

Ευαγγελία Λάμπρου • Γιώργος Πανταζής



# Εφαρμοσμένη Γεωδαισία

*άλωτά γίγνεν' ἐπιμελεία και πόνω ἅπαντα*

ISBN 978-960-456-205-3

© Copyright, Μάρτιος 2010, Ε. Λάμπρου, Γ. Πανταζής, Εκδόσεις Ζήτη

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---

**Φωτοστοιχειοθεσία**

**Εκτύπωση**

**Βιβλιοδεσία**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18° χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς

Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ  
ΖΗΤΗ**

**www.ziti.gr**

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:**

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305

e-mail: sales@ziti.gr

**ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:**

Στοά του Βιβλίου (Πεσμαζόγλου 5) - 105 64 ΑΘΗΝΑ • Τηλ.-Fax: 210-3211.097

**ΑΠΟΘΗΚΗ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΧΟΝΔΡΙΚΗ:**

Ασκληπιού 60 - Εξάρχεια 114 71, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** www.ziti.gr

## Πρόλογος

Ένα βιβλίο πρέπει να είναι εύχρηστο, κατανοητό και διαχρονικά χρήσιμο στους ενδιαφερόμενους αναγνώστες του.

Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η προσπάθεια που κατεβλήθη για τη συγγραφή του παρόντος βιβλίου, το οποίο περιλαμβάνει βασικές αρχές και εφαρμογές που αφορούν σε αντικείμενα της γεωδαισίας, προσαρμοσμένες στη σύγχρονη εποχή και τεχνολογία.

Στοχεύει στο να παρουσιάσει τη σύγχρονη αντιμετώπιση των βασικών γεωδαιτικών εφαρμογών, με έμφαση στα σημεία που συνήθως αποτελούν ερωτήματα ή αντικείμενο σύγχυσης μεταξύ θεωρίας και πράξης.

Το πλήθος και η εναλλαγή των σχημάτων και των φωτογραφιών που περιλαμβάνονται, σκοπό έχουν να βοηθήσουν σημαντικά στην κατανόηση της ύλης και ταυτόχρονα να κάνουν ευχάριστη την ανάγνωση.

Απευθύνεται σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές τοπογράφους, πολιτικούς και αρχιτέκτονες μηχανικούς αλλά και σε κάθε ενδιαφερόμενο που ασχολείται με γεωδαιτικές εφαρμογές στην επαγγελματική του δραστηριότητα.

Η γεωδαισία, συνενικουρούμενη από την εξέλιξη της τεχνολογίας, καλύπτει μια ευρύτατη επιστημονική περιοχή. Τα τελευταία είκοσι χρόνια, η ραγδαία εξέλιξη των οργάνων μέτρησης αλλά και των υπολογιστικών συστημάτων και λογισμικών επεξεργασίας των μετρήσεων, επηρέασαν θετικά τα αντικείμενα δράσης της. Αναπτύχθηκαν νέες μεθοδολογίες οι οποίες διεύρυναν τα πεδία παρέμβασης και εφαρμογής της.

Αυτό το στοιχείο αποτέλεσε και το έναυσμα για τον τίτλο του βιβλίου *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*.

Η ανάπτυξη και χρήση ολοκληρωμένων συστημάτων μέτρησης (ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, ψηφιακοί χωροβάτες, συστήματα δορυφορικού εντοπισμού) απλουστεύει και συντομεύει τη συλλογή των μετρήσεων στο πεδίο. Παράλληλα συνδυάζεται με κατάλληλα λογισμικά επεξεργασίας και έτσι οδηγεί σε αξιόπιστα, ακριβέστερα αλλά και ευκολοδιαχειρίσιμα παράγωγα. Επίσης καθίσταται πλέον δυνατή η εκτέλεση μελετών και εφαρμογών που παλαιότερα ήταν δύσκολη ή και αδύνατη η πραγματοποίησή τους.

Ο ρυθμός εξέλιξης των συστημάτων μέτρησης, των λογισμικών επεξεργασίας τους και απεικόνισης των παραγώγων είναι σήμερα ιλιγγιώδης. Οι δυνατότητες

μέτρησης και διαχείρισης είναι πολυσχεδείς και αυτοματοποιημένες. Η παρακολούθηση αυτού του ρυθμού και η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που παρέχονται, απαιτεί από τον μηχανικό συνεχή ενημέρωση. Προϋποθέτει όμως προπάντων σωστή θεωρητική γνώση των αρχών που χρησιμοποιούνται και των υπολογισμών που εκτελούνται. Μόνο έτσι μπορεί να διασφαλιστεί η ορθότητα και η ακρίβεια των παραγώγων.

Στα επιμέρους κεφάλαια του παρόντος συγγράμματος παρουσιάζονται τα στοιχεία (θεωρητικά και εφαρμοσμένα) που επιτρέπουν την ορθή γνώση για τη χρήση των γεωδαιτικών οργάνων και των μεθόδων, τη σειρά των υπολογισμών, τη σύνταξη και τον έλεγχο των τελικών παραγώγων.

Το *πρώτο κεφάλαιο* αναλώνεται στην παρουσίαση μιας μικρής ιστορικής αναδρομής και καταγραφής στοιχείων που αφορούν στην εξέλιξη της γεωδαισίας, ενώ καταγράφονται τα σύγχρονα αντικείμενά της. Παρουσιάζονται οι ορισμοί των κυριότερων εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα καθώς και οι μονάδες μέτρησης των μεγεθών που μετρώνται ή υπολογίζονται.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* γίνεται παρουσίαση των επιφανειών αναφοράς που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της μορφής της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας. Αναλύονται τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στη γεωδαισία, με ιδιαίτερη έμφαση στα ελληνικά συστήματα (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά).

Στο *τρίτο κεφάλαιο* γίνεται μια εισαγωγή στη θεωρία σφαλμάτων. Αναλύονται βασικές έννοιες και αρχές με τις οποίες υπολογίζονται οι αβεβαιότητες των μεγεθών που προκύπτουν από απ' ευθείας μετρήσεις και άλλων που προκύπτουν από υπολογισμούς.

Το *τέταρτο κεφάλαιο* αφιερώνεται στα όργανα μέτρησης γωνιών, μηκών, υψομετρικών διαφορών, στα όργανα του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού και στα όργανα σάρωσης επιφανειών.

Αναλύονται οι βασικές αρχές λειτουργίας τους και παρουσιάζονται τα παρελκόμενα που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση των μετρήσεων.

Η ανάλυση εστιάζεται στα σύγχρονα όργανα, στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς, στους ψηφιακούς χωροβάτες και στους δέκτες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο* γίνεται αναλυτική παρουσίαση των επίγειων γεωδαιτικών μετρήσεων. Αναλύονται οι μετρήσεις μηκών και οι απαραίτητες διορθώσεις που πρέπει να γίνονται στα μετρούμενα μήκη.

Περιγράφονται οι μετρήσεις γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων) και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των μεθόδων μέτρησης υψομετρικών διαφορών.

Το *έκτο κεφάλαιο* ασχολείται με το δορυφορικό εντοπισμό. Αναφέρονται οι βασικές αρχές του δορυφορικού εντοπισμού, ενώ γίνονται πρακτικές επισημάνσεις για τη σωστή χρήση του συστήματος.

Παρουσιάζεται το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS), το οποίο αποτελεί τη σύγχρονη γεωδαιτική υποδομή της χώρας και μεταβάλλει κυρίως τη διαδικασία της συλλογής γεωδαιτικών δεδομένων, με τη χρήση δορυφορικών συστημάτων.

Στο *έβδομο κεφάλαιο* παρουσιάζονται οι βασικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στο επίπεδο και αφορούν στον προσδιορισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων σημείων, στον μετασχηματισμό τους από ένα σύστημα σε κάποιο άλλο, στον υπολογισμό του εμβαδού ενός τμήματος της ΦΓΕ και στον υπολογισμό όγκων. Για την καλύτερη κατανόησή τους συνοδεύονται από συγκεκριμένες εφαρμογές - παραδείγματα.

Το *όγδοο κεφάλαιο* ασχολείται με την ίδρυση και την πύκνωση γεωδαιτικών δικτύων. Αναλύονται οι μέθοδοι πύκνωσης δικτύων όπως αυτές πραγματοποιούνται είτε με επίγειες μετρήσεις είτε χρησιμοποιώντας τεχνικές δορυφορικού εντοπισμού. Για κάθε μέθοδο παρουσιάζεται η βασική της αρχή συνοδευόμενη από την αντίστοιχη αβεβαιότητα.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στη μέθοδο της πολυγωνομετρίας, καταγράφοντας τα είδη των πολυγωνικών οδεύσεων αλλά και τις απαραίτητες μετρήσεις και υπολογισμούς που πραγματοποιούνται σε αυτές. Η κατανόηση της επίλυσης πολυγωνικών οδεύσεων επιτυγχάνεται με την προσθήκη εφαρμογών για κάθε περίπτωση.

Το *ένατο κεφάλαιο* αφιερώνεται στις μεθόδους αποτύπωσης. Παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται για την αποτύπωση μικρών ή μεγάλων τμημάτων της ΦΓΕ και τη σύνταξη του τοπογραφικού διαγράμματος.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη χρήση της ψηφιακή σχεδίασης για την παραγωγή ενός αξιόπιστου τοπογραφικού διαγράμματος και στον έλεγχο του.

Στο *δέκατο κεφάλαιο* παρουσιάζεται η γεωδαιτική μεθοδολογία που αφορά στη γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευών.

Αναλύονται οι ιδιαιτερότητες αυτών των αποτυπώσεων σε συνδυασμό με τον απαιτούμενο εξοπλισμό και την αβεβαιότητα του τελικού προϊόντος.

Το κεφάλαιο εμπλουτίζεται με χαρακτηριστικές εφαρμογές γεωμετρικής τεκμηρίωσης τεχνητών και φυσικών κατασκευών.

Το *ενδέκατο κεφάλαιο* αναλώνεται με τη διαδικασία της χάραξης σημείων.

