου είναι η μέτρηση ύψους της σκόπευσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιείται E.D.M. στη μέτρηση του μήκους, πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα οι μετρήσεις υψών οργάνου και σκόπευσης γιατί συνήθως αυτά δεν είναι ίδια με τα ύψη οργάνου του θεοδολίχου και του στόχου που χρησιμοποιείται στις γωνιομετρήσεις.



Η βασική σχέση που δίνει την υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων A και B είναι:

$$\Delta h_{AB} = D \sin u + (j-i) = D \cos z + (j-i)$$

ή

$$\Delta h_{AB} = S \tan u + (j-i) = S \cot z + (j-i)$$

Όπου:

Δh_{AB} = υψομετρική διαφορά μεταξύ A και B

D = το κεκλιμένο μήκος μεταξύ A και B

S = η οριζόντια απόσταση μεταξύ A και B

u = γωνία ύψους

z = ζενίθια απόσταση

j = ύψος οργάνου

i = ύψος σκόπευσης

Πηγές Σφαλμάτων στην Τριγωνομετρική Υψομετρία

Η ακρίβεια προσδιορισμού μιας υψομετρικής διαφοράς με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας είναι συνάρτηση της ακρίβειας του προσδιορισμού της κατακόρυφης γωνίας καθώς και του μήκους μεταξύ δύο σημείων. Όταν όμως η απόσταση μεταξύ δύο σημείων μεγαλώνει, αρχίζουν και επιδρούν εξωτερικές συνθήκες που έχουν σχέση με τη μορφή της γης και την ατμόσφαιρα. Έτσι βασικά μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο κύριες πηγές σφαλμάτων:

A) Σφάλματα που οφείλονται στα όργανα και στον παρατηρητή.

B) Σφάλματα που οφείλονται σε εξωτερικές συνθήκες και είναι η καμπυλότητα της γης και η ατμοσφαιρική διάθλαση.

Επίδραση της καμπυλότητας της γης

Η καμπυλότητα της γης κάνει ένα μακρινό σημείο που βρίσκεται πάνω στη ΦΓΕ να φαίνεται χαμηλότερα από ότι είναι στην πραγματικότητα.

Αποδεικνύεται ότι πρέπει πάντα να γίνεται μια προσθετική διόρθωση στην Τριγωνομετρική Υψομετρία, που είναι συνάρτηση της απόστασης και της ακτίνας καμπυλότητας της γης. Έτσι:

$$\Delta h = S \cdot \tan \nu + \frac{S^2}{2R}$$

Η επίδραση της καμπυλότητας για $R = 6379 \text{ km}$ είναι:

S σε km	0,5	1	2,5	5	10
$\frac{S^2}{2R}$ σε cm	2	7,8	49	196	784

Επίδραση της διάθλασης

Η κυριότερη πηγή σφαλμάτων στον προσδιορισμό υψομέτρων ή υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας είναι η διάθλαση.

Μια ακτίνα φωτός καμπυλώνεται καθώς περνάει μέσα από τις διάφορες στοιβάδες της ατμόσφαιρας που έχουν διαφορετική πίεση και θερμοκρασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ακτίνα αυτή να διαθλάται κατά μήκος μιας καμπύλης που η καμπυλότητά της εξαρτάται από τις μεταβαλλόμενες πυκνότητες της ατμόσφαιρας. Οι μεταβολές της πυκνότητας της ατμόσφαιρας εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και την πίεση κατά μήκος της τροχιάς της καμπυλομένης οπτικής ακτίνας.

Η ακτίνα καμπυλότητας ρ της τροχιάς της οπτικής ακτίνας συνδέεται με την ακτίνα καμπυλότητας της γης με τη σχέση $R=k\rho$ όπου k ο συντελεστής διάθλασης. Ο συντελεστής διάθλασης μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του 24ωρου, ανάλογα με την εποχή και το είδος του περιβάλλοντος, και για την Ελλάδα κυμαίνεται από 0,11 – 0,30, με μέση τιμή 0,16.

Αποδεικνύεται ότι η επίδραση της διάθλασης στις υψομετρικές διαφορές είναι πάντα αρνητική και ίση με $-\frac{kS^2}{2R}$.

Η τελική σχέση για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών με τριγωνομετρική υψομετρία, λαμβάνοντας υπόψη την καμπυλότητα της γης και την διάθλαση είναι:

$$\Delta h = S \cdot \tan u + \frac{S^2}{2R} - \frac{kS^2}{2R} + (j-i)$$

ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

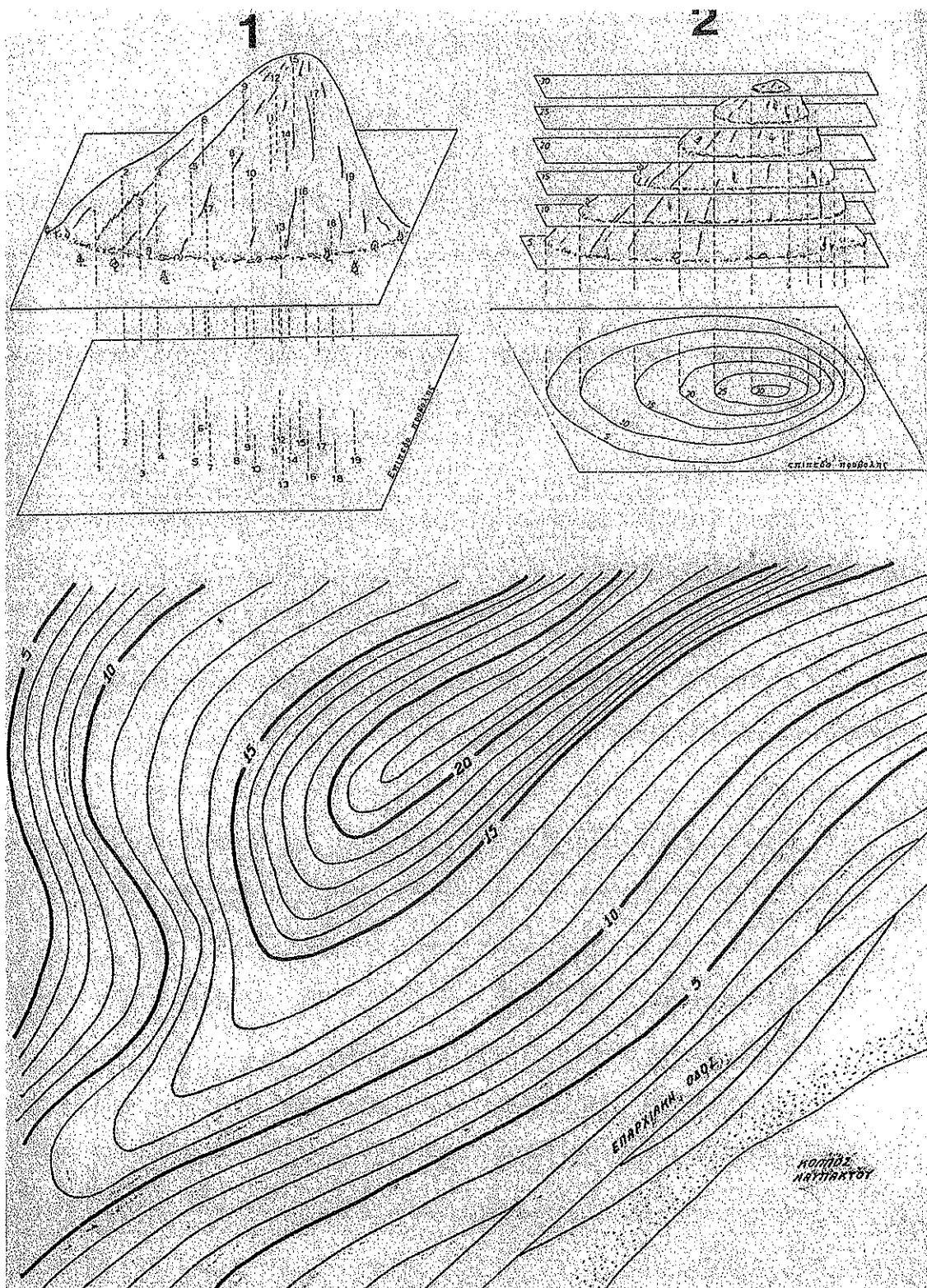
Το ανάγλυφο είναι ένα συνεχές τρισδιάστατο φαινόμενο. Ο καταλληλότερος τρόπος απόδοσης τέτοιων γεωγραφικών φαινομένων γίνεται με την ισαριθμική απεικόνιση, με την οποία σχεδιάζονται στο επίπεδο του χάρτη οι ορθές προβολές των διαδοχικών τομών της επιφάνειας του τοπογραφικού αναγλύφου, με ισοχωροσταθμικές επιφάνειες τις ισοϋψείς καμπύλες.

Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών ονομάζεται ισοδιάσταση.

Οι ισοψείς καμπύλες για την εποπτικότερη αναπαράσταση του αναγλύφου διακρίνονται σε:

- Κυρίες Ισοϋψείς: σχεδιάζονται κάθε 4-5 ισοϋψείς, ανάλογα με την ισοδιάσταση και με μεγάλο πάχος γραμμής. Σε αυτές τις ισοϋψείς αναγράφονται οι τιμές των υψομέτρων.
- Ενδιάμεσες Ισοϋψείς: σχεδιάζονται μεταξύ των κύριων ισοϋψών με κανονικό πάχος γραμμής.
- Βοηθητικές Ισοϋψείς: σχεδιάζονται στο $\frac{1}{2}$ ή $\frac{1}{4}$ της ισοδιάστασης με διακεκομμένη γραμμή, σε περίπτωση που το ανάγλυφο είναι ομαλό, για την καλύτερη αναπαράστασή του.

Οι πυκνές καμπύλες συμβολίζουν μια περιοχή με μεγάλη κλίση, ενώ οι αραιές καμπύλες μια περιοχή με μικρή κλίση.

