

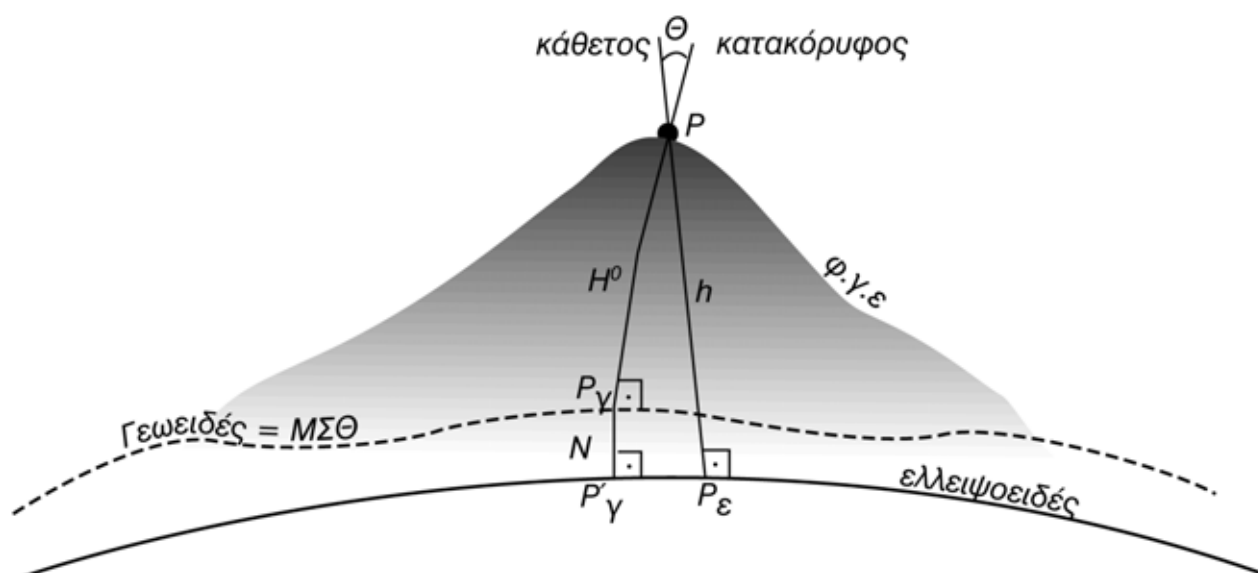
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ Ε/Υ ΠΑΤΡΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.»



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΤΣΑΓΚΡΩΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΜΠΑΛΛΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2012

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ	8
1.1 Ορισμός Γεωδαισίας	9
1.2 Ιστορική Ανασκόπηση.....	10
1.3 Αντικείμενο Γεωδαισίας	23
1.4 Βασικοί Ορισμοί	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	30
2.1 Μέθοδοι Μέτρησης Υψομετρικών Διαφορών.....	31
2.2 Επίγειες Μέθοδοι Υψομετρικής Διαφοράς.....	31
2.2.1 Γεωμετρική χωροστάθμηση	31
2.2.2 Υδροστατική η Υδραυλική Χωροστάθμηση.....	33
2.2.3 Τριγωνομετρική Υψομετρία	33
2.2.4 Μέτρηση Υψομετρικής Διαφοράς με Παρεμβολή Εμποδίου	36
2.2.5 Βαρομετρική Υψομετρία	37
2.3 Δορυφορικές Μέθοδοι	38
2.3.1 Υψόμετρα με το Σύστημα GPS	39
2.3.2 Υψόμετρα με τη Δορυφορική Αλτιμετρία.....	40
2.4 Πρακτική Εφαρμογή Επίγειων Μεθόδων.....	42
2.4.1 Γεωμετρική Χωροστάθμηση	42