Καταγράφονται οι μέθοδοι και οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την υλοποίηση ενός σημείου στη ΦΓΕ τόσο με τη χρήση επίγειων οργάνων όσο και με τη χρήση οργάνων δορυφορικού εντοπισμού.

Πιστεύουμε ότι η μελέτη του βιβλίου αυτού θα βοηθήσει τους αναγνώστες του στην κατανόηση των αντικειμένων που πραγματεύεται.

Επίσης ευελπιστούμε ότι θα επιλύσει συνήθεις απορίες που παρουσιάζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό των **βασικών** γεωδαιτικών εφαρμογών, που αντιμετωπίζουν.

Οι παρατηρήσεις αλλά και οποιοδήποτε σχόλιο από τους αναγνώστες είναι ευπρόσδεκτα και σίγουρα θα βοηθήσουν στη βελτίωση του βιβλίου σε επόμενη έκδοση.

Αθήνα, Μάρτιος 2010

Οι συγγραφείς

Ευαγγελία Λάμπρου

Γιώργος Πανταζής

# Περιεχόμενα

Συμβολισμοί .....	xv
Ακρωνύμια .....	xvii

## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

1.1 Γενικά.....	3
1.2 Ιστορικά στοιχεία.....	5
1.3 Αντικείμενα της Γεωδαισίας.....	12
1.4 Βασικοί ορισμοί.....	15
1.5 Μονάδες μέτρησης.....	17
1.1.1 Μονάδες μέτρησης μηκών.....	18
1.1.2 Μονάδες μέτρησης γωνιών.....	18
1.1.3 Άλλες μονάδες μέτρησης.....	20

## Κεφάλαιο 2

### Επιφάνειες και Συστήματα Αναφοράς

2.1 Γενικά.....	25
2.2 Η Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ).....	25
2.3 Επιφάνειες αναφοράς.....	26
2.4 Συστήματα αναφοράς.....	31
2.4.1 Το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.....	39
2.4.2 Ευρωπαϊκά γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς.....	40
2.4.3 Ελληνικά γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς.....	41
2.4.4 Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987.....	44
2.4.5 Υλοποίηση του Ελληνικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς.....	47
2.4.6 Υψομετρικό σύστημα αναφοράς.....	48
2.4.6.1 Προσδιορισμός της μέσης στάθμης της θάλασσας (μσθ).....	54
2.4.7 Υλοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Υψομέτρων.....	60
2.4.8 Τοπικό – Αυθαίρετο σύστημα αναφοράς.....	61

## Κεφάλαιο 3

### Στοιχεία Θεωρίας Σφαλμάτων

3.1	Γενικά .....	65
3.2	Σφάλματα στις μετρήσεις.....	65
3.3	Ακρίβεια – Ορθότητα – Αβεβαιότητα .....	66
3.4	Ισοβαρείς παρατηρήσεις.....	67
3.5	Ανισοβαρείς παρατηρήσεις .....	69
3.6	Νόμος μετάδοσης σφαλμάτων .....	73
3.7	Αρμονική ακρίβεια .....	76

## Κεφάλαιο 4

### Όργανα Μέτρησης

4.1	Γενικά .....	81
4.2	Όργανα μέτρησης γωνιών .....	82
4.2.1	Απλά γωνιομετρικά όργανα .....	82
4.2.2	Οπτικομηχανικά θεοδόλιχα .....	83
4.2.2.1	Περιγραφή .....	85
4.2.3	Ψηφιακά θεοδόλιχα.....	87
4.3	Όργανα μέτρησης μηκών.....	88
4.3.1	Απλά όργανα.....	89
4.3.2	Οπτικομηχανικά όργανα.....	90
4.3.3	Ηλεκτρομαγνητικά όργανα.....	91
4.3.3.1	Όργανα μεγάλου βεληνεκούς.....	91
4.3.3.2	Όργανα μικρού βεληνεκούς.....	93
4.4	Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total stations).....	94
4.4.1	Περιγραφή.....	99
4.4.2	Οι μέθοδοι ανάγνωσης των διευθύνσεων .....	105
4.4.3	Οι μέθοδοι μέτρησης μηκών .....	109
4.4.3.1	Σταθερά γεωδαιτικού σταθμού .....	113
4.4.4	Ανακλαστήρες.....	114
4.4.4.1	Σταθερά ανακλαστήρα .....	117
4.4.5	Όργανα μέτρησης μηκών χωρίς ανακλαστήρα (Reflectorless).....	117
4.4.6	Ειδικές λειτουργίες των γεωδαιτικών σταθμών.....	121
4.5	Όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών .....	128
4.5.1	Χωροβάτες.....	128
4.5.1.1	Περιγραφή .....	128
4.5.1.2	Η μέθοδος ανάγνωσης της μέτρησης με ψηφιακούς χωροβάτες.....	131



4.5.2 Χωροβάτες laser .....	134
4.5.3 Χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες.....	135
4.5.4 Χωροσταθμικές βάσεις.....	137
4.6 Όργανα δορυφορικού εντοπισμού .....	137
4.7 Όργανα σάρωσης επιφανειών .....	142

## Κεφάλαιο 5

### Επίγειες Μετρήσεις

5.1 Γενικά.....	149
5.2 Μετρήσεις γωνιών .....	153
5.2.1 Μετρήσεις οριζόντιων γωνιών.....	153
5.2.1.1 Διαδικασία μέτρησης .....	156
5.2.1.2 Υπολογισμός της τιμής οριζόντιας γωνίας.....	160
5.2.2 Μετρήσεις κατακόρυφων γωνιών .....	163
5.2.2.1 Υπολογισμός της τιμής ζενίθιας γωνίας .....	165
5.2.3 Αβεβαιότητα μέτρησης γωνιών .....	167
5.3 Μετρήσεις μηκών.....	170
5.3.1 Μετρήσεις με μετροταινία .....	170
5.3.2 Μετρήσεις με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό.....	171
5.3.3 Αβεβαιότητα μέτρησης μηκών.....	173
5.3.4 Διορθώσεις μετρούμενων μηκών .....	173
5.3.4.1 Διόρθωση για καμπυλότητα των οπτικών ακτίνων.....	174
5.3.4.2 Διόρθωση για κλίση .....	175
5.3.4.3 Αναγωγή στη χορδή του ελλειψοειδούς (μσθ).....	176
5.3.4.4 Αναγωγή σε τόξο ελλειψοειδούς .....	178
5.3.4.5 Αναγωγή λόγω χαρτογραφικής προβολής .....	179
5.3.4.6 Ειδική γεωμετρική αναγωγή.....	181
5.4 Μετρήσεις υψομετρικών διαφορών .....	182
5.4.1 Γεωμετρική χωροστάθμηση.....	183
5.4.1.1 Σφάλματα .....	188
5.4.1.2 Αβεβαιότητα προσδιορισμού .....	192
5.4.1.3 Εφαρμογές.....	193
5.4.2 Τριγωνομετρική Υψομετρία.....	195
5.4.2.1 Μέτρηση ύψους οργάνου και στόχου .....	198
5.4.2.2 Σφάλματα .....	201
5.4.2.3 Ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης κ.....	202
5.4.2.4 Αβεβαιότητα .....	204
5.4.2.5 Εφαρμογές.....	205
5.4.3 Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (ΕΤΥ) .....	206

5.4.3.1	Αβεβαιότητα.....	211
5.4.3.2	Εφαρμογές .....	212
5.4.4	Τριγωνομετρική Υψομετρία Ακριβείας (ΤΡΥΑ).....	214
5.4.4.1	Αβεβαιότητα.....	219
5.4.4.2	Εφαρμογές .....	220

## Κεφάλαιο 6

### Δορυφορικός Εντοπισμός

6.1	Γενικά .....	225
6.2	Βασικές αρχές.....	226
6.3	Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού.....	229
6.3.1	Το σύστημα GPS.....	229
6.3.2	Το σύστημα GLONASS .....	231
6.3.3	Το σύστημα GALILEO .....	231
6.4	Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού .....	232
6.5	Μετρήσεις .....	234
6.5.1	Μέτρηση ψευδοαπόστασης .....	234
6.5.2	Μέτρηση συνεχούς φάσης του φέροντος κύματος .....	235
6.6	Προσδιορισμός βάσης.....	236
6.6.1	Μέτρηση του ύψους της κεραίας .....	242
6.7	Σφάλμα προσδιορισμού θέσης.....	245
6.7.1	Οι παράμετροι DOP.....	247
6.8	Ο προσδιορισμός του υψομέτρου.....	249
6.9	Εφαρμογές .....	250
6.10	Επισημάνσεις.....	250
6.11	Το Ελληνικό σύστημα εντοπισμού (HEPOS).....	252

## Κεφάλαιο 7

### Βασικοί Υπολογισμοί

7.1	Γενικά .....	259
7.2	Τα τρία θεμελιώδη προβλήματα .....	260
7.2.1	1° Θεμελιώδες πρόβλημα .....	260
7.2.2	2° Θεμελιώδες πρόβλημα .....	261
7.2.3	3° Θεμελιώδες πρόβλημα .....	263
7.2.4	Εφαρμογές .....	264
7.3	Μετασχηματισμοί ορθογώνιων καρτεσιανών συντεταγμένων .....	267

7.3.1	Μετάθεση της αρχής του συστήματος.....	267
7.3.2	Αλλαγή της κλίμακας.....	267
7.3.3	Στροφή των αξόνων.....	269
7.3.4	Γενική περίπτωση.....	270
7.3.5	Οι παράμετροι του μετασχηματισμού.....	272
7.3.5.1	Προσδιορισμός των παραμέτρων του μετασχηματισμού.....	272
7.4	Υπολογισμός του υψομέτρου.....	273
7.5	Υπολογισμός εμβαδών.....	274
7.5.1	Ανάλυση σε βασικά γεωμετρικά σχήματα.....	274
7.5.2	Εμβαδά από τις συντεταγμένες των σημείων.....	275
7.6	Υπολογισμός όγκων.....	278
7.6.1	Εφαρμογή.....	281