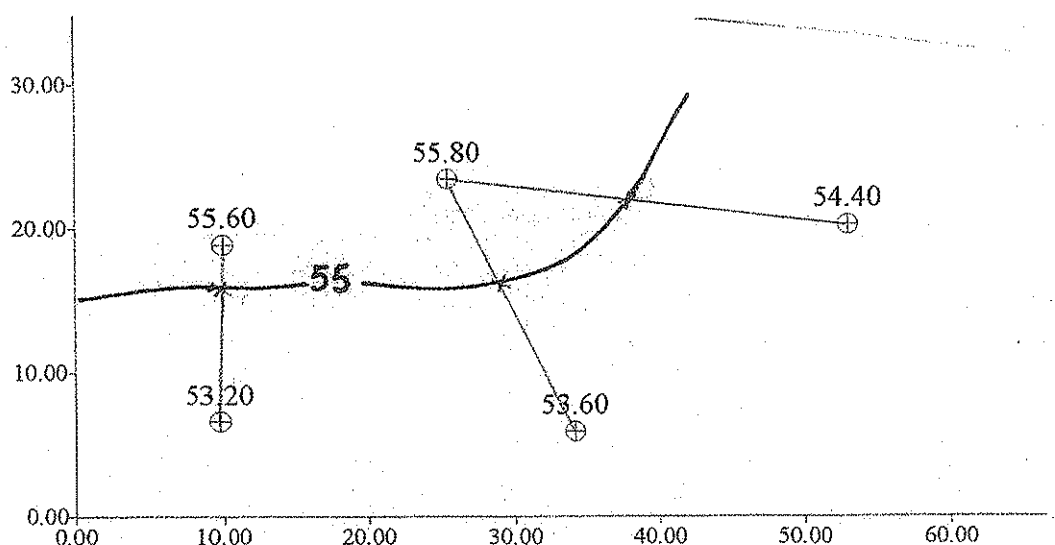


Σχεδίαση Ισοϋψών Καμπυλών

Όταν γνωρίζουμε τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα (από μετρήσεις) διαφόρων σημείων στο έδαφος, τότε για τη σχεδίαση των ισοϋψών καμπυλών ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Σχεδιάζονται (ραπορτάρονται) τα σημεία σε κάποια κλίμακα, ανάλογα με τις ανάγκες του χάρτη, και αναγράφεται πάνω σε αυτά το υψόμετρό τους.
- Το κάθε σημείο ενώνεται με τα διπλανά του με μια πρόχειρη γραμμή.
- Στις γραμμές αυτές προσδιορίζονται τα σημεία με ακέραιο υψόμετρο ανάλογα με την ισοδιάσταση που έχει επιλεγεί. Η διαδικασία αυτή λέγεται γραμμική παρεμβολή σε γνωστά σημεία.
- Ενώνονται τα σημεία με το ίδιο υψόμετρο με ελεύθερη καμπύλη γραμμή.

Εννοείται ότι όσο περισσότερα σημεία υπάρχουν τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια προσδιορισμού των ισοϋψών καμπυλών.



Υψομετρική Αποτύπωση Αξόνων (Τομές)

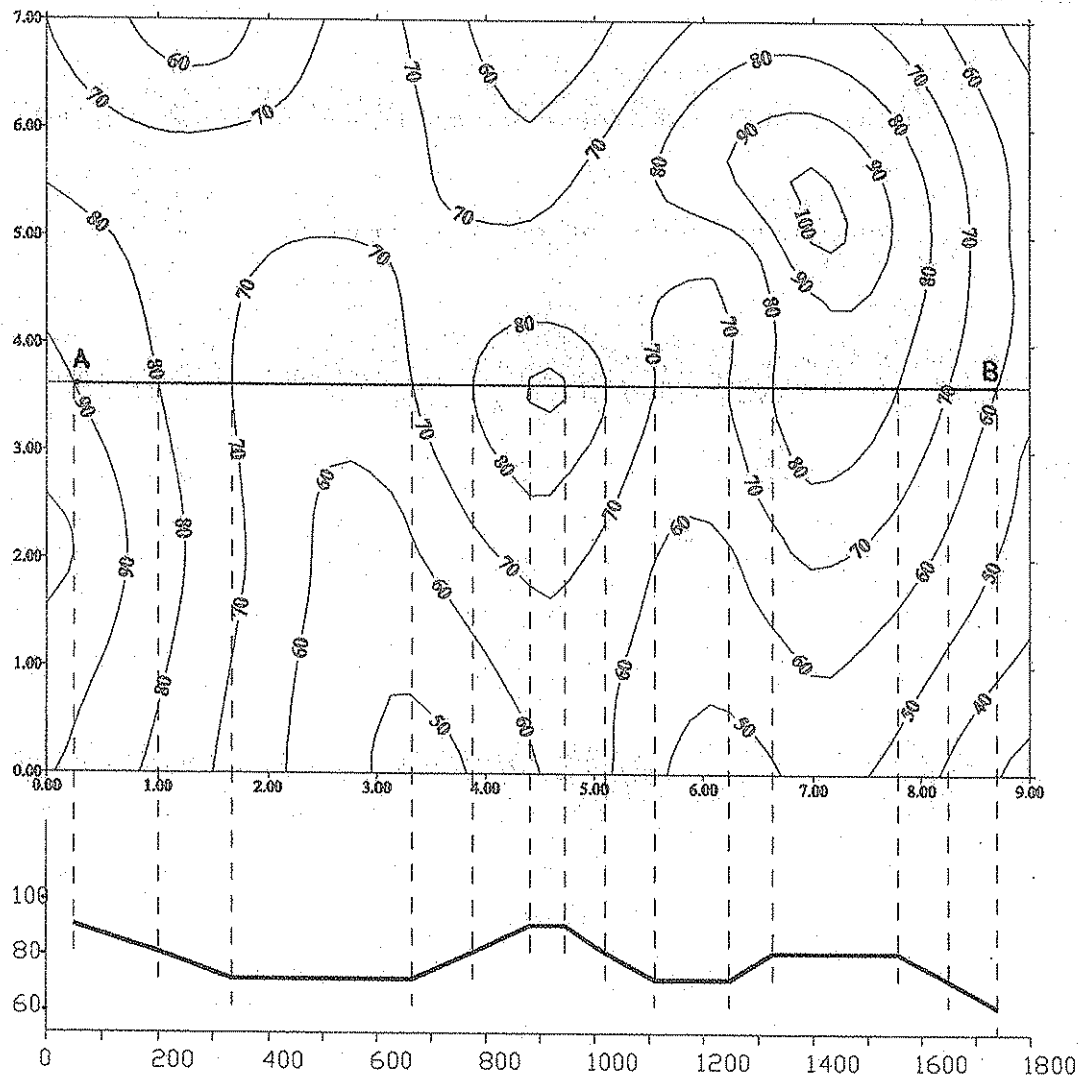
Στα περισσότερα τεχνικά έργα (δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, γραμμές μεταφοράς ρεύματος κ.ά.), αλλά και σε άλλες περιπτώσεις (έλεγχος ορατότητας, μελέτη γεωλογικών στρωμάτων κ.ά.), ενδιαφέρει ο υψομετρικός καθορισμός ενός άξονα.

Μηκοτομή είναι ένα διάγραμμα που παριστάνει την τομή του εδάφους με μια κατακόρυφη επιφάνεια που περνά από καθορισμένο άξονα.

Η μηκοτομή συντάσσεται με άξονες ορθογώνιους, όπου ο άξονας των X παριστάνει τα μήκη και ο άξονας των Y τα υψόμετρα και συντάσσεται υπό κλίμακα. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται διαφορετική κλίμακα στα μήκη από ότι στα υψόμετρα. Συνήθως η κλίμακα των υψομέτρων (άξονας των Y) είναι δεκαπλάσια αυτής των μηκών.

Διατομή ή κατά πλάτος τομή είναι επίσης ένα διάγραμμα που παριστάνει την τομή του εδάφους με ένα κατακόρυφο επίπεδο σε καθορισμένο άξονα και σε πλάτος τέτοιο ώστε να καλύπτεται η ζώνη που έχει οριστεί δεξιά ή αριστερά του άξονα.

Παράδειγμα Μηκοτομής



ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕΓΑΛΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η διαδικασία εργασιών αποτύπωσης μιας μεγάλης περιοχής, η οποία υπάγεται σε ορισμένους κανονισμούς και νόμους που ρυθμίζουν τον τρόπο εκτέλεσης των εργασιών, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Ανάθεση.
- Αναγνώριση της περιοχής.
- Εγκατάσταση δικτύων.
- Λήψη στοιχείων εδάφους.
- Παράδοση εργασίας.

Ανάθεση

Ο Φορέας που αναθέτει και επιβλέπει το έργο (Δημόσιος Τομέας, Οργανισμοί Δημοσίου, Ο.Τ.Α., Στρατιωτικές Υπηρεσίες κ.λ.π.) πρέπει να προσδιορίσει το αντικείμενο με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και να παράσχει στον ανάδοχο όλα τα χρήσιμα σε αυτόν στοιχεία που θα τον διευκολύνουν στην εργασία του (όρια περιοχής, χάρτες, διαγράμματα κ.λ.π.).

Αναγνώριση της περιοχής

Η εργασία της αναγνώρισης είναι μια πολύ σημαντική εργασία και απαιτεί μεγάλη εμπειρία σε παρόμοιες εργασίες.

Ο μελετητής θα πρέπει έχοντας μαζί του τους χάρτες και κάποια απλά όργανα (κυάλια, πυξίδα κ.λ.π.) να περιοδεύσει την περιοχή σχολαστικά ώστε να μπορέσει να αποκτήσει μια όσο το δυνατόν πιο πλήρη εικόνα των δυσκολιών της μελέτης.

Οι χάρτες που χρησιμοποιούνται κυρίως στη φάση της αναγνώρισης είναι κλίμακας 1:50000 ή και μεγαλύτερης και μπορούν να προμηθευτούν από τη ΓΥΣ ή από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος (ΟΚΧΕ). Πάνω στους χάρτες σημειώνονται τα τριγωνομετρικά σημεία (π.χ. Δ530) και οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών που έχει εγκαταστήσει η ΓΥΣ (π.χ. □ 124589).

Η προετοιμασία του μελετητή από τεχνική άποψη, αφορά κύρια την επιλογή των τοποθεσιών όπου θα τοποθετηθούν τα τριγωνομετρικά σημεία και οι υψομετρικές αφετηρίες και στην επιλογή των διαδρομών που θα ακολουθήσουν οι οδεύσεις, σε συνδυασμό πάντα με το υπάρχον Τριγωνομετρικό και Χωροσταθμικό δίκτυο της περιοχής.

Επίσης είναι δυνατόν να επιλεγούν οι μέθοδοι και τα όργανα που θα χρειαστούν για την αντιμετώπιση δυσκολιών, όπως έλλειψη ορατότητας, απρόσιτα τριγωνομετρικά σημεία κ.λ.π.).