2.4.2	Πηγές Σφαλμάτων.....	47
2.4.3	Έλεγχος και Εκτίμηση Σφάλματος.....	48
2.4.4	Εφαρμογές της Χωροστάθμησης	49
2.4.5	Εφαρμογές της Υψομετρίας.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		
ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ.....		
3.1	Όργανα Μέτρησης Γεωδαισίας.....	55
3.1.1	Θεοδολίχος.....	56
3.1.2	Οι Κύριοι Μηχανισμοί των Γεωδαιτικών Οργάνων.....	59
3.1.2.1	Οι Μηχανισμοί σκόπευσης - Τηλεσκόπιο	59
3.1.2.2	Οι Μηχανισμοί Οριζοιντίωσης και Κατακορύφωσης.....	61
3.1.2.3	Οι Μηχανισμοί Αναγνώσεων των Γεωδαιτικών Οργάνων	61
3.1.2.4	Οι Άξονες του Θεοδολίχου.....	63
3.1.2.5	Μέτρηση Γωνιών	64
3.1.3	Γεωδαιτικοί σταθμοί.....	70
3.2	Όργανα και μέθοδοι μέτρησης υψομετρικών διαφορών.....	71
3.2.1	Ο Χωροβάτης.....	72
3.2.2	Το Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS	73
3.2.2.1	Τα τμήματα του GPS	75
3.2.2.2	Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης.....	81
3.2.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του GPS	91
3.2.2.4	Διάφορες Εφαρμογές του GPS	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		
		97

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας, στο τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής στη Πάτρα. Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι οι γεωδαιτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να βρούμε τις υψομετρικές διαφορές σε διάφορες εκτάσεις και τα όργανα τα οποία μας βοηθάνε για να πάρουμε τις κατάλληλες μετρήσεις.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας Κ. Σαραντόπουλο Ανδρέα ο οποίος μας βοήθησε πάρα πολύ ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία. Τον ευχαριστούμε πολύ για όλα όσα μας δίδαξε, για το επιστημονικό υλικό που μας προσέφερε, τις συμβουλές του, την συμπαράστασή του και τις ώρες που μας αφιέρωσε.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την κατανόηση και την ουσιαστική ψυχολογική υποστήριξη που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εστιάζεται στις γεωδαιτικές μεθόδους και στα όργανα παρακολούθησης κατασκευών. Στην εργασία αυτή γίνεται παρουσίαση δύο διαφορετικών μεθόδων, που εφαρμόζονται για τη μέτρηση διάφορων υψομετρικών διαφορών και των τρόπων σήμανσης των σημείων ελέγχου ώστε να εξασφαλίζεται η μονιμότητα στο χρόνο και η ακρίβεια των μετρήσεων. Για την υλοποίηση των μεθόδων αυτών χρησιμοποιούμε τα όργανα παρακολούθησης κατασκευών όπως (τον θεοδόλιχο, το χωροβάτη, το GPS) τα οποία μας βοηθάνε στη συλλογή πληροφοριών για τη μελέτη και την ολοκλήρωση ενός τεχνικού έργου. Η ανάπτυξη και ο εκσυγχρονισμός των γεωδαιτικών μεθόδων και των οργάνων παρακολούθησης κατασκευών τα τελευταία χρόνια, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, παρέχει ακρίβεια της τάξης των λίγων χιλιοστών. Συμπερασματικά, οι γεωδαιτικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των κατασκευών, ενώ με παράλληλη βελτίωση των διατάξεων τους και των λογισμικών τους μπορούν να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται, με σαφώς αναμενόμενη καλύτερη ακρίβεια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας σε όλους τους τομείς κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων τεχνικών και βιομηχανικών έργων με υψηλές απαιτήσεις σε ακρίβεια σχεδιασμού και εκτέλεσης. Μεγάλα σε μέγεθος και έκταση τεχνικά έργα (π.χ. μεγάλες γέφυρες, σιλό, φράγματα) με ειδικές απαιτήσεις χάραξης στη φάση της κατασκευής, αλλά και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τους κατά τη φάση λειτουργίας απαιτούν βελτιωμένες μεθοδολογίες γεωδαιτικών μετρήσεων. Επίσης η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στη βελτίωση των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης, με αποτέλεσμα η επιστήμη της γεωδαισίας να μπορεί πλέον να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ακριβείας των έργων αυτών.