## Κεφάλαιο 8

### Ίδρυση και Πύκνωση Δικτύων

8.1	Γενικά.....	287
8.2	Υλοποίηση – σήμανση των κορυφών των δικτύων.....	288
8.3	Πύκνωση δικτύων με επίγειες μετρήσεις.....	292
8.3.1	Εμπροσθοτομία.....	292
8.3.1.1	Αρχή της μεθόδου.....	293
8.3.1.2	Εμπροσθοτομία με γωνίες.....	293
8.3.1.3	Εμπροσθοτομία με αποστάσεις.....	294
8.3.1.4	Υπολογισμοί.....	295
8.3.1.5	Αβεβαιότητα προσδιορισμού.....	296
8.3.2	Οπισθοτομία.....	297
8.3.2.1	Οπισθοτομία με γωνίες.....	297
8.3.2.2	Οπισθοτομία με αποστάσεις.....	302
8.3.2.3	Αβεβαιότητα προσδιορισμού.....	304
8.3.2.4	Ελεύθερη στάση (Free Station).....	304
8.3.3	Πολυγωνομετρία.....	306
8.3.3.1	Είδη πολυγωνικών οδεύσεων.....	307
8.3.3.2	Μετρήσεις.....	311
8.3.3.3	Υπολογισμοί.....	314
8.3.3.4	Επίλυση ανοικτής πλήρως εξαρτημένης όδευσης.....	317
8.3.3.5	Επίλυση κλειστής εξαρτημένης όδευσης.....	322
8.3.3.6	Επίλυση ανοικτής εξαρτημένης από το ένα άκρο όδευσης.....	327
8.3.3.7	Υψομετρική επίλυση όδευσης.....	329
8.3.3.8	Επισημάνσεις.....	334
8.3.4	Τριγωνισμός.....	336

8.4 Πύκνωση δικτύων με δορυφορικό εντοπισμό.....	338
8.5 Πύκνωση υψομετρικών δικτύων .....	342

## Κεφάλαιο 9

### Αποτυπώσεις

9.1 Γενικά .....	347
9.2 Εργασίες πεδίου .....	347
9.2.1 Αναγνώριση της περιοχής.....	348
9.2.2 Αυτοσχέδιο πεδίου .....	348
9.2.3 Ένταξη της αποτύπωσης.....	349
9.2.4 Εγκατάσταση – Μέτρηση δικτύου.....	351
9.2.5 Μετρήσεις σημείων λεπτομέρειας.....	351
9.2.5.1 Μέθοδος των πολικών συντεταγμένων .....	352
9.2.5.2 Μέθοδος εμπροσθοτομίας στο χώρο.....	354
9.2.5.3 Δορυφορικός εντοπισμός .....	356
9.3 Εργασίες γραφείου .....	358
9.3.1 Υπολογισμοί.....	358
9.3.2 Ψηφιακή σχεδίαση.....	361
9.3.3 Απεικόνιση του υψομέτρου.....	363
9.3.4 Μηκοτομές – Διατομές.....	367
9.3.5 Εκτύπωση .....	369
9.4 Έλεγχος του διαγράμματος .....	371
9.5 Είδη τοπογραφικών διαγραμμάτων.....	372
9.6 Βασικές αρχές σύνταξης τοπογραφικών διαγραμμάτων .....	373

## Κεφάλαιο 10

### Γεωμετρική Τεκμηρίωση Κατασκευών

10.1 Γενικά .....	381
10.2 Προδιαγραφές .....	383
10.3 Διαδικασία τεκμηρίωσης .....	383
10.3.1 Αναγνώριση – Φωτογραφική τεκμηρίωση.....	384
10.3.2 Αυτοσχέδιο πεδίου .....	385
10.3.3 Ίδρυση και μέτρηση γεωδαιτικού δικτύου.....	385
10.3.4 Γενική αποτύπωση .....	389
10.3.5 Αποτύπωση σημείων λεπτομέρειας.....	390
10.3.5.1 Υλοποίηση οριζόντιων τομών .....	391

10.3.5.2 Υλοποίηση κατακόρυφων τομών .....	393
10.3.6 Υπολογισμοί .....	395
10.3.7 Σύνταξη διαγραμμάτων .....	400
10.3.8 Έλεγχος διαγραμμάτων .....	402
10.4 Επισημάνσεις .....	403
10.5 Εφαρμογές.....	404
10.5.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση προκατασκευασμένου κτηρίου .....	404
10.5.2 Γεωμετρική τεκμηρίωση παραδοσιακού ελαιοτριβείου .....	409
10.5.3 Γεωμετρική τεκμηρίωση βραχώδους πρανούς .....	413
10.5.4 Γεωμετρική τεκμηρίωση Βυζαντινού ναού .....	417

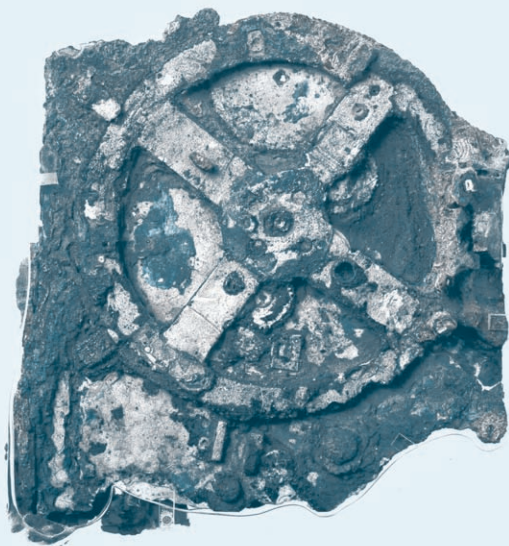
## Κεφάλαιο 11

### Χαράξεις

11.1 Γενικά.....	423
11.2 Λήψη συντεταγμένων.....	423
11.2.1 Λήψη συντεταγμένων από αναλογικό διάγραμμα .....	426
11.2.2 Λήψη του υψομέτρου .....	429
11.3 Χάραξη σημείων .....	429
11.3.1 Υπολογισμός στοιχείων για τη χάραξη με επίγεια όργανα .....	430
11.3.1.1 Οριζοντιογραφικά .....	430
11.3.1.2 Υψομετρικά.....	432
11.4 Τεχνική διαδικασία χάραξης.....	436
11.4.1 Χάραξη με χρήση χωροβάτη .....	437
11.4.2 Χάραξη με χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού .....	438
11.4.3 Χάραξη με χρήση δεκτών του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού.....	441
11.5 Έλεγχος χάραξης .....	442
11.6 Αβεβαιότητα χάραξης.....	443
<i>Βιβλιογραφία.....</i>	<i>445</i>
<i>Ηλεκτρονική βιβλιογραφία.....</i>	<i>450</i>
<i>Ευρετήριο όρων .....</i>	<i>451</i>

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### Εισαγωγή



## Περιεχόμενα 1<sup>ου</sup> κεφαλαίου

1.1	Γενικά.....	3
1.2	Ιστορικά στοιχεία.....	5
1.3	Αντικείμενα της Γεωδαισίας.....	12
1.4	Βασικοί ορισμοί.....	15
1.5	Μονάδες μέτρησης .....	17
1.5.1	Μονάδες μέτρησης μηκών .....	18
1.5.2	Μονάδες μέτρησης γωνιών.....	18
1.5.3	Άλλες μονάδες μέτρησης.....	20

## 1.1 Γενικά

Η λέξη Γεωδαισία προέρχεται από το ουσιαστικό *Γή* και το αρχαίο ρήμα μέσου χρόνου *Δαίομαι* που σημαίνει μοιράζω, διαιρώ

δηλαδή  $\text{“Γή} + \text{Δαίομαι} = \text{μοιράζω τη Γή”}$

Η γεωδαισία είναι η επιστήμη που έχει ως κύριο αντικείμενο τον ακριβή προσδιορισμό του σχήματος, του μεγέθους και του πεδίου βαρύτητας της Γης καθώς και τις μεταβολές τους στο χρόνο.

Ο ακριβής προσδιορισμός του γεωειδούς αποτελεί επίσης ένα από τα κύρια αντικείμενα της γεωδαισίας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικός, ειδικά σήμερα με την ίδρυση και τη χρήση τριδιάστατων ηπειρωτικών και παγκόσμιων συστημάτων αναφοράς και των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού.

Η γεωδαισία σχετίζεται με άλλες επιστήμες όπως είναι η αστρονομία, η χαρτογραφία, η γεωφυσική.

Πρωταρχικός σκοπός της είναι να παρέχει ένα αξιόπιστο πλαίσιο αναφοράς για την εκτέλεση και τον έλεγχο όλων των γεωδαιτικών εργασιών.

Οι εργασίες αυτές περιλαμβάνουν μετρήσεις και υπολογισμούς. Σήμερα στις μετρήσεις χρησιμοποιούνται σύγχρονα ψηφιακά όργανα όπως είναι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, οι ψηφιακοί χωροβάτες, οι δέκτες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού, οι σαρωτές laser, κ.ά.. Όλο και σπανιότερα πλέον χρησιμοποιούνται οπτικομηχανικά όργανα (θεοδόλιχα, χωροβάτες).

Πραγματοποιούνται μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών, μηκών, υψομετρικών διαφορών, του μέτρου και της διεύθυνσης του διανύσματος της βαρύτητας και του χρόνου.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις επίγειες μετρήσεις γωνιών είναι τα θεοδόλιχα (οπτικομηχανικά ή ψηφιακά), ενώ σπανιότερα και σε ειδικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται τα γυροσκοπικά και τα μαγνητικά θεοδόλιχα. Για τις μετρήσεις μηκών χρησιμοποιούνται απλές μετροταινίες (για μικρά μήκη) και όργανα μέτρησης μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EDM).

Σήμερα το ψηφιακό θεοδόλιχο και το EDM έχουν ενσωματωθεί σε ένα όργανο και αποτελούν τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (Total station).

Για τις μετρήσεις υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιούνται κυρίως οι χωροβάτες (οπτικομηχανικοί ή ψηφιακοί) καθώς και οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται.

Ο προσδιορισμός του μέτρου του διανύσματος της βαρύτητας γίνεται χρησιμοποιώντας τα βαρυτήμετρα.