Εγκατάσταση Δικτύων

Τρία είναι τα βασικά δίκτυα που ιδρύονται στην περιοχή των εργασιών και αποτελούν το σκελετό πάνω στον οποίο βασίζεται η αποτύπωση της περιοχής:

- Το Τριγωνομετρικό Δίκτυο.
- Το Πολυγωνομετρικό Δίκτυο.
- Το υψομετρικό Δίκτυο.

Τριγωνομετρικό Δίκτυο

Συνίσταται στην ίδρυση τριγωνομετρικών σημείων, στα οποία θα δοθούν συντεταγμένες από το υπάρχον κρατικό δίκτυο. Τα σημεία αυτά επιλέγονται σε περίοπτες θέσεις ώστε να δεσπόζουν στην περιοχή και να έχουν ορατότητες μεταξύ τους και προς το οδικό δίκτυο.

Γίνεται σήμανση και εξασφάλιση των τριγωνομετρικών σημείων και μετά πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των στοιχείων του δικτύου (γωνιών και πλευρών).

Ακολουθούν οι υπολογισμοί (επίλυση δικτύου) και δίνονται συντεταγμένες X , Y σε κάθε σημείο. Μπορεί επίσης αντί να μετρηθεί και να επιλυθεί το δίκτυο, να προσδιοριστούν τα σημεία που τοποθετήθηκαν με τομές, δηλαδή εμπροσθοτομίες ή οπισθοτομίες.

Πολυγωνομετρικό Δίκτυο

Συνίσταται στην εγκατάσταση σημείων που θα επιλεγούν οι κορυφές των οδεύσεων. Τα σημεία αυτά επιλέγονται έτσι ώστε από αυτά να είναι δυνατή η αποτύπωση της περιοχής και να δημιουργούνται οδεύσεις που αρχή και τέλος να έχουν σημεία με γνωστές συντεταγμένες (τριγωνομετρικά σημεία ή άλλες κορυφές οδεύσεων).

Οι οδεύσεις που η αρχή και το τέλος τους είναι τριγωνομετρικά σημεία καλούνται κύριες οδεύσεις και οι υπόλοιπες δευτερεύουσες οδεύσεις.

Τα πολυγωνομετρικά σημεία σημαίνονται και εξασφαλίζονται. Ακολουθεί η μέτρηση των στοιχείων των οδεύσεων και η επίλυσή τους.

Υψομετρικό Δίκτυο

Το υψομετρικό δίκτυο αποτελούν σημεία που ονομάζονται Υψομετρικές Αφετηρίες (Repers).

Μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών γίνονται γεωμετρικές χωροσταθμήσεις για αν προσδιοριστούν οι υψομετρικές τους διαφορές και συνδέονται με 1 ή 2 γνωστού υψομέτρου που δίνεται από τη ΓΥΣ. Οι γεωμετρικές χωροσταθμήσεις γίνονται με μετάβαση και επιστροφή.

Το υψομετρικό δίκτυο συννορθώνεται με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων και δίνονται έτσι τα τελικά υψόμετρα στις νεοϊδρυθείσες υψομετρικές αφετηρίες.

Λήψη στοιχείων εδάφους (Ταχυμετρία)

Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για να προσδιοριστούν όλα εκείνα τα στοιχεία που θα είναι αρκετά ώστε:

- Να αποδοθεί η μορφή ιδιοκτησιών, κτισμάτων, δρόμων, πλατειών κ.λ.π.
- Να αποδοθεί η μορφολογία του εδάφους, οι κλίσεις των δρόμων κ.λ.π.

Η πρώτη περίπτωση αφορά την οριζοντιογραφική μορφή του διαγράμματος και επιτυγχάνεται με τη λήψη των πολικών συντεταγμένων των σημείων από κάθε κορυφή του πολυγωνομετρικού δικτύου (στάση οργάνου) ως προς τις γειτονικές της.

Η δεύτερη αποτύπωση αφορά την υψομετρική απεικόνιση των σημείων και επιτυγχάνεται αν μαζί με τα προηγούμενα στοιχεία ληφθούν και οι κατακόρυφες γωνίες προς το στόχο καθώς και τα ύψη οργάνου και σκόπευσης.

Παράδοση Εργασίας

Μετά το τέλος των εργασιών υπαίθρου, ακολουθούν οι εργασίες γραφείου. Ορισμένες από αυτές θα έχουν γίνει υποχρεωτικά παράλληλα με τις εργασίες υπαίθρου. Αυτές είναι:

- Επίλυση τριγωνισμού.
- Επίλυση και έλεγχος οδεύσεων.
- Επίλυση Χωροσταθμικού Δικτύου.
- Υπολογισμός υψομέτρων και κορυφών των οδεύσεων.
- Υπολογισμός συντεταγμένων ταχυμετρικών σημείων.

Ακολουθεί σχεδίαση της περιοχής σε σχέδια που έχουν υποχρεωτικά κάναβο με τετράγωνα πλευράς κυρίως 10cm x 10cm στην επιθυμητή κλίμακα.

Η κλίμακα 1:200 χρησιμοποιείται στην περίπτωση διάνοιξης δρόμων ή άλλων τεχνικών έργων μέσα σε αστική περιοχή για να γίνουν οι πράξεις αναλογισμού και οι ανάλογες απαλλοτριώσεις. Οι κλίμακες 1:500 και 1:1000 χρησιμοποιούνται κύρια για Τοπογραφικά Διαγράμματα περιοχών που θα ενταχθούν στο Σχέδιο Πόλης ή για οριστική μελέτη μεγάλων τεχνικών έργων. Μικρότερες κλίμακες (1:2000, 1:5000) χρησιμοποιούνται για προμελέτες έργων οδοποιΐας, αρδευτικών έργων κ.λ.π.

Επάνω στο σχέδιο μπαίνουν τα ταχυμετρικά σημεία που είναι απαραίτητα για να αποδοθεί η μορφή της περιοχής οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Η πυκνότητά τους εξαρτάται από την κλίμακα και τη μορφή του εδάφους.

Τα κτίρια, οι μάντρες, τα όρια ιδιοκτησιών, οι λίμνες, οι ποταμοί, τα ρυάκια, οι αγωγοί, οι γραμμές ενέργειας κ.λ.π. παρουσιάζονται με ειδικούς συμβολισμούς.

Οι υψομετρικές καμπύλες σχεδιάζονται εκεί που δεν υπάρχουν τεχνικά έργα ή κτίσματα και η ισοδιάστασή τους εξαρτάται από την κλίμακα. Σε οριζόντια εδάφη δίνονται μόνο τα σημεία με τα υψόμετρά τους.

Ακολουθεί ο έλεγχος των σχεδίων, οι διορθώσεις και η τελική σχεδίαση σε αδιάστατα διαφανή χαρτιά σε διαστάσεις που καθορίζονται από τον Φορέα ανάθεσης της μελέτης.

Στο τέλος της εργασίας παραδίνονται:

- Όλα τα έντυπα με τις μετρήσεις υπαίθρου για όλες τις εργασίες.
- Όλα τα έντυπα με τους υπολογισμούς για κάθε στάδιο της μελέτης.
- Τα αυτοσχέδια υπαίθρου.
- Τα αυτοσχέδια των εξασφαλίσεων τριγωνομετρικών και πολυγωνομετρικών σημείων.
- Σχέδια σε αδιάστατη φωτοτυπία.
- Διάγραμμα του τριγωνομετρικού δικτύου σε κατάλληλη κλίμακα.
- Διάγραμμα του πολυγωνομετρικού δικτύου σε κατάλληλη κλίμακα.
- Όλες οι πινακίδες που προέκυψαν από την αποτύπωση.
- Απλές φωτοτυπίες των παραπάνω σχεδίων.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Οι υπολογισμοί στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων είναι πολύ εύκολοι, τα αποτελέσματα εύκολο να χρησιμοποιηθούν και οι μετρήσεις οριζόντιων αποστάσεων και γωνιών, κατακόρυφων γωνιών και υψομετρικών διαφορών μπορούν εύκολα να γίνουν με απλά όργανα χρησιμοποιώντας τη λιναίη και την αεροστάθμη.

Αλλά ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μια μικρή έκταση της τάξης μερικών χιλιομέτρων – δεδομένου ότι η διεύθυνση της κατακορύφου είναι παράλληλη με τον εαυτό της και η επίδραση της σύγκλισης αυτής μπορεί να αγνοηθεί μόνο για μικρή απόσταση.

Αν θέλουμε να καλύψουμε μια μεγαλύτερη έκταση ή και ολόκληρη τη γη με ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, τότε θα πρέπει να ξέρουμε τον προσανατολισμό της κατακορύφου σε κάθε σημείο της γης, πράγμα όχι εύκολο.

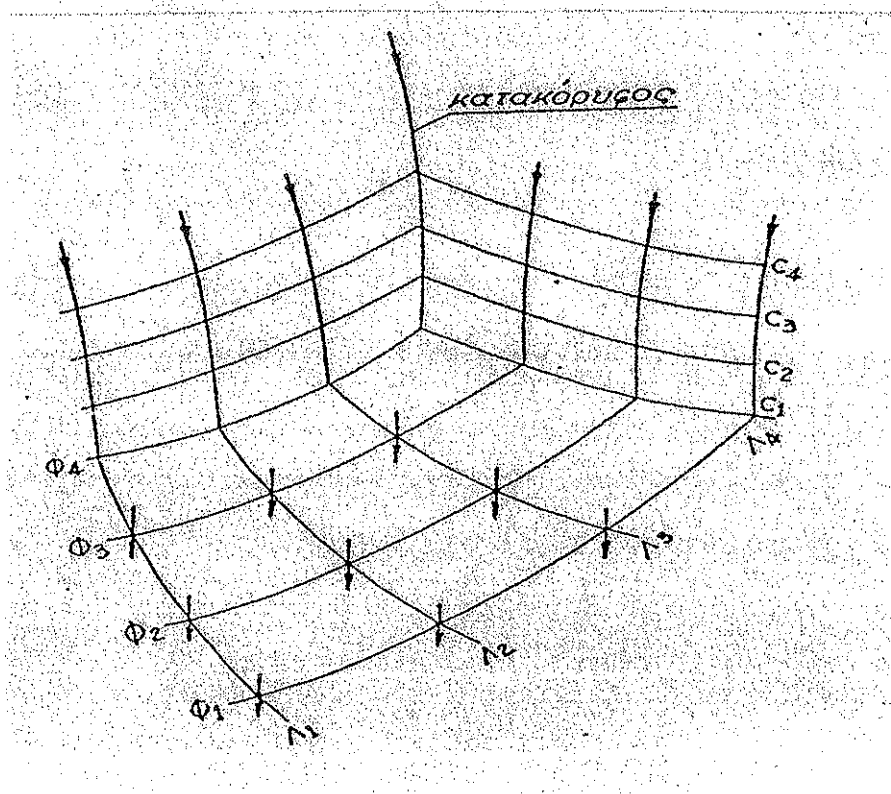
Υπάρχουν τρεις ομάδες συστημάτων αναφοράς που χρησιμοποιούνται στη Γεωδαισία και στις γεωδαιτικές μελέτες:

- Το φυσικό σύστημα (ή αστρονομικό σύστημα).
- Το γήινο (ή γεωγραφικό σύστημα).
- Τα γεωδαιτικά συστήματα.