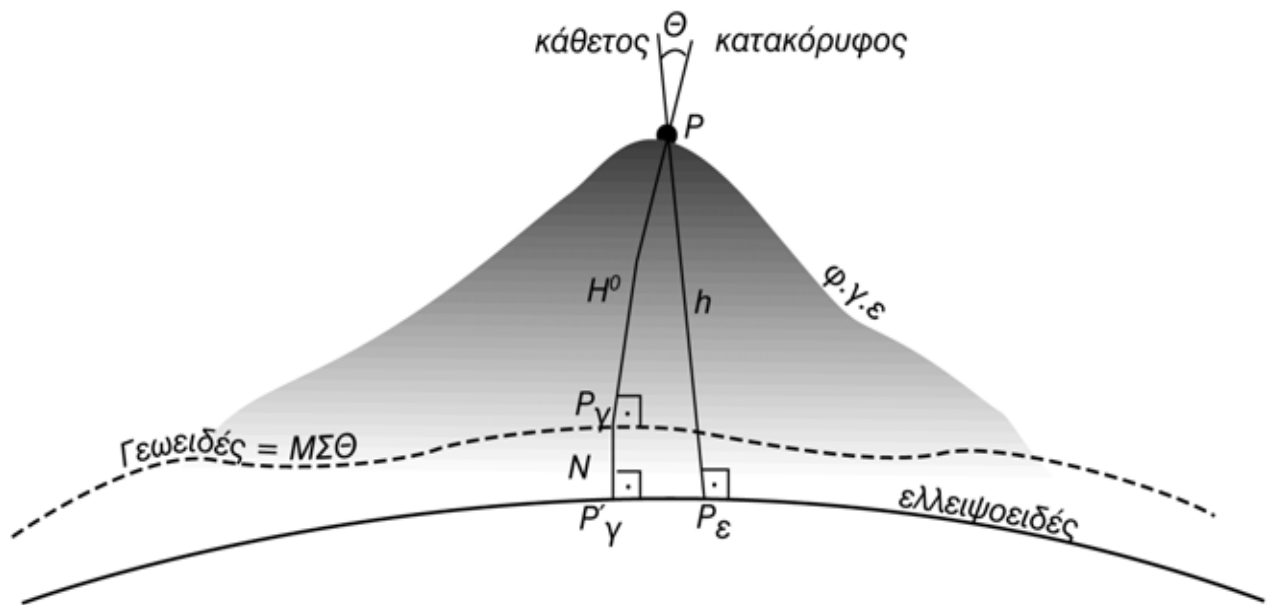
Ένα ιδιαίτερο κεφάλαιο στις εφαρμογές της παρακολούθησης παραμορφώσεων έχει εισάγει η χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού. Χρησιμοποιώντας δέκτες του συστήματος GPS με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια μερικών mm, γεγονός που καθιστά το σύστημα αυτό κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων σε τεχνικά έργα περιλαμβάνουν κατά περίπτωση την ίδρυση και μέτρηση οριζόντιων, κατακόρυφων ή τρισδιάστατων τοπικών γεωδαιτικών δικτύων ελέγχου. Είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μεταβολής των συντεταγμένων στο χώρο, σημείων ελέγχου στο έδαφος ή σε τεχνικά έργα με επίγειες ή δορυφορικές γεωδαιτικές μεθόδους. Οι γεωδαιτικές μετρήσεις έχουν ακρίβεια της τάξης των λίγων mm, απαιτούν επεξεργασία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, ελέγχεται η ποιότητα των αποτελεσμάτων, η πληροφορία

σχετικά με τις μετακινήσεις των σημείων ελέγχου δίνεται για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης και μπορούν να συνδυαστούν και με γεωτεχνικές όργανο-μετρήσεις σε ενιαία επίλυση.

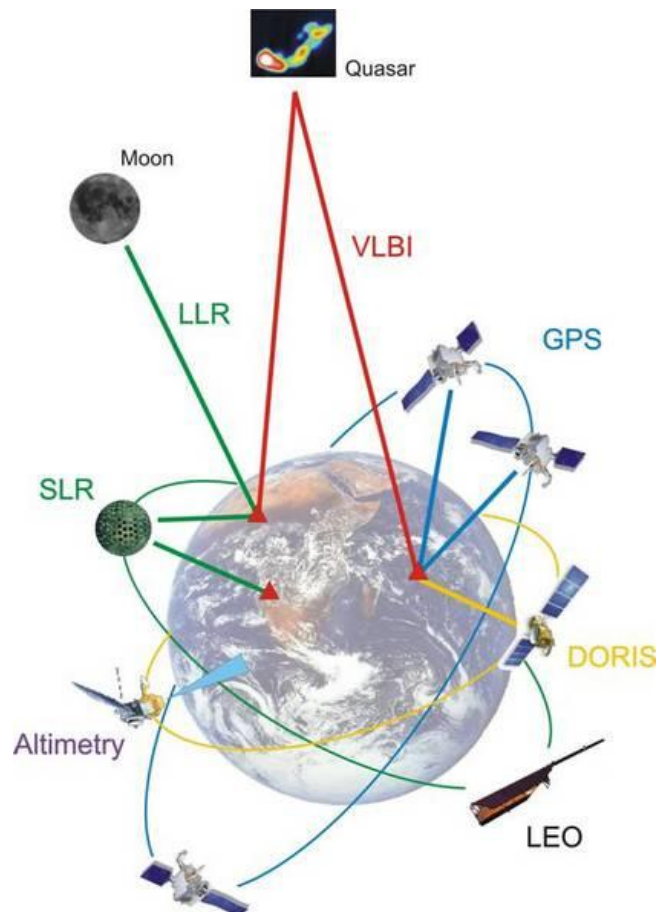
Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ



1.1 Ορισμός Γεωδαισίας

Γεωδαισία είναι η Γεωεπιστήμη που ασχολείται με παρατηρήσεις, μετρήσεις και υπολογισμούς, με σκοπό να προσδιορίσει το σχήμα (μορφή), το μέγεθος (διαστάσεις) και το πεδίο βαρύτητας της γης και τις μεταβολές τους στο χρόνο. Ως σχήμα της γης στην περίπτωση αυτή θεωρείται το σχήμα του γεωειδούς, που ορίζεται ως η ισοδυναμική επιφάνεια του γήινου πεδίου βαρύτητας που προσαρμόζεται καλύτερα στη μέση στάθμη των θαλασσών. Επίσης μετρά και απεικονίζει περιοχές της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας (Φ.Γ.Ε.) με όλα τα φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά τους.



Σχ. 1.1. Η Γεωδαισία ως Επιστήμη

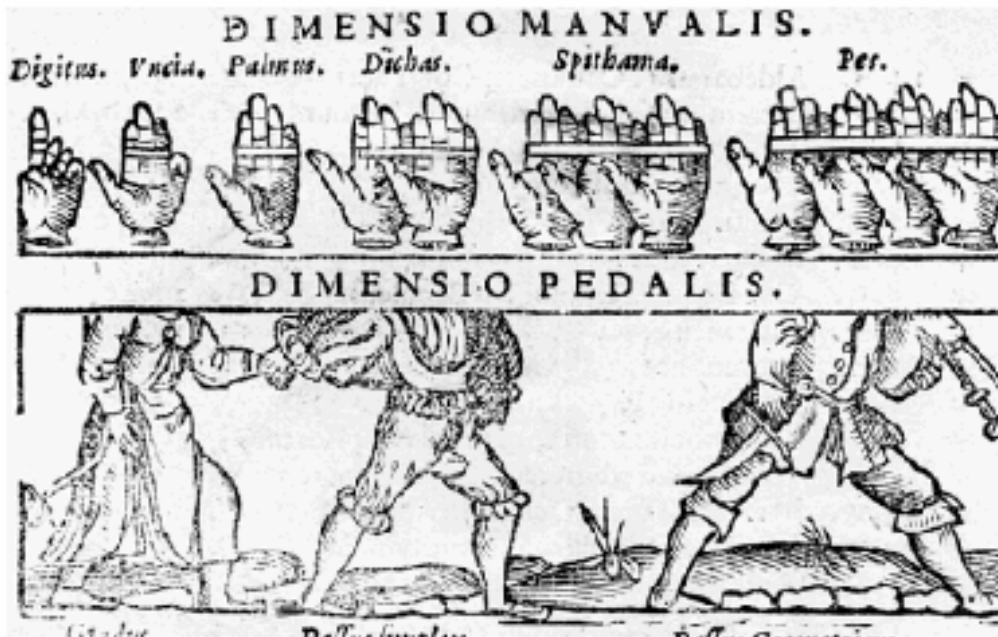
Από τον ορισμό φαίνεται ότι η Γεωδαισία σχετίζεται άμεσα με την Αστρονομία και τη Γεωφυσική, καθώς και με την Χαρτογραφία, επιστήμες με τις οποίες έχει αρκετές επικαλύψεις. Κατ' επέκταση καλύπτει, σε ότι αφορά αυτούς τους γνωστικούς τομείς, και τη Σελήνη και τους άλλους πλανήτες.