Τέλος η ακριβής μέτρηση του χρόνου είναι απαραίτητη για τις μετρήσεις μηκών, για τον δορυφορικό εντοπισμό αλλά και στην περίπτωση των αστρογεω-



δαιτικών παρατηρήσεων με τις οποίες προσδιορίζεται έμμεσα η μορφή του γεωειδούς.

Οι μετρήσεις των βασικών αυτών μεγεθών είναι απαραίτητες για τον προσδιορισμό της θέσης σημείων που βρίσκονται πάνω στη Φυσική Γήινη Επιφάνεια (ΦΓΕ). Ορισμένα από τα σημεία αυτά υλοποιούν τα γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής, τα οποία μπορεί να είναι:

- *τετραδιάστατα*, όπου για κάθε σημείο είναι γνωστή η θέση του σε τρεις διαστάσεις σε συγκεκριμένο χρόνο.
- *τριδιάστατα*, όπου για κάθε σημείο είναι γνωστή η θέση του σε τρεις διαστάσεις
- *οριζόντια ή δυδιάστατα*, όπου για κάθε σημείο είναι γνωστή η θέση του σε δύο διαστάσεις και
- *υψομετρικά ή κατακόρυφα*, όπου για κάθε σημείο είναι γνωστή μόνο η μια διάσταση, το υψόμετρο.

Χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως ο τριγωνισμός, η πολυγωνομετρία, η υψομετρία και ο δορυφορικός εντοπισμός είναι δυνατή η δημιουργία των γεωδαιτικών δικτύων υποδομής. Σ' αυτά στηρίζονται όλες οι γεωδαιτικές εργασίες, που αποβλέπουν στον προσδιορισμό του σχήματος, των διαστάσεων και της θέσης μεγάλων ή μικρών τμημάτων της ΦΓΕ.

Τα γεωδαιτικά δίκτυα υποδομής συνήθως είναι ενταγμένα, δηλαδή υλοποιούν κάποιο συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς (κρατικό ή παγκόσμιο) ή μπορεί να είναι αυθαίρετα.

Βοηθούν στη δημιουργία τοπογραφικών διαγραμμάτων μικρών ή μεγάλων τμημάτων της ΦΓΕ, στη δημιουργία χαρτών και στην κατασκευή μεγάλων ή μικρών τεχνικών έργων.

Αποτελούν το υπόβαθρο για τον έλεγχο των μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης, των κατασκευών ή των τεχνικών έργων. Τέλος είναι σημαντική η συμβολή τους στον προσδιορισμό του γήινου πεδίου βαρύτητας αλλά και του σχήματος, του μεγέθους της γης και της σχετικής θέσης ουρανίων σωμάτων.

Οι γεωδαιτικές εργασίες αναπτύσσονται σε δύο στάδια.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή των στοιχείων - μετρήσεων (εργασία υπαίθρου) ενώ στο δεύτερο στάδιο αναπτύσσονται όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί και η δημιουργία του τελικού παραγώγου (εργασία γραφείου).

Ενδεικτικά ορισμένα από τα παράγωγα των εργασιών αυτών είναι:

- ο υπολογισμός συντεταγμένων σημείων,
- η απεικόνιση τμήματος της ΦΓΕ, τεχνικών έργων, κατασκευών, σε ένα ψηφιακό διάγραμμα και η εκτύπωσή του στην επιθυμητή κλίμακα,
- η χάραξη τεχνικών έργων και κατασκευών με την επιθυμητή αβεβαιότητα,
- η δημιουργία γεωγραφικών βάσεων πληροφοριών.

## 1.2 Ιστορικά στοιχεία

Η Γεωδαισία αναπτύχθηκε ως επιστήμη αρχικά για να καλύψει τις ανάγκες καταμέτρησης ιδιοκτησιών. Με το πέρασμα του χρόνου όμως διευρύνθηκαν τα πεδία δράσης της σε θεωρητικό αλλά και σε πρακτικό επίπεδο.

Το αρχαιότερο γραπτό κείμενο σχετικά με τη γεωδαισία, ανήκει στον Ηρόδοτο. Εκεί αναφέρεται ότι ο βασιλιάς της Αιγύπτου Ραμής Β' (γνωστός και ως Σέσωτρις), γύρω στο 1400 π.Χ., κάνει αναδασμό και μοιράζει τη γη σε γεωργούς δίνοντας στον καθένα ένα τετράγωνο κλήρο για τον οποίο θα πληρώνει φόρο. Με την άνοδο της στάθμης του ποταμού Νείλου πολλά τμήματα που φαίνονταν πριν, γίνονταν αφανή. Τότε ο βασιλιάς έστελνε ανθρώπους που εξέταζαν και μετρούσαν τα τμήματα που απέμεναν. Η μέτρηση γινόταν άλλοτε με το επονομαζόμενο σχοινίο, άλλοτε με την κάλαμο και άλλοτε με άλλα μέτρα.

Ενδείξεις εφαρμογής τοπογραφικών μεθόδων για την οριοθέτηση των ιδιοκτησιών, που χρονολογούνται από το 1400 π.Χ., έχουν βρεθεί και στη Μεσοποταμία, στην περιοχή που περικλείεται από τους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη. Πήλινες πινακίδες των Σουμερίων φέρουν καταγραφές μέτρησης γαιών καθώς και σχέδια πόλεων και παρακείμενων γεωργικών περιοχών.

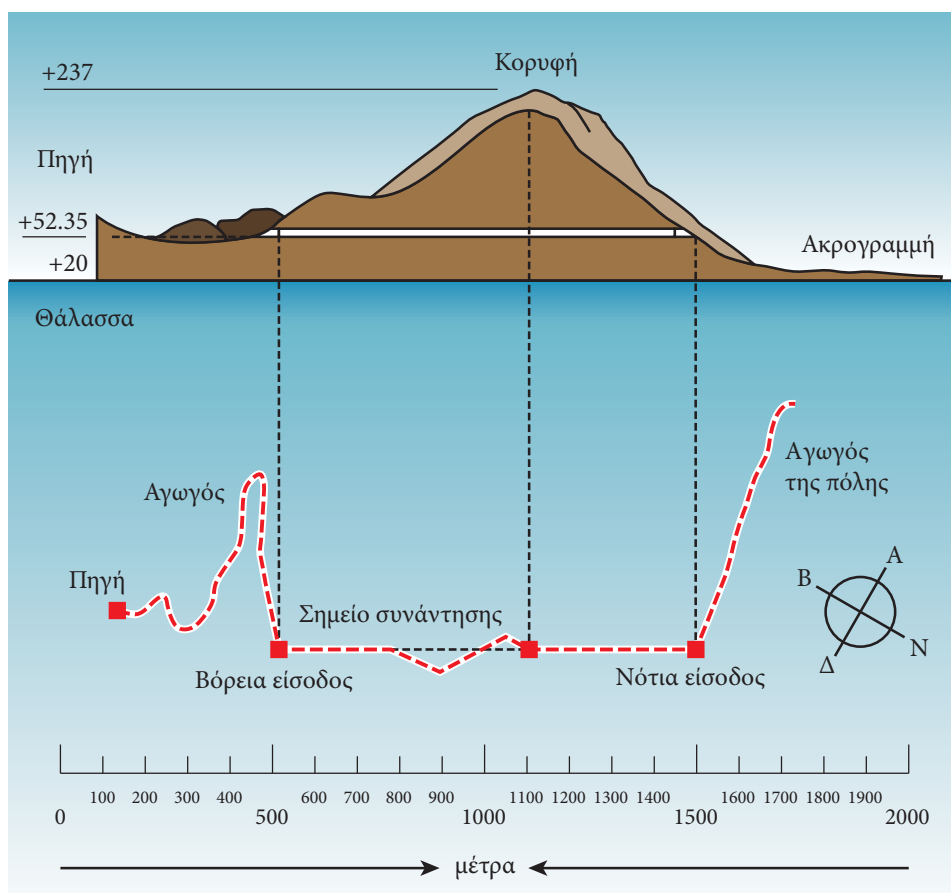
Αργότερα πολλοί αρχαίοι Έλληνες προσπάθησαν να προσδιορίσουν το σχήμα και το μέγεθος της Γης.

Οι πρώτες αναφορές συναντώνται την εποχή του Ομήρου (900 - 800 π.Χ.), ο οποίος πίστευε ότι η Γη είναι ένας κυρτός δίσκος ο οποίος περιβάλλεται από ωκεανούς.

Ο *Θαλής ο Μιλήσιος* (624-547 π.Χ.) θεωρούσε τη Γη στρόγγυλο δίσκο τον οποίο περιέβρεχε ωκεανός.

Ο *Αναξίμανδρος ο Μιλήσιος* (611-545 π.Χ.), πίστευε ότι η Γη είναι κυλινδρική με άξονα περιστροφής προσανατολισμένο στη διεύθυνση ανατολή - δύση και μήκος τρεις φορές μικρότερο από τη διάμετρο του κυλίνδρου. Είναι ο ιδρυτής της ελληνικής αστρονομίας και φυσικής φιλοσοφίας, κατασκεύασε τον πρώτο χάρτη του τότε γνωστού κόσμου και προσδιόρισε την περίμετρο της ξηράς και της θάλασσας.

Αργότερα ο *Ευπαλίνος ο Μεγαρέας* (550 π.Χ.) πραγματοποίησε τη χάραξη του υδραγωγείου στη Σάμο (Ευπαλίνειο όρυγμα). Το Ευπαλίνειο όρυγμα αποτελεί μνημείο για την ολοκληρωμένη εφαρμογή της γεωμετρίας, της γεωδαισίας και της οπτικής στην αρχαία Ελλάδα. Το όρυγμα αυτό είναι ένα σημαντικό σε μέγεθος έργο που κατασκευάστηκε στη Σάμο για την υδροδότηση της αρχαίας πόλης του Πυθαγορείου από μία πηγή, η οποία βρισκόταν περίπου 2.5 Km μακριά από την πόλη πίσω από το όρος Κάστρο.