Φυσικό Σύστημα

Στο φυσικό σύστημα η θέση ενός σημείου ορίζεται από τον προσανατολισμό της πραγματικής κατακορύφου, και το γεωδυναμικό αριθμό που αντιστοιχεί στο σημείο, ο οποίος εξαρτάται από την ένταση της βαρύτητας. Το σύστημα αυτό ονομάζεται αστρονομικό σύστημα και η θέση του σημείου σε αυτό μπορεί να οριστεί με απευθείας μετρήσεις που γίνονται στο σημείο.

Ο προσανατολισμός της κατακορύφου εκφράζεται με το αστρονομικό πλάτος (Φ) και το αστρονομικό μήκος (Λ) που προσδιορίζονται με αστρονομικές παρατηρήσεις. Το αστρονομικό μήκος και πλάτος στο αστρονομικό σύστημα ορίζονται σε σχέση με τον αληθή άξονα περιστροφής της γης, ο οποίος πρέπει να σημειωθεί ότι δεν παραμένει σταθερός στο χώρο, αλλά κινείται.



Γήινο (ή Γεωγραφικό) Σύστημα

Ένα Γήινο (ή Γεωγραφικό) Σύστημα ορίζεται με βάση μηχανικές ιδιότητες της γης: το κέντρο μάζας της και τον μέσο άξονα περιστροφής της (αντί για την κατακόρυφο) που ελάχιστα διαφέρει από τον άξονα μέγιστης ροπής αδράνειας.

Ως συμβατικός μέσος άξονας περιστροφής έχει γίνει δεκτός ο μέσος άξονας της περιόδου 1900 – 1905 που είναι γνωστός ως CIO (Conventional International Origin).

Επειδή όμως η θέση του κέντρου μάζας, σε σχέση με τον φλοιό της γης, δεν είναι γνωστή (εκτός αν χρησιμοποιήσουμε τις τροχιές των τεχνητών δορυφόρων), ένα τέτοιο σύστημα είναι καταρχήν ανεφάρμοστο και έχει κυρίως θεωρητική αξία.

Σήμερα με την ανάλυση των τροχιών των τεχνητών δορυφόρων που αναφέρονται στο κέντρο μάζας της γης, μπορούμε να υπολογίσουμε τις γήινες συντεταγμένες με ακρίβεια καλύτερη του μέτρου. Επειδή όμως στις λύσεις υπάρχουν ακόμη συστηματικά σφάλματα, οι συντεταγμένες διαφέρουν από λύση σε λύση. Για το λόγο αυτό μπορούμε να μιλάμε για γήινα συστήματα ανάλογα με τη συγκεκριμένη λύση αντί για το γήινο σύστημα που είναι το σωστό.

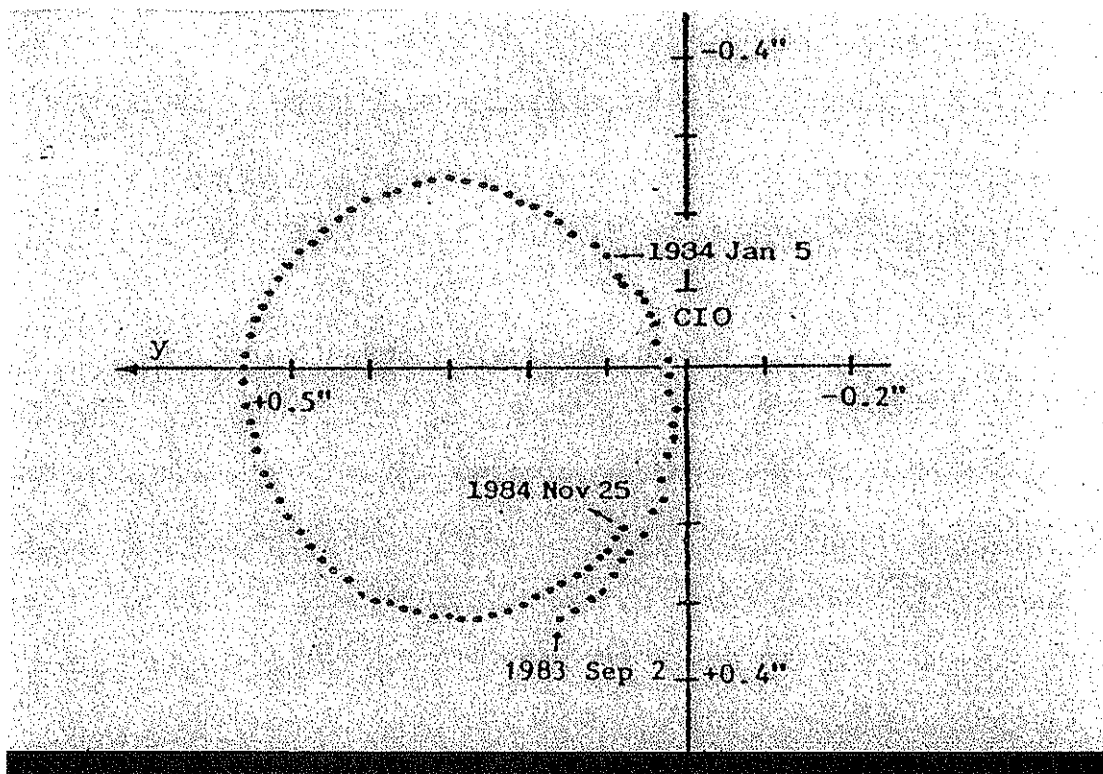
Ο ορισμός της θέσης μπορεί να γίνει είτε σε σύστημα ελλειψοειδών συντεταγμένων ως προς ένα ελλειψοειδές αναφοράς είτε σε σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων. Οι ελλειψοειδής γήινες συντεταγμένες θα πλησιάζουν τόσο περισσότερο τις αστρονομικές συντεταγμένες όσο καλύτερα προσαρμόζεται το ελλειψοειδές σύστημα αναφοράς με το πραγματικό γεωειδές.

Η κίνηση του άξονα περιστροφής της γης

Ο άξονας περιστροφής της γης δεν παραμένει σταθερός στο χώρο αλλά κινείται, γεγονός που οφείλεται στις περιοδικές μεταβολές της έλξεως του ήλιου και της σελήνης στη γη και στην έλξη των πλανητών.

Ο άξονας όμως περιστροφής της γης δεν παραμένει σταθερός ούτε σε σχέση με τον φλοιό της, επειδή η γη δεν είναι συμπαγής και υπάρχουν εποχιακές μεταβολές της κατανομής των μαζών. Έτσι ο άξονας περιστροφής της γης δεν ταυτίζεται με τον άξονα μέγιστης ροπής αδράνειας. Η κίνηση αυτή είναι γνωστή ως κίνηση του πόλου, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και δεν υπάρχει μέχρι σήμερα πλήρης εξήγηση του φαινομένου.

Η κίνηση του πόλου δεν μπορεί να προβλεφθεί από τη θεωρία και δίνεται ως αποτέλεσμα αστρονομικών παρατηρήσεων από αστεροσκοπεία και παρατηρήσεων δορυφόρων.



Γεωδαιτικά Συστήματα

Δεδομένου ότι ένα παγκόσμιο γήινο σύστημα αναφοράς δεν είναι εύκολο να υλοποιηθεί στην πράξη, το σύστημα αυτό αντικαθίσταται από τα γεωδαιτικά συστήματα που ορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως το γήινο σύστημα, εκτός από το ότι η αρχή του συστήματος δεν ταυτίζεται με το άγνωστο κέντρο μάζας της γης.

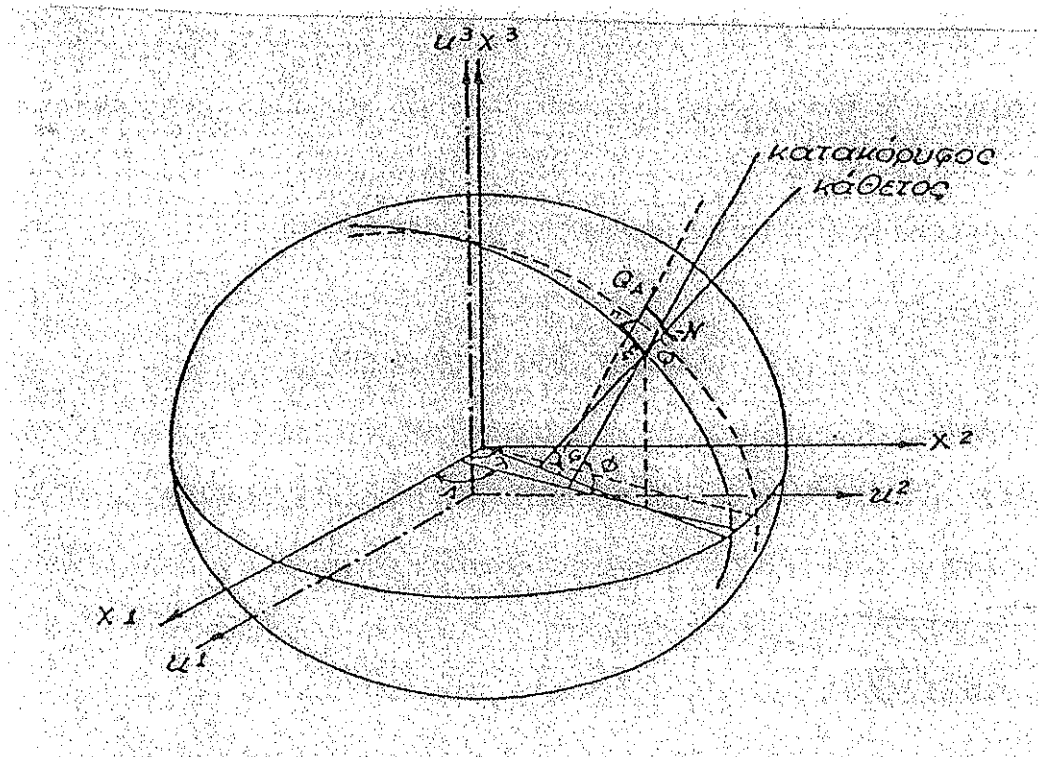
Τα γεωδαιτικά συστήματα ορίζονται θεωρητικά με τις συντεταγμένες που δίνονται σε ένα βασικό σημείο (φυσικό σημείο στην επιφάνεια της γης) που καλείται αφετηρία και το αζιμούθιο προς ένα δεύτερο σημείο. Οι τιμές αυτές όταν συνδυάζονται με τις παραμέτρους του ελλειψοειδούς αναφοράς ορίζουν το λεγόμενο Γεωδαιτικό Σύστημα ή Γεωδαιτικό Datum.