1.2 Ιστορική Ανασκόπηση

Οι παρατηρήσεις πλανητών και αστερών αποτέλεσαν για πολλούς αιώνες το μοναδικό τρόπο για τη μάθηση σχετικά με τη γεωμετρία της Γης. Η Γεωδαισία και η Τοπογραφία συμβάδισαν στην εξέλιξή τους με την Αστρονομία. Άλλωστε αυτές οι επιστήμες είναι από τις παλαιότερες επιστήμες του ανθρώπου και σαφώς η Γεωδαισία είναι η παλαιότερη Γεωεπιστήμη.

Από την αυγή της Ιστορίας ο άνθρωπος κατανόησε τις πιο στοιχειώδεις γεωμετρικές έννοιες: την οριζόντια και κατακόρυφη ευθεία και το οριζόντιο επίπεδο. Οι πρώτες μονάδες μέτρησης μηκών βασίστηκαν στις διαστάσεις των μελών του ανθρώπινου σώματος (σχ. 1.1). Με την ανάπτυξη του πολιτισμού και για τις ανάγκες κατασκευής οικοδομημάτων και τεχνικών έργων επινοήθηκαν και τα πρώτα τοπογραφικά όργανα.

Η λέξη Γεωδαισία προέρχεται από την ελληνική γλώσσα (από το ουσιαστικό Γη και το ρήμα δαίω) και η ακριβής έννοια της είναι "διαίρεση, διανομή και μέτρηση της Γης". Επίσης, μπορούμε να πούμε ότι σημαίνει τεχνική των καταμετρήσεων και απεικονίσεων καθώς και διανομή και αναδασμό μικρών, κατά κανόνα τμημάτων του εδάφους.



Σχ. 1.2. Μονάδες μέτρησης με βάση το ανθρώπινο σώμα: δάκτυλοι και πόδια

Όλοι οι αρχαίοι λαοί ανέπτυξαν την Τοπογραφία με τη μια ή την άλλη μορφή. Ωστόσο η μεγάλη ανάπτυξη της Τοπογραφίας αρχίζει με την Ελληνική εποχή. Από τότε μέχρι σήμερα, η ιστορία της Τοπογραφίας θα μπορούσε να χωριστεί στις παρακάτω χρονολογικές περιόδους:

Περίοδος 1: Αρχίζει από το Θαλή το Μιλήσιο και τελειώνει με το τέλος της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας.

Περίοδος 2: Καλύπτει το Μεσαίωνα, την Αναγέννηση και φτάνει μέχρι τα τέλη του 17ου αιώνα.

Περίοδος 3: Καλύπτει τα χρόνια από τις αρχές του 18ου αιώνα μέχρι το πέρας του Δεύτερου Παγκόσμιου πολέμου.

Περίοδος 4: Καλύπτει τα τελευταία περίπου 50 χρόνια, μέχρι το τέλος του 20ού αιώνα.

▼ Περίοδος 1

Κατά την κλασική και την ελληνιστική περίοδο οι Έλληνες επιστήμονες των Θετικών Επιστημών προήγαγαν σημαντικά τη Γεωμετρία, τα Μαθηματικά, την Αστρονομία, τη Χαρτογραφία και την Γεωδαισία. Οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν διάφορα απλά τοπογραφικά όργανα: Τον αστέρα για τη χάραξη ορθών γωνιών (σχ. 1.2), σχοινιά για τη μέτρηση μηκών και σταδίες για τη διευκόλυνση προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Χρησιμοποιούσαν επίσης τον αστρολάβο για αστρονομικές μετρήσεις.



Σχ. 1.3. Ο αρχαιοελληνικός «αστέρας» για τη μέτρηση και χάραξη ορθών γωνιών

Οι Ρωμαίοι δεν δημιούργησαν νέα γεωδαιτικά όργανα, ούτε προσθέσανε σημαντικά στοιχεία στο θεωρητικό υπόβαθρο της Τοπογραφίας. Όμως κατά τη ρωμαϊκή περίοδο οι γεωδαιτικές μετρήσεις συστηματοποιήθηκαν και αποτέλεσαν μέρος της ρωμαϊκής πρακτικής για στρατιωτικούς και πολιτικούς σκοπούς, αλλά και για την καλύτερη οργάνωση της Αυτοκρατορίας. Οι Ρωμαίοι επίσης, υιοθετώντας γνώσεις από τους Έλληνες, εισάγουν για πρώτη φορά το Κτηματολόγιο (Cadastrum = κατά κεφαλή φόρος) για τη φορολογία των κτημάτων. Στους Ρωμαίους συναντούμε τους μηχανικούς μετρήσεων, που ονομάζονται Αγρομέτρες (agrimensores). Οι μηχανικοί αυτοί ήταν ακόμη συμβολαιογράφοι, εφοριακοί και δικαστές στις περιπτώσεις συνοριακών διαφορών.