**Σχήμα 1.1:** Διάγραμμα καταμήκος τομής και οριζοντιογραφίας του Ευπαλίνειου ορύγματος

Ο Ευπαλίνος κατόρθωσε να διανοίξει έναν αγωγό ύδρευσης διαμέσου του όρους Άμπελος. Το υδραυλικό έργο που ανέλαβε είχε συνολικό μήκος 1800 m και αποτελείτο από δύο τμήματα (σχήμα 1.1):

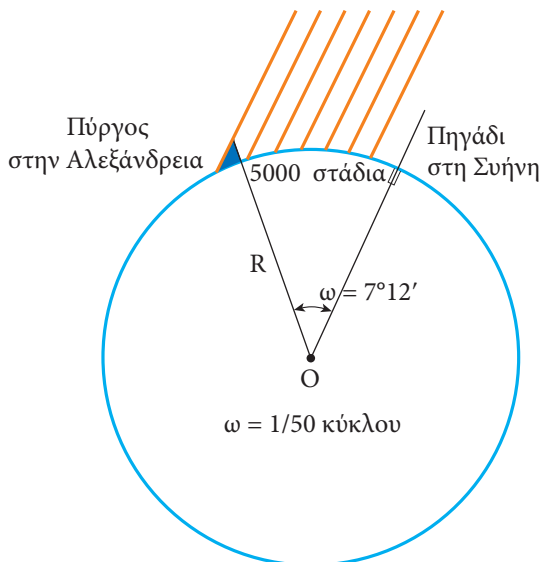
- το επιφανειακό (ή εξωτερικό) που ξεκινούσε από την πηγή που σήμερα είναι ενσωματωμένη στην εκκλησία Αγιάδες. Αυτό περιελάμβανε ένα σύστημα αγωγού και κάθετων ορυγμάτων για τον καθαρισμό του νερού, το οποίο οδηγούσε στη βόρεια είσοδο της σήραγγας και
- την κυρίως σήραγγα, μήκους 1036 m και διατομής 1.80 m × 1.80 m περίπου, η οποία διανοίχτηκε μέσα στο όρος Άμπελος και ήταν το σημαντικότερο τμήμα του αγωγού.

Η διάνοιξη της σήραγγας ξεκίνησε ταυτόχρονα από δύο αντιδιαμετρικές θέσεις του βουνού (μέτωπα) και οι δύο ομάδες εργατών χρειάστηκαν περίπου 10 χρόνια για να ολοκληρώσουν το δύσκολο έργο τους. Οι δύο ομάδες συναντήθηκαν με ελάχιστη απόκλιση, παρόλο που η βόρεια ομάδα υποχρεώθηκε να αποκλίνει από την ευθεία γραμμή, λόγω της σαθρότητας των πετρωμάτων σε κάποιο σημείο. Συνέχισε διαγράφοντας τεθλασμένη γραμμή (σχήμα 1.1) για να αποφύγει το επικίνδυνο σημείο και επέστρεψε στην νοητή ευθεία όπου συναντήθηκε με την νότια ομάδα με απόκλιση μόλις 0.6 m.

Ο Πυθαγόρας (582-507 π.Χ.) διατύπωσε πρώτος τη θεωρία για τη σφαιρικότητα της Γης.

Ο Ερατοσθένης (276-194 π.Χ.) δίκαια θεωρείται ο πατέρας της γεωδαισίας αφού χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τους όρους γεωγραφία, γεωγραφικό πλάτος και μήκος, και δημιούργησε χάρτη με μεσημβρινούς και παράλληλους από τη χερσόνησο του Γιβραλτάρ μέχρι τον ποταμό Γάγγη. Απέδειξε μαθηματικά τη σφαιρικότητα της Γης και υπολόγισε την ακτίνα της, ως εξής:

Παρατήρησε ότι κατά το θερινό ηλιοστάσιο, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα σε ένα πηγάδι της Σιώνης (σημερινό Ασσουάν). Την ίδια ημέρα στην Αλεξάνδρεια, που βρίσκεται στον ίδιο περίπου μεσημβρινό με τη Σιώνη, υπολόγισε ότι οι ακτίνες του ήλιου που προσπίπτουν σε ένα πύργο, σχηματίζουν γωνία  $7^\circ 12'$  (σχήμα 1.2).



**Σχήμα 1.2:** Σχηματική παράσταση του προσδιορισμού της ακτίνας της Γης, σύμφωνα με τον Ερατοσθένη

Από Αιγυπτιακούς κτηματολογικούς χάρτες εκτίμησε την απόσταση μεταξύ των δύο πόλεων, ίση με 5000 στάδια. Έτσι προσδιόρισε την ακτίνα της Γης ίση με 6267 Km (αν χρησιμοποίησε το Αιγυπτιακό στάδιο ως μονάδα μέτρησης της απόστασης  $\approx 157.7$  m) ή ίση με 7380 Km (αν χρησιμοποίησε το Αττικό στάδιο ως μονάδα μέτρησης της απόστασης  $\approx 185$  m). Οι τιμές αυτές αποκλίνουν μόλις -2% και +15.8% από τη μέση ακτίνα καμπυλότητας της γης, που είναι ίση με 6371 Km.

Γύρω στα 120 π.Χ. ο *Ήρωνας ο Αλεξανδρέας* ασχολήθηκε με πιο εφαρμοσμένα θέματα και έγραψε συγγράμματα στα οποία περιλαμβάνεται και η κατασκευή του πρώτου γεωδαιτικού οργάνου, της διόπτρας.

Η διόπτρα (εικ. 1.1), πρόδρομος του θεοδολίχου, μετρούσε οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, χρησιμοποιώντας μια μηχανική σκοπευτική διάταξη.



*Εικόνα 1.1: Η διόπτρα*

Σημαντική ήταν και η προσφορά του *Ποσειδώνιου του Απαμέα* (135 π.Χ. - 51 π.Χ.), ο οποίος ασχολήθηκε με μετρήσεις των διαστάσεων της Γης και κατασκεύασε την υδρόγειο σφαίρα.

Η σημαντικότερη ίσως κατασκευή, ο *μηχανισμός των Αντικυθήρων* (εικ. 1.2), ανακαλύφθηκε το 1900 μ.Χ. σε βάθος 40 m - 64 m σε ναυάγιο, από Συμιακούς σφουγγαράδες, ανοικτά των Αντικυθήρων μεταξύ των Κυθήρων και της Κρήτης.

Από τη μορφή των ελληνικών επιγραφών που φέρει χρονολογείται μεταξύ των ετών 150 π.Χ. και 100 π.Χ., αρκετά πριν από την ημερομηνία του ναυαγίου, το οποίο ενδέχεται να συνέβη περίπου το 87 π.Χ.

Είναι ένα εξαιρετο αποτέλεσμα εφαρμογής των μαθηματικών, της γεωμετρίας, της αστρονομίας και της μηχανικής. Η πολυπλοκότητα, η καταπληκτική ακρίβεια της κατασκευής του αλλά και το πλήθος των υπολογισμών που μπορεί να εκτελέσει αποδεικνύει ότι είναι ένας μηχανισμός προϊόν εξέλιξης και βαθιάς γνώσης των παραπάνω επιστημών. Πιθανόν η κατασκευή του να βασίστηκε σε κάποιο παλαιότερο μηχανισμό, από κάποιο εργαστήριο που κατασκεύαζε παρόμοιους μηχανισμούς. Η μεγάλη ακρίβεια στην κοπή των γραναζιών υποδηλώνει τις υψηλές δυνατότητες της μεταλλοτεχνίας του 1<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα.

Ήταν ένα αστρονομικό όργανο μεγάλης αξίας (όπως αποδείχθηκε μετά από 25 χρόνια μελέτης του καθηγητή Derek de Solla Price). Ένα σύνολο από 30 διαφορετικά γρανάζια έδινε πληροφορίες για τις κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των πλανητών στον Ζωδιακό κύκλο και είναι ο πρώτος υπολογιστής στην παγκόσμια ιστορία. Με τη βοήθειά του ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης πάνω στη γη (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) αλλά και ο υπολογισμός του ημερολογίου.

Αργότερα, στη διάρκεια του μεσαίωνα (476 μ.Χ. - 1453 μ.Χ.), η γεωδαισία δέχτηκε την επίδραση της έντονης θρησκοληψίας και παρέμεινε στάσιμη.

Το 1525 μ.Χ. ο γάλλος αστρονόμος *Fernel*, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Ερατοσθένη, υπολόγισε ένα μεσημβρινό τόξο μετρώντας των αριθμό των περιστροφών των τροχών μιας άμαξας κατά το ταξίδι της από το Παρίσι έως την Αμιένη (βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό). Μέτρησε τη γωνία ύψους του ήλιου, στο Παρίσι στις 25 Αυγούστου και στο τέλος του ταξιδιού του στις 29 του ίδιου μήνα, με παραλλακτικό κανόνα που είχε κατασκευαστεί και βαθμονομηθεί από τον Κοπέρνικο. Έτσι προσδιόρισε την αντίστοιχη γεωκεντρική γωνία, ως διαφορά των μεσημβρινών υψών του ήλιου. Προσδιόρισε την ακτίνα της γης με απόκλιση +0.1% από τη μέση ακτίνα καμπυλότητας.

Νέοι ορίζοντες άρχισαν να ανοίγονται κατά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα με την εφεύρεση του τηλεσκοπίου, την επινόηση των λογαρίθμων και τη σύνταξη των λογαριθμικών πινάκων από τον Napier. Παράλληλα άρχισε να χρησιμοποιείται και η αεροστάθμη στα γεωδαιτικά όργανα (είχε επινοηθεί από τον Γάλλο *Thevenot* περί το 1600 μ.Χ.).

Το 1730 μ.Χ. ο Άγγλος μηχανικός *Sisson* κατασκεύασε το πρώτο γωνιομετρικό όργανο στο οποίο έδωσε το όνομα "*Theodolitus*" (εικ. 1.3). Η λειτουργία του βασιζόταν στην αρχή λειτουργίας της διόπτρας. Η λέξη είναι ελληνική και προέρχεται από το ρήμα "*θεώμαι*" (παρατηρώ, εξετάζω με προσοχή) και το επίθετο "*δολιχόν*" (μακρύ, επίμηκες).