Ένα γεωδαιτικό σύστημα εκφράζεται με ελλειψοειδείς και πιο σπάνια με καρτεσιανές συντεταγμένες.

Οι άξονες που ορίζουν ένα γεωδαιτικό σύστημα είναι παράλληλοι με τους άξονες του γήινου συστήματος με μια ακρίβεια καλύτερη από 1".

Στην πράξη ένα Γ.Σ.Α. υλοποιείται με το σετ των συντεταγμένων που έχουν προσδιοριστεί στα βασικά σημεία του εθνικού γεωδαιτικού δικτύου (συνήθως 1^{ης} και 2^{ης} τάξης)

Σύγκριση Συστημάτων Αναφοράς



Συνοψίζοντας, ενώ οι αστρονομικές συντεταγμένες προσδιορίζονται από σημείο σε σημείο και οι γήινες συντεταγμένες έχουν κατ' αρχήν μόνο θεωρητικό ορισμό, οι γεωδαιτικές συντεταγμένες προσδιορίζονται από σημείο σε σημείο, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα γεωδαιτικών μετρήσεων (αποστάσεις και γωνίες) που γίνονται στην επιφάνεια της γης.

Στο σχήμα παρουσιάζεται η σχέση των Γεωδαιτικών και Γήινων Συστημάτων Αναφοράς

Το Ελληνικό Datum

Η ίδρυση του Τριγωνομετρικού δικτύου Ελλάδας άρχισε το 1889 από τη Χαρτογραφική Υπηρεσία Στρατού.

Ως ελλειψοειδές αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το ελλειψοειδές του Bessel που εκείνη την εποχή το χρησιμοποιούσαν στην Κεντρική Ευρώπη, ενώ η αρχή του Ελληνικού Datum ήταν το κεντρικό βάθρο του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Το δίκτυο είχε βάση στο Θριάσειο πεδίο και κάλυπτε όλη την ελεύθερη τότε Ελλάδα, ενώ αργότερα επεκτάθηκε και στην υπόλοιπη χώρα μετά την προσάρτηση νέων εδαφών.

Μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο το δίκτυο της Ελλάδας χρησιμοποιώντας τις παλιές μετρήσεις μαζί με τα υπόλοιπα δίκτυα στην Ευρώπη εντάχθηκαν σε ένα ενιαίο σύστημα γνωστό ως E.D. 50 (Ευρωπαϊκό δίκτυο του 50). Η αρχή του συστήματος αυτού είναι το Postdam στη Γερμανία, ενώ σαν ελλειψοειδή επιφάνεια αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το Διεθνές Ελλειψοειδές του Hayford.

Το 1954 αποφασίστηκε ο επανατριγωνισμός της Ευρώπης και τα αποτελέσματα έδωσαν ένα νέο βελτιωμένο Ευρωπαϊκό σύστημα αναφοράς γνωστό ως E.D.77, ενώ αργότερα έδωσαν το E.D. 79. Η Ελλάδα συμμετείχε στον επανατριγωνισμό προσδιορίζοντας μια όδευση ακριβείας Κέρκυρα – Οθωνοί – Ιταλία και συνδέθηκε με το Ιταλικό δίκτυο αλλά δεν εντάχθηκε στα συστήματα αυτά.

Σήμερα χρησιμοποιείται το παλαιό Ελληνικό Datum με όλες τις βελτιώσεις στο δίκτυο που έχουν γίνει εν τω μεταξύ, από τις πολιτικές υπηρεσίες. Η ΓΥΣ χρησιμοποιεί όμως και το E.D. 50 μαζί με τις εν τω μεταξύ βελτιώσεις του κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς.

Συστήματα Απεικονίσεων στην Ελλάδα

Σύστημα Hatt

Το σύστημα εφαρμόζεται στην πλάγια αζιμουθιακή ισαπέχουσα απεικόνιση και στο ελλειψοειδές του Bessel με αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Πρόκειται για μια ισαπέχουσα απεικόνιση που διατηρεί αναλλοίωτα τα μήκη στοιχειωδών γραμμών από το ελλειψοειδές στο επίπεδο κατά ορισμένες μόνο διευθύνσεις.

Ολόκληρη η χώρα στο σύστημα αυτό έχει χωριστεί σε 130 τετράγωνα περίπου σφαιροειδή τραπέζια διαστάσεων 30'X30', καθένα από τα οποία αποτελεί και διαφορετικό τοπικό σύστημα. Τα κέντρα των σφαιροειδών τραπεζίων ονομάζονται κέντρα φύλλου, των οποίων οι γεωγραφικές συντεταγμένες βρίσκονται σε ακέραιες μοίρες και 15' ή 45'.

Στην έκταση του κάθε σφαιροειδούς τραπεζίου οι παραμορφώσεις μηκών φθάνουν τα 5ppm, δηλαδή οι παραμορφώσεις είναι της τάξης του 1:200000.

Το σύστημα Hatt αποτελούσε το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της χώρας και την ευθύνη της διαχείρισής του είχε η ΓΥΣ. Σήμερα το σύστημα αυτό βρίσκεται σε φθίνουσα χρήση λόγω των μειονεκτημάτων, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζει η ασυμβατότητά του με τις σύγχρονες τεχνολογίες. Στις εφαρμογές αντικαθίσταται πλέον με το σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Σύστημα UTM-6° (Universal Transverse Mercator)

Το σύστημα UTM εφαρμόζεται στην εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση και αρχικά στο ελλειψοειδές του Hayford. Σήμερα το σύστημα αυτό, σε παγκόσμια κλίμακα το ελλειψοειδές του Hayford αντικαταστάθηκε από το ελλειψοειδές στο επίπεδο.

Στο σύστημα UTM ολόκληρη η επιφάνεια της γης χωρίζεται σε 60 ζώνες (τοπικά συστήματα) πλάτους 6° η κάθε μία.

Η Ελλάδα απεικονίζεται σε δύο ζώνες με κεντρικούς μεσημβρινούς αντίστοιχα $\lambda_0 = 21^\circ$ (ζώνη 34) και $\lambda_0 = 27^\circ$ (ζώνη 35) από τον μεσημβρινό του Greenwich. Ο συντελεστής κλίμακας της απεικόνισης είναι 0.9996 και στις τετμημένες προστίθεται η σταθερά 500.000m.

Οι παραμορφώσεις αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον κεντρικό μεσημβρινό και είναι της τάξης των 500ppm (δηλαδή 1:2000).

Το σύστημα UTM έχει παγκόσμια χρήση και στην Ελλάδα το διαχειρίζεται αποκλειστικά η ΓΥΣ.

Σύστημα ΕΜΠ – 3° (Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή)

Το σύστημα ΕΜΠ εφαρμόζεται στην εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση και στο ελλειψοειδές του Bessel. Η απεικόνιση έχει την ιδιότητα της συμμορφίας.

Με το σύστημα ΕΜΠ η χώρα χωρίζεται σε τρεις ζώνες πλάτους 3°, με αφετηρία το Αστεροσκοπείο Αθηνών. Ο κεντρικός μεσημβρινός της πρώτης ζώνης είναι ο μεσημβρινός με $\lambda_0 = -3^\circ$, της δεύτερης ζώνης $\lambda_0 = 0^\circ$ και της τρίτης ζώνης $\lambda_0 = 3^\circ$. Ο συντελεστής κλίμακας της απεικόνισης είναι 0.9999 και στις τετμημένες (X) προστίθεται η σταθερά 200.000m, ενώ στις τεταγμένες (Y) αφαιρείται η σταθερά που αντιστοιχεί σε τόξο μεσημβρινού από τον ισημερινό μέχρι τον παράλληλο των 34°.

Οι παραμορφώσεις και στο σύστημα αυτό αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον κεντρικό μεσημβρινό. Σε κάθε ζώνη οι παραμορφώσεις είναι της τάξης των 100ppm (δηλαδή 1:10.000).

Το σύστημα ΕΜΠ δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του Υπουργείου Δημοσίων Έργων λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσίαζε το σύστημα Hatt. Η επιχείρηση της Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης (ΕΠΑ '83) βασίστηκε σε αυτό το σύστημα αναφοράς. Σήμερα παρουσιάζει και αυτό φθίνουσα χρήση καθώς αντικαθίσταται από το ΕΓΣΑ '87.

Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87)

Το σύστημα ΕΓΣΑ '87 εφαρμόζεται στην εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση και στο ελλειψοειδές GRS80. Η απεικόνιση έχει την ιδιότητα της συμμορφίας.

Με το σύστημα αυτό η χώρα περιέχεται σε μία μόνο ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0 = 24^\circ$ από τον μεσημβρινό του Greenwich. Ο συντελεστής κλίμακας είναι 0.9996 και στις τετμημένες (X) προστίθεται η σταθερά 500.000m.

Όπως και στις άλλες εφαρμογές της εγκάρσιας Μερκατορικής απεικόνισης οι παραμορφώσεις αυξάνονται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από τον κεντρικό μεσημβρινό. Οι μέγιστες παραμορφώσεις στην έκταση της χώρας φθάνουν τα 670 ppm.

Το σύστημα ΕΓΣΑ '87 είναι συμβατό με τις απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνολογίας και αποτελεί πλέον σήμερα το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της χώρας. Την ευθύνη της διαχείρισης του συστήματος έχει ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφείων Ελλάδας (ΟΚΧΕ).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ GPS “GLOBAL POSITIONING SYSTEM”

Το σύστημα GPS είναι ένα σύστημα ναυσιπλοΐας βασισμένο σε δορυφόρους, το οποίο αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970, για στρατιωτικούς σκοπούς, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Αργότερα έγινε διαθέσιμο και στους πολίτες και τώρα έχει διπλό σκοπό, να εξυπηρετεί συγχρόνως και τον στρατό και τους πολίτες. Το σύστημα GPS εξασφαλίζει ένα συνεχή εντοπισμό θέσης οπουδήποτε στη γη, κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, και εξυπηρετεί ένα αμέτρητο αριθμό χρηστών.