Η Επιστήμη της Γεωδαισίας προσέλκυσε πολλούς από τους πλέον ευφυείς επιστήμονες της αρχαιότητας, οι οποίοι διατύπωσαν απόψεις σχετικά με τη Γη και το σχήμα της (σχ. 1.3). Οι κυριότεροι από αυτούς ήταν:

Ø **Ο Θαλής ο Μιλήσιος** (625-547 π.Χ.), έφερε από την Αίγυπτο και βοήθησε στη διάδοση στην Ελλάδα τη Γεωμετρία. Ο Θαλής θεώρησε ότι η Γη ήταν ένα σώμα σαν δίσκος, το οποίο επέπλεε σε έναν "άπειρο" ωκεανό.

Ø **Ο Αναξίμανδρος ο Μιλήσιος** (περ. 611-545 π.Χ.), σύγχρονος του Θαλή και θεμελιωτής της επιστημονικής Γεωγραφίας, θεωρούσε τη Γη σαν ένα κύλινδρο με άξονα προσανατολισμένο κατά τη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Ο Αναξίμανδρος έφερε στους Έλληνες το γνώμονα, εγκατέστησε στη Σπάρτη το πρώτο ηλιακό ωρολόγιο και ήταν αυτός που πρωτοέθιξε το θέμα της ουράνιας σφαίρας. Η θεώρηση του Αναξίμανδρου για τη Γη χρησιμοποιήθηκε για αιώνες.

Ø **Ο Αναξίμενης**, μαθητής του Αναξίμανδρου, τροποποιώντας την άποψη του Θαλή, υποστήριξε ότι η Γη έπλεε σε έναν "άπειρο περιφερειακό ωκεανό" και στηριζόταν στο διάστημα από συμπιεσμένο αέρα.

Ø **Ο Εκαταίος ο Μιλήσιος** (560-480 π.Χ.), συνέταξε έναν από τους γνωστούς χάρτες του κόσμου.

Ø **Ο Αριστοτέλης ο Σταγειρίτης** (περ. 388-315 π.Χ.), ήταν υπεύθυνος για την πιο τεκμηριωμένη και ολοκληρωμένη άποψη περί σφαιρικότητας της Γης. Μας πληροφορεί επίσης ότι οι Έλληνες πήραν πολλές αστρονομικές γνώσεις από τους Βαβυλώνιους. Στα "Μεταφυσικά" του διακρίνει τη Γεωμετρία και

τη Γεωδαισία με την ακόλουθη χαρακτηριστική φράση: "εν γάρ τούτο διοίσει της Γεωδαισίας η Γεωμετρία μόνον ότι η μεν ούτων εστίν ν αισθανόμεθα, η δ' ουκ αισθητών..." και ακόμη: "η Γεωδαισία των αισθητών εστί μεγεθών και φθαρτών".

Ø Ο **Ερατοσθένης** (περ. 276-194 π.Χ.) θεωρείται ο πρώτος Γεωδαίτης και θεμελιωτής της Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, έκανε την πρώτη γεωδαιτική εργασία με επιστημονική μέθοδο Η εργασία αυτή ήταν ο προσδιορισμός της περιμέτρου της Γης με τη μέτρηση του πλάτους μεταξύ Αλεξάνδρειας και Ασσουάν. Ο Ερατοσθένης πίστευε στην ύπαρξη της σύνδεσης των ωκεανών σε "μια θάλασσα", κάτι που επιβεβαιώθηκε μετά από 17 αιώνες.

Ø Ο **Ηρων ο Αλεξανδρεύς** (1ος αιώνας μ.Χ.) συνέγραψε το κορυφαίο τοπογραφικό σύγγραμμα του αρχαίου κόσμου που περιγράφει διάφορα τοπογραφικά όργανα (μεταξύ των οποίων τη **Διόπτρα** - πρόδρομο των σημερινών θεοδόλιχων (σχ. 1.4), ένα όργανο προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών, το Οδόμετρο και το Δρομόμετρο για μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων σε ξηρά αι θάλασσα αντίστοιχα) και μεθόδους μετρήσεων και υπολογισμών.