**Εικόνα 1.2:**  
Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων

Στα επόμενα χρόνια (18<sup>ος</sup>, 19<sup>ος</sup> αιώνας) η εξέλιξη της γεωδαισίας είναι μεγάλη. Συνοδεύεται από τη δημιουργία χαρτών για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς αλλά και για την οριοθέτηση των συνόρων των κρατών. Την ίδια περίοδο δημιουργούνται κυρίως στην Ευρώπη αλλά και στην Αμερική γεωδαιτικές χαρτογραφικές υπηρεσίες, για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα προσδιορισμού της ακριβούς θέσης σημείων της ΦΓΕ.



*Εικόνα 1.3: Το θεοδόλιχο Sisson*

Αμέσως μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο αρχίζουν να χρησιμοποιούνται τα πρώτα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών τα EDM. Έτσι ενισχύονται κατά πολύ οι μετρήσεις των γεωδαιτικών δικτύων, που στηρίζονταν μέχρι τότε κυρίως σε μετρήσεις γωνιών και υψομετρικών διαφορών.

Περί το 1970, πραγματοποιείται η κατασκευή ψηφιακών θεοδολίχων και λίγο αργότερα η ενσωμάτωση των EDM στο ψηφιακό θεοδόλιχο. Έτσι επιτυγχάνεται η μέτρηση γωνιών και μηκών με μια συσκευή.

Σύντομα, το 1990, ενσωματώνεται στη συσκευή αυτή και ένας μικροϋπολογιστής, που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επικοινωνεί με το όργανο αλλά και τη δυνατότητα της ταυτόχρονης ψηφιακής ανάγνωσης της διεύθυνσης, της μέτρησης του μήκους και της ηλεκτρονικής καταγραφής τους (total station). Τότε περίπου κατασκευάζεται και το πρώτο όργανο που μετρά μήκος χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Από τότε και μέχρι σήμερα η εξέλιξη αυτών των οργάνων με την παράλληλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι αλματώδης. Η βελτίωσή τους αφορά τόσο στη μείωση του βάρους, του όγκου και του κόστους τους, αλλά και στην αύξηση του βεληνεκούς τους και της αβεβαιότητας της μέτρησης.

Από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα κατασκευάζονται ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (Total stations) που έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του μήκους με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Τέλος αξιοσημείωτη είναι η πληθώρα των ειδικών δυνατοτήτων που παρέχουν σήμερα οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί.



Παράλληλα από το 1957 αρχίζει να αναπτύσσεται η γεωδαισία δορυφόρων, με την εκτόξευση του πρώτου τεχνητού γεωδαιτικού δορυφόρου (Sputnik 1) από τη Ρωσία. Οι παρατηρήσεις προς τους δορυφόρους γίνονταν αρχικά χρησιμοποιώντας φωτογραφικά τηλεσκόπια και συστήματα τηλεμετρίας laser. Ταυτόχρονα εξελίσσονται και τα συστήματα γεωδαισίας δορυφόρων που βασίζονται στο φαινόμενο Doppler.

Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί το αμερικανικό παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GPS, ενώ αναπτύσσονται και άλλα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού, όπως το ρωσικό GLONASS και το ευρωπαϊκό GALILEO, το οποίο βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο. Τα συστήματα αυτά συνεχώς εξελίσσονται σε πληρότητα, ευκολία χρήσης και παρεχόμενη ακρίβεια εντοπισμού.

Τα επίγεια όργανα - δέκτες του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού, λαμβάνουν κωδικοποιημένα σήματα, μετρούν με μικρή αβεβαιότητα το χρόνο και υπολογίζουν τις αποστάσεις τους από του δορυφόρους.

Τέλος σήμερα αδρανειακά συστήματα (Inertial Systems) αναπτύσσονται, συμπληρώνοντας το δορυφορικό εντοπισμό όπου δεν είναι δυνατή η λήψη του σήματος από τους δορυφόρους.

### 1.3 Αντικείμενα της Γεωδαισίας

Η συνεχής και γρήγορη εξέλιξη των οργάνων και των υπολογιστικών συστημάτων, παρέχει στην επιστήμη της γεωδαισίας τη δυνατότητα να διευρύνει συνεχώς τα αντικείμενα που “θεραπεύει”. Εξελίσσοντας τις μεθόδους και αναπτύσσοντας νέες μεθοδολογίες βελτιώνεται η αξιοπιστία (ακρίβεια και ορθότητα) των παραγώγων της αλλά και ο κόπος, ο χρόνος και το κόστος που απαιτείται για τη δημιουργία τους.

Το επιστημονικό μέρος της Γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό του γήινου πεδίου βαρύτητας ονομάζεται **φυσική γεωδαισία**.

Ο κλάδος της γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό θέσεων σημείων και διευθύνσεων στο χώρο, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις προς ουράνια σώματα (αστέρες) ονομάζεται **γεωδαιτική αστρονομία**. Κύριος σκοπός της γεωδαιτικής αστρονομίας είναι ο προσδιορισμός των αστρονομικών αζιμουθίων διευθύνσεων και των αστρονομικών συντεταγμένων σημείων, προκειμένου να προσδιοριστεί η απόκλιση της κατακορύφου και άρα η μορφή του γεωειδούς. Βασική επιφάνεια είναι το γεωειδές και βασική διεύθυνση, η διεύθυνση της κατακορύφου, ενώ είναι σημαντική και απαραίτητη η ακριβής μέτρηση του χρόνου.

Η **διαστημική γεωδαισία** περιλαμβάνει μετρήσεις αποστάσεων από τη γη με

ακτίνες laser προς σημεία της σελήνης όπου έχουν τοποθετηθεί ανακλαστήρες. Επίσης ασχολείται και με παρατηρήσεις, με κεραίες, των ραδιοκυμάτων που προέρχονται από εξωγαλαξιακές ραδιοπηγές, τα λεγόμενα quasar (VLBI ή συμβολομετρία πολύ μεγάλης βάσης).

Το επιστημονικό μέρος της γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς σε μεγάλα τμήματα της γης ή και σε ολόκληρη τη γη και που χρησιμοποιεί ως επιφάνεια αναφοράς το ελλειψοειδές ονομάζεται **ανώτερη γεωδαισία**. Βασικά αντικείμενα της ανώτερης γεωδαισίας είναι ο ακριβής ορισμός του ελλειψοειδούς αναφοράς, των συστημάτων αναφοράς, της απόκλισης της κατακορύφου σε κάθε σημείο της ΦΓΕ και της αποχής του γεωειδούς Ν.

Η ανάπτυξη και η χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού και των τεχνητών δορυφόρων σε επίγειες γεωδαιτικές εργασίες δημιούργησε τον κλάδο της **δορυφορικής γεωδαισίας**.

Η ανάπτυξη και η διαρκής εξέλιξη των δορυφορικών συστημάτων μέτρησης διευκολύνει και επιτρέπει:

- τη δημιουργία παγκόσμιων τετραδιάστατων ή τριδιάστατων γεωδαιτικών δικτύων
- τη δημιουργία κρατικών ή ηπειρωτικών δικτύων και τη συνένωσή τους.
- την παρακολούθηση της κίνησης του στερεού φλοιού της γης και των τεκτονικών πλακών.

Το επιστημονικό μέρος της γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο μετρήσεις και υπολογισμούς για τις αποτυπώσεις σε περιορισμένες εκτάσεις (μέχρι λίγες δεκάδες km<sup>2</sup>) της ΦΓΕ και που ως επιφάνεια αναφοράς χρησιμοποιείται το οριζόντιο επίπεδο έχει επικρατήσει να ονομάζεται **τοπογραφία**.

Η τοπογραφία κατέχει σημαντική θέση στη διαδικασία του σχεδιασμού, της υλοποίησης αλλά και της γεωμετρικής τεκμηρίωσης των τεχνικών έργων που κατασκευάζονται πάνω στη ΦΓΕ. Οι εργασίες αυτές επιβάλλεται να εκτελούνται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την κατασκευή ενός έργου με σκοπό:

- την τοποθέτησή του στο χώρο (χάραξη),
- την τεκμηρίωσή του (αποτύπωση),
- την παρακολούθηση της θέσης του και της κατάστασής του διαχρονικά (έλεγχος).

Τα διαγράμματα, που προκύπτουν από αυτές τις εργασίες, περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικές με τη μορφολογία του χώρου και των κατασκευών τη χρονική στιγμή που παράγονται. Η σύνταξή τους προϋποθέτει τη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων πεδίου και την εκτέλεση κατάλληλων υπολογισμών. Έτσι είναι δυνατή η απεικόνιση τμημάτων της ΦΓΕ σε ψηφιακή μορφή και η εκτύπωσή τους αν αυτό είναι επιθυμητό.

Σήμερα τόσο η χρήση των σύγχρονων επίγειων ψηφιακών οργάνων, που παρέχουν πολλαπλές δυνατότητες στη συλλογή μετρητικών δεδομένων και των οργάνων του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού όσο και η χρήση νέων μεθοδολογιών μέτρησης και υπολογισμών έχει διαφοροποιήσει και εξελίξει το αντικείμενο αυτό. Έτσι ο όρος **εφαρμοσμένη γεωδαισία** μάλλον ανταποκρίνεται ορθότερα στις παραπάνω δραστηριότητες.

Ο κλάδος της γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο της ορθής κατασκευής αλλά και τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων λόγω χρήσης και λειτουργίας βιομηχανικών παραγώγων ονομάζεται **βιομηχανική γεωδαισία**. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται μετρήσεις υψηλής ακρίβειας οι οποίες πραγματοποιούνται σε περιορισμένους, συνήθως εσωτερικούς, χώρους.

Τέλος ο κλάδος της γεωδαισίας που έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των οργάνων μέτρησης, που χρησιμοποιούνται σε όλους τους κλάδους της γεωδαισίας, ονομάζεται **γεωδαιτική μετρολογία**.