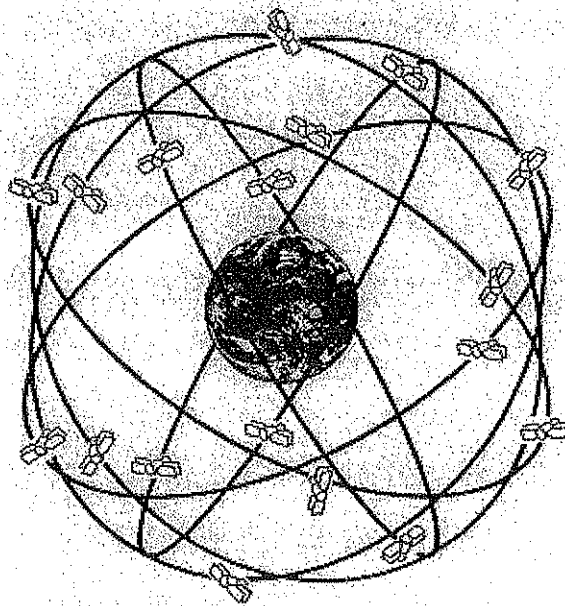
Το GPS στηρίζεται σε 24 ειδικούς δορυφόρους που είναι με τέτοιο τρόπο κατανεμημένοι γύρω από τη γη, έτσι ώστε να υπάρχουν τέσσερις δορυφόροι σε έξι τροχιακά επίπεδα. Τα τροχιακά επίπεδα, που βρίσκονται σε ύψος 20.200 χλμ. πάνω από τη γη, είναι σχεδόν κυκλικά και σχηματίζουν γωνίες περίπου 55° με τον Ισημερινό. Η περίοδος του κάθε δορυφόρου είναι σχεδόν 12 ώρες. Με αυτόν τον σχηματισμό εξασφαλίζεται ορατότητα τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων σε οποιαδήποτε θέση πάνω στη γη. Στην πραγματικότητα ο αριθμός δορυφόρων στο GPS πάντα ήταν μεγαλύτερος από 24 δορυφόρους, έτσι ώστε να υπάρχουν εφεδρικοί δορυφόροι σε περίπτωση που κάποιος από τους 24 πάθει κάποια βλάβη.

Τα λειτουργικά τμήματα του συστήματος GPS

Το GPS αποτελείται από τρία τμήματα: 1) το τμήμα του διαστήματος, 2) το επίγειο τμήμα ελέγχου και 3) το τμήμα χρηστών. Πιο αναλυτικά:

- 1) Το τμήμα του διαστήματος αποτελείται από 24 δορυφόρους όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Κάθε δορυφόρος μεταδίδει ένα σήμα που αποτελείται από ένα αριθμό επιμέρους σημάτων, δηλαδή δύο φέροντα σήματα, δύο ψηφιακοί κώδικες και ένα ναυτιλιακό μήνυμα. Οι κώδικες και το ναυτιλιακό μήνυμα προστίθενται στα φέροντα σήματα. Τα φέροντα σήματα και οι κώδικες χρησιμοποιούνται κυρίως για να προσδιορίσουν την απόσταση μεταξύ του δέκτη και των δορυφόρων. Το ναυτιλιακό μήνυμα περιέχει διάφορες πληροφορίες, μεταξύ των οποίων τις συντεταγμένες των δορυφόρων ως συνάρτηση του χρόνου. Τα φέροντα σήματα ελέγχονται από υψηλής ακρίβειας ατομικά ρολόγια που εξοπλίζουν τους δορυφόρους.
- 2) Το επίγειο τμήμα αποτελείται από ένα παγκόσμιο δίκτυο σταθμών που παρακολουθούν και κατευθύνουν τη λειτουργία κάθε δορυφόρου του συστήματος, επεξεργάζονται συνεχώς τα δεδομένα του συστήματος και υπολογίζει τις εφημερίδες των δορυφόρων.
- 3) Το τμήμα χρηστών που παρακολουθεί τα σήματα των δορυφόρων και αποτελείται από όλους τους χρήστες που μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες του συστήματος για ναυσιπλοΐα και γεωδαισία ή άλλες χρήσεις.

SATELLITE CONSTELLATION



SATELLITES
6 ORBITAL PLANES
55° INCLINATION
20 200 KM ABOVE EARTH
12-HOUR ORBITS

GPS 85-001

WVH
HEERBRUGG

2014

Οι γενιές δορυφόρων του GPS

Ο σχηματισμός των δορυφόρων του συστήματος GPS ξεκίνησε με μια σειρά 11 δορυφόρων γνωστών ως Block I. Οι Block I δορυφόροι κατασκευάστηκαν κυρίως για πειραματικούς σκοπούς. Η γωνία των τροχιακών τους επιπέδων με τον Ισημερινό ήταν 63° , η οποία στη συνέχεια άλλαξε. Αν και ο αρχικός σχεδιασμός για τον χρόνο ζωής τους ήταν 5 χρόνια, ορισμένοι παρέμειναν σε λειτουργία για περισσότερο από 10 χρόνια.

Η δεύτερη γενιά δορυφόρων GPS είναι γνωστή ως Block II/IIA. Οι Block IIA είναι μια βελτιωμένη έκδοση των Block II. Σε αντίθεση με τους δορυφόρους Block I η γωνία των τροχιακών τους επιπέδων με τον Ισημερινό ήταν 55° . Στη συνέχεια υπήρξαν οι Block IIR και Block IIRM, οι οποίοι είχαν την ικανότητα να λειτουργούν αυτόνομα για τουλάχιστον 180 ημέρες, χωρίς επαφή με το επίγειο τμήμα. Κατόπιν σχεδιάστηκαν οι δορυφόροι Block IIF, οι οποίοι είχαν νέες δυνατότητες και βελτίωναν την ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης. Οι πρώτοι δορυφόροι της γενιάς Block III προγραμματίζονται να μπουν σε λειτουργία το 2013.

Τον Ιανουάριο του 2006 ο δορυφορικός σχεδιασμός GPS αποτελούνταν από 1Block II, 15Block IIA, 12Block IIR και 1 Block IIRM. Όλοι οι προηγούμενοι δορυφόροι φτιάχνουν συνολικά ένα σχηματισμό 29 δορυφόρων, που υπερβαίνουν το τυπικό σύνολο των 24 δορυφόρων. Όλοι οι δορυφόροι Block I δεν είναι πλέον σε λειτουργία. Συνοψίζοντας, οι δορυφόροι είναι σχεδιασμένοι για συγκεκριμένο χρόνο ζωής και κάθε μερικά χρόνια κάποιοι πιο βελτιωμένοι δορυφόροι

μπαίνουν σε λειτουργία, ενώ κάποιοι άλλοι καταργούνται, ο δε συνολικός αριθμός τους είναι πάντα μεγαλύτερος από το τυπικό 24.

Η βασική ιδέα λειτουργίας του GPS

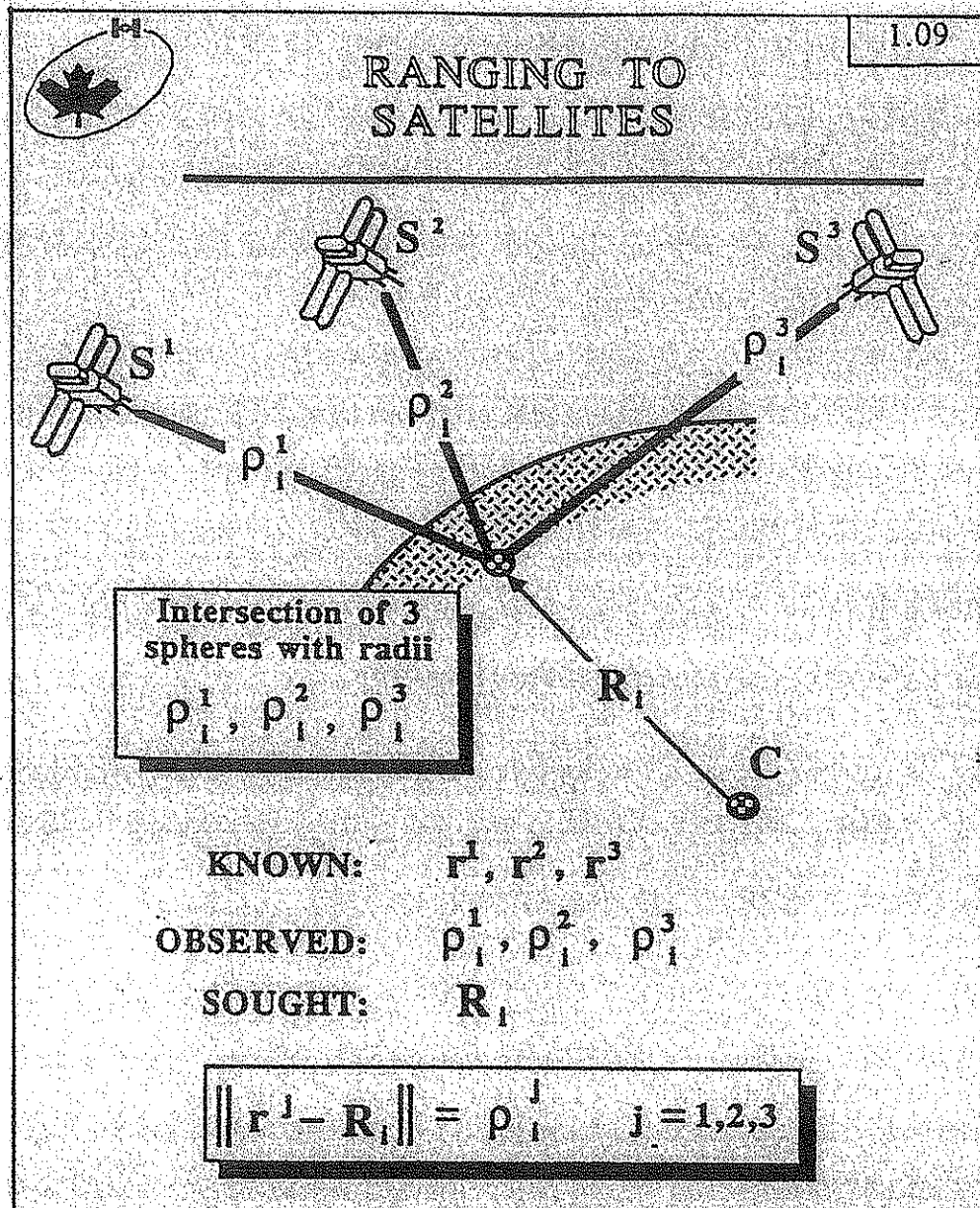
Η θέση του παρατηρητή προσδιορίζεται με μέτρηση των αποστάσεων σε τέσσερις δορυφόρους με τη βοήθεια του χρόνου μετάδοσης ενός σήματος από τον δορυφόρο στον παρατηρητή. Ο χρόνος μετριέται με δύο χρονόμετρα ένα στο δορυφόρο και ένα στο δέκτη του παρατηρητή. Επειδή το χρονόμετρο του παρατηρητή δεν είναι ιδιαίτερα ακριβές (όπως του δορυφόρου που είναι υψηλής ποιότητας) η απόσταση που προσδιορίζεται δεν είναι η σωστή και για αυτό θα πρέπει το σφάλμα του χρονομέτρου ΔT να θεωρηθεί ως συμπληρωματικός άγνωστος. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν αρκούν οι αποστάσεις από τρεις δορυφόρους για τον προσδιορισμό της θέσης (X,Y,Z) αλλά χρειάζεται και τέταρτος, ώστε να υπάρξουν τέσσερις εξισώσεις με τέσσερις αγνώστους.