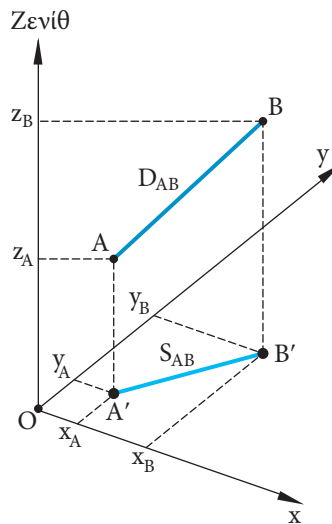
Ορισμένα από τα έργα - παράγωγα που άπτονται των κλάδων της γεωδαισίας, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι:

- Ο προσδιορισμός των διαστάσεων και του σχήματος της γης.
- Ο προσδιορισμός των παραμέτρων του παγκόσμιου αλλά και των τοπικών συστημάτων αναφοράς.
- Ο προσδιορισμός των παγκόσμιων και τοπικών μοντέλων ή χαρτών του γεωειδούς.
- Η ίδρυση δικτύων σημείων αναφοράς και ο προσδιορισμός των συντεταγμένων τους στις τρεις ή τέσσερις διαστάσεις.
- Η σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων μικρών εκτάσεων.
- Η σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων αναδασμού, αιγιαλού και παραλίας και κτηματολογίου.
- Η χάραξη έργων οδοποιίας (σήραγγες, οδοί), λιμενικών, υδραυλικών, σιδηροδρομικών.
- Η χάραξη τεχνικών έργων και κατασκευών (φράγματα, γέφυρες, στάδια, προκατασκευασμένα κτήρια, κ.ά.).
- Η γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευών (μνημείων, φυσικών πρανών, κ.ά.).
- Ο προσδιορισμός των μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης και των παραμορφώσεων σημαντικών κατασκευών (γέφυρες, φράγματα, στάδια, κτήρια, κ.ά.).
- Ο έλεγχος της γεωμετρίας βιομηχανικών προϊόντων.
- Η διακρίβωση των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης.

## 1.4 Βασικοί ορισμοί

Για την καλύτερη μελέτη του βιβλίου κρίνεται σκόπιμο και απαραίτητο στο σημείο αυτό να δοθούν οι ορισμοί βασικών εννοιών και μεγεθών.

**Απόσταση**  $S_{AB}$  ή οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σημείων  $A$  και  $B$ , είναι το μέτρο του διανύσματος  $\overline{A'B'}$ , όπου  $A'$  και  $B'$  είναι οι προβολές των  $A$  και  $B$  σ' ένα οριζόντιο επίπεδο, κατά την κατακόρυφο (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Μήκος και απόσταση μεταξύ σημείων

**Μήκος**  $D_{AB}$  μεταξύ δύο σημείων  $A$  και  $B$  είναι το μέτρο του διανύσματος  $\overline{AB}$  και εκφράζει την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ των δύο σημείων στον τρισδιάστατο χώρο (σχήμα 1.3).

**Εμβαδόν** ενός κλειστού πολυγώνου  $AB\Gamma\Delta \dots A$  είναι το εμβαδόν της προβολής του  $A'B'\Gamma'\Delta' \dots A'$  στην επιφάνεια αναφοράς. Ως επιφάνεια αναφοράς για τον υπολογισμό του εμβαδού στα έργα μηχανικού χρησιμοποιείται ένα οριζόντιο επίπεδο.

**Κατακόρυφος** είναι η ευθεία που έχει τη διεύθυνση του διανύσματος της βαρύτητας ( $g$ ) και είναι κάθετη στην επιφάνεια του γεωειδούς σε κάθε σημείο της  $\Phi\Gamma\epsilon$ . Η κατακόρυφος υλοποιείται με το νήμα της στάθμης.

**Κάθετος** είναι η ευθεία που είναι κάθετη στην επιφάνεια ενός ελλειψοειδούς αναφοράς σε κάθε σημείο του. Η ευθεία αυτή δεν μπορεί να υλοποιηθεί και δεν έχει φυσική σημασία.

**Οριζόντιο επίπεδο** είναι κάθε επίπεδο που είναι κάθετο στην κατακόρυφο που διέρχεται από κάποιο σημείο της ΦΓΕ και τέμνει την κατακόρυφο σε ένα σημείο. Από το σημείο αυτό περνά μια ισοδυναμική επιφάνεια, στην οποία εφάπτεται το οριζόντιο επίπεδο.

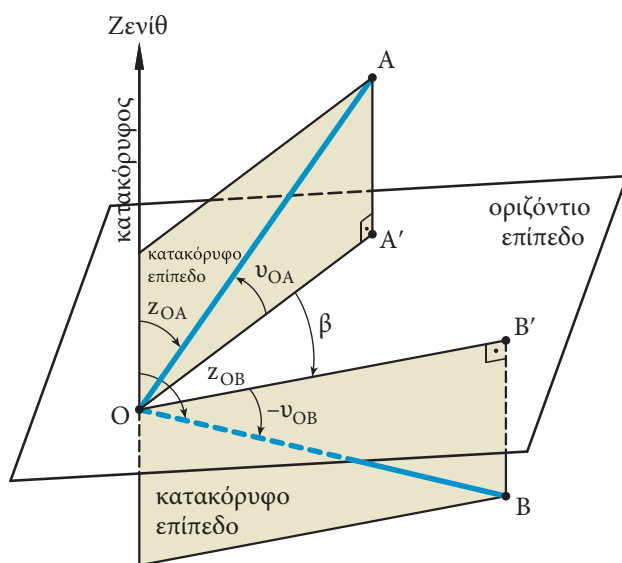
**Κατακόρυφο επίπεδο** είναι κάθε επίπεδο που περιέχει την κατακόρυφο σε κάποιο σημείο της ΦΓΕ.

**Οριζόντια γωνία** (γωνία θλάσης)  $AOB = \beta$ , είναι η διεδρη γωνία, που ορίζεται από τα δύο κατακόρυφα επίπεδα που περιέχουν την κατακόρυφο στο σημείο  $O$  (κορυφή) και τα σημεία  $A$  και  $B$  αντίστοιχα (σχήμα 1.4). Μετράται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, που είναι κάθετο στην κατακόρυφο και περνά από το σημείο  $O$ .

**Κατακόρυφη γωνία** είναι η γωνία που μετράται πάνω σ' ένα κατακόρυφο επίπεδο και προκύπτει ως διαφορά δύο διευθύνσεων που ανήκουν στο επίπεδο αυτό. Υπάρχουν δύο κατακόρυφες γωνίες που ορίζονται από μια διεύθυνση  $OA$ , η ζενίθια γωνία  $z_{OA}$  και η γωνία ύψους  $\nu_{OA}$ .

**Ζενίθια γωνία ή ζενίθια απόσταση**  $z_{OA}$  είναι η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση  $OA$  με τη διεύθυνση της κατακόρυφου στο  $O$  (σχήμα 1.4). Μετράται δεξιόστροφα με αρχή το ζενίθ του τόπου από  $0^\circ$  έως  $200^\circ$ .

**Γωνία ύψους**  $\nu_{OA}$  είναι η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση  $OA$  με την προβολή της  $OA'$  στο οριζόντιο επίπεδο που είναι κάθετο στην κατακόρυφο και περνά από το  $O$  (σχήμα 1.4). Μετράται αριστερόστροφα ( $\nu_{OA}$ ) από το οριζόντιο



Σχήμα 1.4: Οριζόντια και κατακόρυφη γωνία

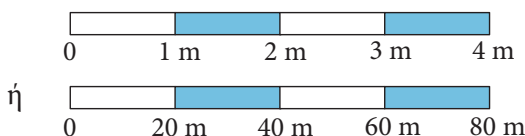
επίπεδο προς τη διεύθυνση ΟΑ, από  $0^\circ$  έως  $100^\circ$  (θετική αν το Α βρίσκεται ψηλότερα από το Ο) ή δεξιόστροφα, ( $\nu_{OB}$ ) από το οριζόντιο επίπεδο προς τη διεύθυνση ΟΒ από  $0^\circ$  έως  $-100^\circ$  (αρνητική αν το Β βρίσκεται χαμηλότερα από το Ο).

Για τη ζενίθια  $z$  γωνία και την αντίστοιχη γωνία ύψους  $\nu$  οποιασδήποτε διεύθυνσης ΟΑ ισχύει η σχέση  $\nu + z = 100^\circ$ , είναι δηλαδή πάντοτε γωνίες συμπληρωματικές.

**Υψόμετρο** ενός σημείου Α, ορίζεται η απόσταση του σημείου από κάποια ισοδυναμική επιφάνεια, που θεωρείται ως επιφάνεια αναφοράς. Είναι η τρίτη συνιστώσα (διάσταση) σε ορισμένα συστήματα προσδιορισμού της θέσης του σημείου πάνω στη ΦΓΕ.

**Υψομετρική καμπύλη** είναι μια φανταστική καμπύλη γραμμή της επιφάνειας του εδάφους, τα σημεία της οποίας έχουν την ιδιότητα να έχουν το ίδιο υψόμετρο.

Ως **κλίμακα** ενός διαγράμματος ορίζεται ο λόγος της τιμής μιας απόστασης πάνω στο διάγραμμα προς την αντίστοιχη πραγματική τιμή της στο πεδίο. Δίνεται με τη μορφή κλάσματος με αριθμητή τη μονάδα ( $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{200}$ ,  $\frac{1}{500}$ ) ή 1:100, 1:200, 1:500 ή γραφικά πάνω στο διάγραμμα. Η μορφή της γραφικής κλίμακας παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5: Γραφική κλίμακα

## 1.5 Μονάδες μέτρησης

Ως μέτρηση ενός μεγέθους ορίζεται η σύγκρισή του με ένα άλλο ομοειδές μέγεθος που ονομάζεται **μονάδα μέτρησης**.

Ο αριθμός που προκύπτει από τη σύγκριση αυτή και εκφράζει το λόγο του μεγέθους προς τη μονάδα μέτρησης ονομάζεται **αριθμητική τιμή** του μεγέθους.

Για τη μέτρηση ενός μεγέθους είναι απαραίτητος ο καθορισμός της μονάδας μέτρησης.

Στην Ελλάδα έχει επικρατήσει το S.I. (Système Internationale Dès Unités) ως το μετρικό σύστημα μονάδων.

### 1.5.1 Μονάδες μέτρησης μηκών

Για τη μέτρηση των μηκών στο S.I χρησιμοποιείται το μέτρο (m). Το 1 m είναι το μήκος που διανύει το φως στο κενό σε χρόνο  $1/299792458$  sec.

Στον πίνακα 1.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια του μέτρου, που συνήθως χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις μηκών.

**Πίνακας 1.1:** Πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια του μέτρου

Πολλαπλάσιο	Αντιστοιχία με m	Υποπολλαπλάσιο	Αντιστοιχία με m
1 megámetro (1 Mm)	$10^6$	1 δεκατόμετρο (1 dm)	$10^{-1}$
1 χιλιόμετρο (1 Km)	$10^3$	1 εκατοστόμετρο (1 cm)	$10^{-2}$
1 εκατόμετρο (1 hm)	$10^2$	1 χιλιοστόμετρο (1 mm)	$10^{-3}$
1 δεκάμετρο (1 dam)	10	1 μικρόμετρο (1 $\mu$ m)	$10^{-6}$
		1 νανόμετρο (1 nm)	$10^{-9}$
		1 Angstrom ( $\text{\AA}$ )	$10^{-10}$

Σε ορισμένες περιπτώσεις τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες του εξωτερικού χρησιμοποιούνται μονάδες μήκους του Βρετανικού συστήματος.

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται μερικές από τις μονάδες αυτές καθώς και η αντιστοιχία τους με το μέτρο.

**Πίνακας 1.2:** Μονάδες μήκους του Βρετανικού συστήματος

Μονάδα μέτρησης	Αντιστοιχία με m
1 ίντσα (inche)	0.0254
1 πόδι (foot) = 12 ίντσες	0.3048
1 γιάρδα (yard) = 3 πόδια	0.9144
1 μίλι (mile) = 5280 πόδια	1609.3440
1 ναυτικό μίλι (nautical mile) = 6076.10 πόδια	1851.9953

### 1.5.2 Μονάδες μέτρησης γωνιών

Για τη μέτρηση γωνιών, οριζόντιων και κατακόρυφων, στο σύστημα S.I χρη-

σιμοποιείται το ακτίνιο (rad). Το 1 rad αντιστοιχεί σε γωνία με μήκος τόξου ίσο με την ακτίνα του αντίστοιχου κύκλου.

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

Το 1 rad χρησιμοποιείται σε αριθμητικές πράξεις που γίνονται με τη χρήση απλών αριθμομηχανών και των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Για την έκφραση γωνιακών μεγεθών που μετρούνται έχει επικρατήσει να χρησιμοποιούνται ως μονάδες μέτρησης η μοίρα  $^{\circ}$  (degree) και ο βαθμός  $^{\circ}$  (grad), που είναι πιο εύκολα κατανοητές από τον άνθρωπο.

Υποδιαιρέσεις της μοίρας είναι το πρώτο λεπτό ( $'$ ) και το δευτερόλεπτο ( $''$ ). Ακολουθείται το εξηκονταδικό σύστημα υποδιαιρέσεων όπου  $1^{\circ} = 60'$  και  $1' = 60''$ .

Πιο απλή μονάδα μέτρησης είναι ο **βαθμός** (grad) και αυτό επειδή ακολουθεί το δεκαδικό σύστημα στις υποδιαιρέσεις του. Επίσης διαιρεί τον κύκλο σε περισσότερα άρα μικρότερα τμήματα. Οι υποδιαιρέσεις του βαθμού είναι τα πρώτα λεπτά (c, centigon =  $10^{-2}$  gon = 0.01 gon) και τα δεύτερα λεπτά (cc) και ισχύει  $1^{\circ} = 100^c$ ,  $1^c = 0.01^{\circ}$  και  $1^c = 100^{cc}$  και  $1^{cc} = 0.0001^{\circ}$ .

Η γενική σχέση μετατροπής της τιμής ενός γωνιακού μεγέθους στις μονάδες που αναφέρθηκαν είναι:

$$2\pi \text{ rad} = 360^{\circ} = 400^{\circ}$$

Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των τριών μονάδων μέτρησης γωνιών.

**Πίνακας 1.3:** Σχέσεις ακτινίων, μοιρών και βαθμών

	ακτίνια (rad)	μοίρες ( $^{\circ}$ )	βαθμοί ( $^{\circ}$ )
ακτίνιο (rad)		$1 \text{ rad} \approx 57.2958^{\circ}$ $1 \text{ rad} \approx 3437.75'$ $1 \text{ rad} \approx 206265''$	$1 \text{ rad} \approx 63.6620^{\circ}$ $1 \text{ rad} \approx 6366.20^c$ $1 \text{ rad} \approx 636620^{cc}$
μοίρα ( $^{\circ}$ )	$1^{\circ} \approx 1.74533 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$ $1' \approx 2.90888 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ $1'' \approx 4.84814 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$		$1^{\circ} \approx 1.11111^{\circ}$ $1' \approx 1.85185^c$ $1'' \approx 3.08642^{cc}$
βαθμός ( $^{\circ}$ )	$1^{\circ} \approx 1.57080 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$ $1^c \approx 1.57080 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ $1^{cc} \approx 1.57080 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$	$1^{\circ} = 0.9^{\circ}$ $1^c = 0.54'$ $1^{cc} = 0.324''$	



### 1.5.3 Άλλες μονάδες μέτρησης

#### ➤ Χρόνου

Για τη μέτρηση χρόνου στο S.I χρησιμοποιείται το 1 δευτερόλεπτο (sec).

Το 1 sec είναι η χρονική διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων της ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μετάβαση δύο υπέρλεπτων ενεργειακών σταθμών της κατάστασης ελάχιστης ενέργειας του ατόμου του καυσίου-133 ( $^{133}\text{Cs}$ ), σε θερμοκρασία  $0^\circ\text{K}$ .

Είναι γνωστό ότι  $1\text{ h} = 60\text{ min} = 3600\text{ sec}$ ,  $1\text{ min} = 60\text{ sec}$ , ενώ χρησιμοποιούνται και τα ακόλουθα υποπολλαπλάσια του δευτερολέπτου:

$$1\text{ msec} = 10^{-3}\text{ sec}, \quad 1\text{ }\mu\text{sec} = 10^{-6}\text{ sec}, \quad 1\text{ nanosec} = 10^{-9}\text{ sec}, \quad 1\text{ picosec} = 10^{-12}\text{ sec}.$$

#### ➤ Επιφάνειας (εμβαδού)

Ως μονάδα μέτρησης του εμβαδού χρησιμοποιείται το τετραγωνικό μέτρο ( $\text{m}^2$ ), το οποίο είναι ίσο με την επιφάνεια τετραγώνου πλευράς 1 m.

$$\text{Ισχύει} \quad 1\text{ m}^2 = 10^2\text{ dm}^2 = 10^4\text{ cm}^2 = 10^6\text{ mm}^2$$

$$\text{ή} \quad 1\text{ dm}^2 = 10^{-2}\text{ m}^2, \quad 1\text{ cm}^2 = 10^{-4}\text{ m}^2, \quad 1\text{ mm}^2 = 10^{-6}\text{ m}^2$$

Στον πίνακα 1.4 παρουσιάζονται οι σύγχρονες μονάδες μέτρησης εμβαδού και άλλες που χρησιμοποιούνται παλαιότερα καθώς και η αντιστοιχία τους με το  $\text{m}^2$ .

#### ➤ Όγκου

Ως μονάδα μέτρησης όγκου, χρησιμοποιείται το κυβικό μέτρο ( $\text{m}^3$ ).

$$\text{Ισχύει} \quad 1\text{ m}^3 = 10^6\text{ cm}^3 = 10^9\text{ mm}^3$$

$$\text{ή} \quad 1\text{ cm}^3 = 10^{-6}\text{ m}^3 \quad \text{και} \quad 1\text{ mm}^3 = 10^{-9}\text{ m}^3.$$

Για τη μέτρηση όγκου υγρών ή αερίων χρησιμοποιείται το λίτρο (l).

$$1\text{ λίτρο} = 10^{-3}\text{ m}^3 \quad \text{ή} \quad 1\text{ m}^3 = 1000\text{ l}$$

#### ➤ Θερμοκρασίας

Ως μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας στο S.I, χρησιμοποιείται ο βαθμός Kelvin ( $^\circ\text{K}$ ) που είναι η μονάδα της θερμοδυναμικής κλίμακας της θερμοκρασίας. Στην καθημερινή πρακτική των μετρήσεων χρησιμοποιείται ο βαθμός Celsius ( $^\circ\text{C}$ ). Υπενθυμίζεται ότι  $^\circ\text{K} = ^\circ\text{C} + 273^\circ$ .

**Πίνακας 1.4:** Σύγχρονες και παλαιότερες μονάδες μέτρησης εμβαδού

Μονάδα μέτρησης	Αντιστοιχία (m <sup>2</sup> )
άριο	100 = 10 <sup>2</sup>
στρέμμα	1000 = 10 <sup>3</sup>
εκτάριο	10000 = 10 <sup>4</sup>
τετραγωνικό χιλιόμετρο	1000000 = 10 <sup>6</sup>
ζευγάρι ή ζεύγος βοών = μερικές εκατοντάδες στρέμματα	> 2000000 = 2·10 <sup>6</sup>
παλαιό Τουρκικό στρέμμα	1270
βασιλικό στρέμμα	1270
γεωργικό στρέμμα	1200
οργυιά	75
σχοινίο	15000
λίτρα	375
κοιλόν	2500
τεκτονικός πήχυς	9/16 ή 0.5625
ζευγαριά ή σποριά	2000 - 4000
τετραγωνικό πλέθρο ή αυλάκι ή αυλακιά	939

### ➔ Ατμοσφαιρικής πίεσης

Ως μονάδα μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης στο S.I, χρησιμοποιείται το Pascal (Pa), όπου  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .

Στις γεωδαιτικές μετρήσεις χρησιμοποιείται:

- το  $1 \text{ mbar} = 100 \text{ N/m}^2$  και
- το  $1 \text{ mm}$  στήλης Hg = 1.33322 mbar, που σημαίνει  $760 \text{ mmHg} = 1013.25 \text{ mbar}$