Το σήμα

Το σήμα του GPS αποτελείται από ένα αριθμό σημάτων, όλων βασισμένων στη θελμελιώδη συχνότητα $f=10.23\text{MHz}$. Όλες οι υπόλοιπες συχνότητες προέρχονται από αυτή.

Παράγονται δύο φέροντα σήματα με συχνότητες: $L_1=154f$, $L_2=120f$ (για την εξάλειψη της επίδρασης της ιονόσφαιρας) και δύο σήματα από διαμόρφωση στα φέροντα κύματα, το ένα γνωστό ως P-σήμα ή P-κώδικας (f), και το δεύτερο ως C/A κώδικας ($f/10$).

Οι συχνότητες L_1 , L_2 χρησιμοποιούνται ως φέρουσες προκειμένου να μεταφέρουν με τη μορφή διαμόρφωσης – τις επιθυμητές πληροφορίες, δηλαδή τους κώδικες και το ναυτιλιακό μήνυμα.



Μετρήσεις - Τεχνικές

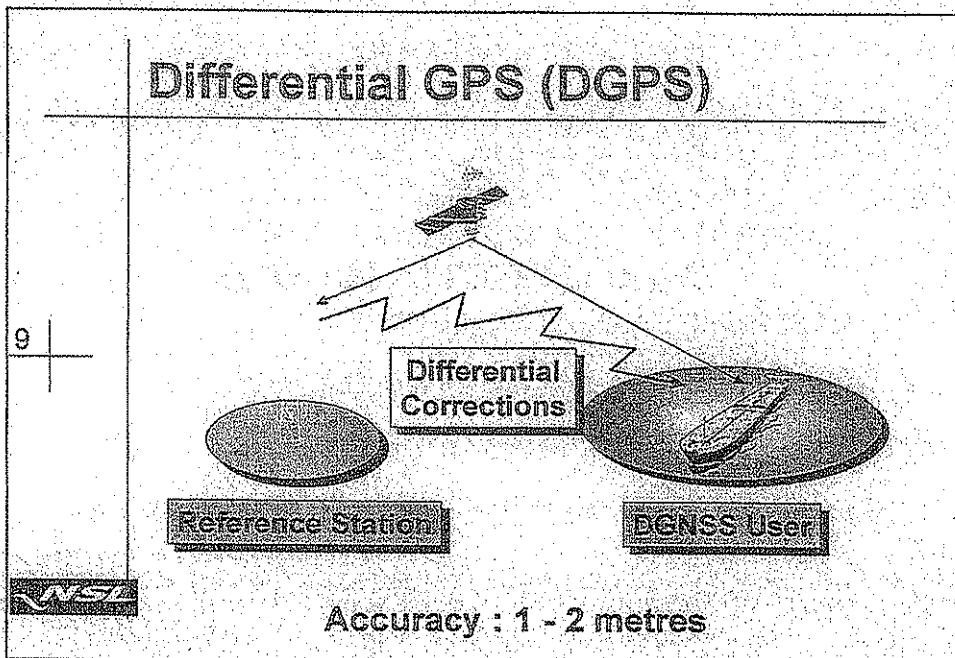
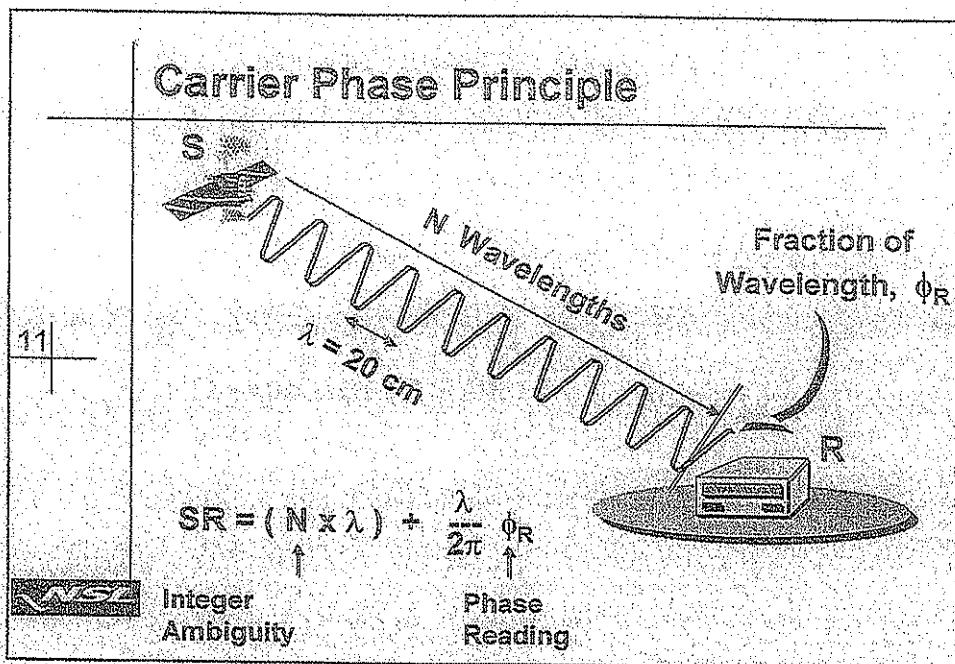
Μετρήσεις μπορούν να γίνουν και με χρήση του φέροντος σήματος (L_1 , L_2) και με χρήση κώδικα (P, C/A).

Στις μετρήσεις φέροντος σήματος μετριέται η φάση του σήματος, ενώ στις μετρήσεις κώδικα μετριούνται συνήθως ψευδοαποστάσεις, αν και είναι δυνατή η μέτρηση φάσης του κώδικα. Οι ψευδοαποστάσεις αλλάζουν εξαιτίας των μεταβολών στην καθυστέρηση μετάδοσης από το δορυφόρο στο δέκτη, και έχουν ως συστηματικό σφάλμα τη διαφορά στα χρονόμετρα δορυφόρου και δέκτη.

Για τον εντοπισμό της θέσης, ανάλογα με την κινητική κατάσταση του δέκτη (στατικός ή κινηματικός εντοπισμός), με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δεκτών (απόλυτος ή σχετικός εντοπισμός) και το είδος των παρατηρήσεων (φάσεις ή κώδικες), έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μετρήσεων.

Γενικά, οι μετρήσεις του φέροντος σήματος είναι καταλληλότερες για στατικό εντοπισμό θέσης, ενώ για τον κινηματικό εντοπισμό θέσης ο κύριος τρόπος μετρήσεων είναι οι μετρήσεις κώδικα.

Μια άλλη βασική τεχνική είναι ο διαφορικός εντοπισμός θέσης (DGPS) που εφαρμόζεται κυρίως σε κινηματικούς δέκτες, προκειμένου να εξαλειφθούν τα σφάλματα που προκαλούνται από διάφορες πηγές. Η τεχνική αυτή υλοποιείται με ένα σταθμό αναφοράς, ο οποίος λειτουργεί σε επακριβώς καθορισμένη θέση σε γειτονική περιοχή ως προς τον κινούμενο δέκτη. Με τη βοήθεια λογισμικού υπολογίζονται οι αποκλίσεις, οι οποίες όταν προστεθούν στα υπολογιζόμενα από το δέκτη μεγέθη, προκύπτει η σωστή του θέση.



Ακρίβεια

Μια τυπική ακρίβεια για στατικό εντοπισμό θέσης με ένα γεωδαιτικό δέκτη ήταν παλαιότερα της τάξης των 50-100m οριζοντιογραφικά και 78m υψομετρικά. Σήμερα με τον τερματισμό της επιλεκτικής διαθεσιμότητας η ακρίβεια δεκαπλασιάστηκε και φτάνει το 1m οριζοντιογραφικά, και λίγα μέτρα υψομετρικά. Ο διαφορικός εντοπισμός θέσης δίνει ακρίβειες από 5m έως καλύτερη από 1m.

Για γεωδαιτικές εφαρμογές, η ακρίβεια αυτή βελτιώνεται πολύ, χρησιμοποιώντας σχετικές μετρήσεις φάσεως του φέροντος κύματος, που δίνουν ακρίβειες που φθάνουν τα $5\text{mm} + 0.5\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και 1ppm υψομετρικά.

Σφάλματα του GPS

Οι μετρήσεις με GPS περιέχουν διαφόρων ειδών σφάλματα, τυχαία και συστηματικά. Αυτά τα σφάλματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Σφάλματα που οφείλονται σε δορυφόρους, όπως είναι τροχιακά σφάλματα, σφάλματα των ρολογιών των δορυφόρων κ.λ.π.
2. Σφάλματα που οφείλονται στους δέκτες, περιλαμβάνουν σφάλματα στο ρολόι του δέκτη, στη λήψη του σήματος μέσα από πολλές διαδρομές λόγω της αντανάκλασης του σήματος, κ.ά.
3. σφάλματα που οφείλονται στη διάδοση του σήματος, όπως οι καθυστερήσεις του σήματος μέσα από τα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα (κυρίως της ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας).

Εκτός από τα προηγούμενα σφάλματα επιπλέον η υπολογιστική ακρίβεια του εντοπισμού θέσης επηρεάζεται επίσης από τον γεωμετρικό σχηματισμό των δορυφόρων, όπως φαίνεται από τον δέκτη. Όσο περισσότερο διασκορπισμένοι είναι οι δορυφόροι στον ουρανό τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται.

Μερικά από τα προηγούμενα σφάλματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν μέσα από κατάλληλους συνδυασμούς των παρατηρήσεων με GPS. Παραδείγματος χάριν συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις του φέροντος σήματος (L1 και L2) μπορεί να εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό η επίδραση της ιονόσφαιρας. Μαθηματική μοντελοποίηση αυτών των σφαλμάτων είναι επίσης εφικτή.

Δέκτες GPS

Οι δέκτες του GPS αποτελούνται από ένα ή περισσότερα κανάλια. Άλλα κανάλια είναι χρήσιμα για στατικό εντοπισμό θέσης και άλλα είναι χρήσιμα για κινηματικό εντοπισμό θέσης. Ένας πολυκάναλος δέκτης έχει προφανώς περισσότερες εναλλακτικές δυνατότητες από ένα απλούστερο δέκτη.

Σήμερα υπάρχουν στο εμπόριο δέκτες φορητοί, ευέλικτοι, ελαφριοί, με μεγάλη αυτονομία και με πολύ προσιτό κόστος, ικανοί για κάθε εφαρμογή. Οι δυνατότητές τους ποικίλουν και μπορούν να καλύψουν διαφορετικές απαιτήσεις ακρίβειας.

Ένας απλός δέκτης χειρός προσφέρει σαφώς μικρότερη ακρίβεια (περίπου 30m) από ένα σύγχρονο γεωδαιτικό δέκτη. Παρόλα αυτά οι δέκτες χειρός αναπτύσσονται συνεχώς και ήδη είναι διαθέσιμοι στην αγορά δέκτες μικρού κόστους με δυνατότητα ένδειξης προβολικών συντεταγμένων (π.χ. UTM ή ΕΓΣΑ'87) με ακρίβεια λίγων μέτρων.

Πλεονεκτήματα GPS σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους

Το GPS σε σχέση με τις κλασσικές γεωδαιτικές μεθόδους έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Δεν χρειάζεται ορατότητα μεταξύ των σταθμών.
- Οι σταθμοί GPS μπορούν να είναι ανεξάρτητοι από το επίγειο δίκτυο των τριγωνομετρικών σημείων και μπορούν να τοποθετηθούν εκεί που χρειάζεται, γιατί η επίγεια γεωμετρία δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου τη λύση.
- Οι παρατηρήσεις είναι σχεδόν ανεξάρτητες από τις καιρικές συνθήκες.
- Είναι δυνατές οι μετρήσεις σχεδόν όλο το 24ωρο.
- Με τις παρατηρήσεις GPS επιτυγχάνονται ακρίβειες μηδενικής τάξης, σε πολύ συντομότερο χρονικό διάστημα και με πολύ μικρότερο κόστος.
- Οι λύσεις είναι άμεσα τρισδιάστατες.

Επομένως το GPS ανταγωνίζεται και επίγειες μεθόδους σε κλασσικές γεωδαιτικές εφαρμογές (τριγωνισμούς, πολυγωνομετρία, χαράξεις, αποτυπώσεις, κ.λ.π.).

Εφαρμογές

Βασικές εφαρμογές του GPS είναι:

- 1) Ο εντοπισμός θέσης: ο χρήστης βρίσκεται σε ένα σημείο ενδιαφέροντος και απαιτείται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του.
- 2) Η πλοήγηση: με την ευρύτερη έννοια ο όρος αναφέρεται στην τεχνική του προσδιορισμού της θέσης ενός σταθερού ή κινούμενου αντικειμένου ή ανθρώπου και των κατάλληλων στοιχείων πορείας για τη μετάβασή του σε κάποιο επιλεγμένο τόπο.
- 3) Η διαχείριση στόλου: ο διαχειριστής ενός συνόλου κινούμενων αντικειμένων (ταξί, φορτηγά, ασθενοφόρα, σκάφη κ.ά) χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του καθενός από αυτά ώστε να ελέγχει και να αξιοποιεί βέλτιστα το στόλο.

Το σύστημα GPS έχει εφαρμογή σε πολλά επιστημονικά πεδία, τόσο στην παρακολούθηση του φυσικού περιβάλλοντος (γεωδαισία, γεωλογία, κινήσεις τεκτονικών πλακών, ωκεανογραφία, πρόβλεψη σεισμών κ.λ.π.) όσο και στην παρακολούθηση του δομημένου περιβάλλοντος (κτίρια, γέφυρες, φράγματα κ.λ.π.) και συνεχώς προστίθενται νέες εφαρμογές.

Άλλα δορυφορικά συστήματα προσδιορισμού θέσης

Το σύστημα GLONASS

Το σύστημα GLONASS είναι ένα Ρωσικό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με το σύστημα GPS. Αρχικά ο χαρακτήρας του συστήματος GLONASS ήταν στρατιωτικός, αντίστοιχα με το GPS, και κάλυπτε τις ανάγκες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και των συμμαχικών αυτής χωρών. Με τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και τις αλλαγές σε πολιτικό επίπεδο, η χρήση του συστήματος GLONASS άρχισε να επεκτείνεται και έξω από τα σύνορα της Σοβιετικής Ένωσης. Η συνεργασία των συστημάτων GPS και GLONASS δίνει μεγαλύτερη κάλυψη στην επιφάνεια της γης για τους χρήστες των συστημάτων αυτών και μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων λόγω του μεγάλου αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων. Σήμερα υπάρχουν δέκτες που έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης και των δύο συστημάτων.

Ο σχεδιασμός του GLONASS περιλαμβάνει την ύπαρξη 21 ενεργών δορυφόρων (και τριών εφεδρικών) σε τροχιά, κατανεμημένων σε τρία τροχιακά επίπεδα, με οχτώ δορυφόρους σε καθένα από αυτά. Οι δορυφόροι διατηρούν μια σχεδόν κυκλική τροχιά, με κλίση 64.6° ως προς τον Ισημερινό και περίοδο επιστροφής 11h 16m. Περιστρέφονται σε ύψος 19100km πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

Το σύστημα GALILEO

Το σύστημα GALILEO είναι ένα νέο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης που βρίσκεται σε ανάπτυξη στην Ευρώπη. Το νέο σύστημα θα έχει πολιτικό χαρακτήρα και θα καλύπτει με μεγάλη ακρίβεια σχεδόν το 99% της γήινης επιφάνειας. Το σύστημα θα αποτελείται συνολικά από 30 δορυφόρους (27 δορυφόροι σε λειτουργία και 3 σε εφεδρεία) και από ένα δίκτυο επίγειων σταθμών παρακολούθησης. Οι ενεργοί δορυφόροι θα κατανέμονται σε τρία τροχιακά επίπεδα, καθένα από τα οποία θα έχει 9 δορυφόρους. Οι τροχιές των δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλικές, με γωνία κλίσης περίπου 56° με τον Ισημερινό. Το υψόμετρο της τροχιάς των δορυφόρων θα είναι περίπου 23000 km.

Το σύστημα GALILEO έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλίζει πέντε διαφορετικά είδη χρηστών:

1. Ανοικτή υπηρεσία, που θα προσφέρει υπηρεσίες ανοικτά σε όλους, χωρίς κόστος.
2. Εμπορική υπηρεσία, που είναι περιορισμένης πρόσβασης, και καλύπτει υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας.
3. Υπηρεσίες ασφάλειας ζωής, που απευθύνεται σε ναυτικούς, αεροπόρους και μηχανοδηγούς τρένων.
4. Υπηρεσία δημοσίων αρχών, η οποία είναι περιορισμένης πρόσβασης και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται υψηλότερο επίπεδο προστασίας.
5. Υποστήριξη σε υπηρεσίες ανεύρεσης και διάσωσης.

Η κάθε μία από τις προηγούμενες υπηρεσίες προσφέρει διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmed El-Rabbany, **Introduction to GPS**, Artech House, Boston/London 2006.

Ashkenazi V., “Synergy of EO and Navigation”, **Proceedings Astron Information Day**, 19 January 1999, Editor M. Ketselidis, Italy 1999.

Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ., **Σημειώσεις Ανώτερης Γεωδαισίας**, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας TATM ΕΜΠ, Αθήνα 1985.

Γιαννίου Μ., «Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο GPS: Τι αλλάζει στις εφαρμογές του συστήματος», **Δελτίο Πανελλήνιου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών**, Τεύχος 147, Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2000, Αθήνα 2000.

Mikhail E., Gracie G., **Analysis and Adjustment of Survey Measurements**, VNR, N.Y. 1981

Μπαλοδήμος Δ., **Σημειώσεις Γεωδαισίας – Εισαγωγή**, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1984.

Μπαλοδήμος Δ., **Στοιχεία από τη Θεωρία Σφαλμάτων**, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1982.

Μπαλοδήμος Δ., Σημειώσεις Γεωδαισίας – Προκαταρκτικά Στοιχεία
– Βασικοί Υπολογισμοί, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας
Τοπογραφίας TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1985.

Μπαλοδήμος Δ., Μπαλοδήμου Α.-Μ., Αποτυπώσεις Μικρών
Εκτάσεων, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM,
ΕΜΠ, Αθήνα 1987.

Μπαλοδήμος Δ., Σημειώσεις Γεωδαισίας – Υπολογισμός Εμβαδών,
Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM, ΕΜΠ, Αθήνα
1984.

Μπαλοδήμος Δ., Σταθάς Δ., Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης
γωνιών και μηκών, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας,
TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1993.

Μπαλοδήμος Δ., Σημειώσεις Ειδικών Θεμάτων Γεωδαισίας,
Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM, ΕΜΠ, Αθήνα
1977.

Μπαλοδήμος Δ., Υψομετρία, Διδακτικές Σημειώσεις, Τομέας
Τοπογραφίας TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1982.

Μπαλοδήμος Δ., Σταθάς Δ., Πύκνωση Γεωδαιτικών Δικτύων
Οριζοντίου Ελέγχου – Πολυγωνομετρία – Αποτυπώσεις,
Διδακτικές Σημειώσεις TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1997.

Νάκος Β., Φιλιππακοπούλου Β., Γενική Χαρτογραφία, Διδακτικές
Σημειώσεις, Τομέας Τοπογραφίας, TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1993.

Παραδείσης Δ., **The Global Positioning System**, Διδακτικές
Σημειώσεις, Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας
TATM, ΕΜΠ, Αθήνα 1992.

Scherrer R., **The WM GPS Primer**, WM Satellite Survey Co,
Switzerland 1985.