Ο καλύτερος μάρτυρας της ακμής της Τοπογραφίας μέχρι τα ελληνικά και τα χρόνια είναι το πλήθος των οικοδομημάτων, των μνημειακών κτιρίων, των δρόμων, των καναλιών, των υδραγωγείων και του πλήθους των τεχνικών έργων που διατηρήθηκαν μέχρι σήμερα ή τμήματά τους ανακαλύφθηκαν από την ανασκαφική σκαπάνη.

Σχ. 1.4. Απόψεις για το σχήμα της Γης κατά την κλασική αρχαιότητα



Η Γη του Αναξιμένη



Η Γη του Εκαταίου



Σχ. 1.5. Η Διόπτρα του Ήρωνα στη Σάμο



Σχ. 1.6. Το Ευπαλίνειο Όρυγμα (σήραγγα)

Ο **Κλαύδιος Πτολεμαίος** (100-178μ.Χ.), που θεωρείται ο πατέρας επιστημονικής Χαρτογραφίας, εμφανίζεται με το κλείσιμο της Ελληνικής εποχής της Τοπογραφίας. Ο Πτολεμαίος θεωρεί τη Γη σφαιρική και ασχολείται με τις μεθόδους της κατά προσέγγιση παράστασης τμημάτων της γήινης επιφάνειας επάνω σε επίπεδο. Είναι πασίγνωστος για τα δύο έργα του "Αλμαγέστη" και "Γεωγραφική Υφήγηση". Ο Πτολεμαίος φέρεται να συνέταξε χάρτες του τότε γνωστού κόσμου (σχ. 1.6) οι οποίοι παρέμειναν ως χάρτες αναφοράς για περίπου 14 αιώνες.

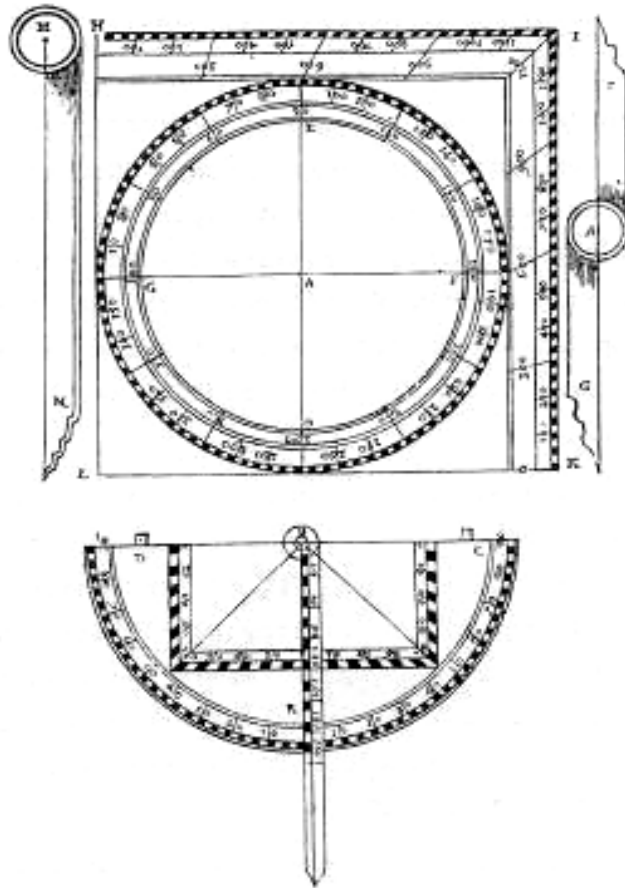
Περίοδος 2

Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, η Γεωδαισία, όπως και οι άλλες επιστήμες, εκτίθενται στις έντονες επιδράσεις της Θεολογίας. Κατά το διάστημα από τον 3ο μ.Χ. αιώνα μέχρι τα μέσα του 14ου αιώνα, τίποτε το ιδιαίτερα σημαντικό για την επιστήμη της Γεωδαισίας δε συμβαίνει στην Ευρώπη και το Βυζάντιο. Ακόμη το φεουδαρχικό σύστημα που ίσχυε στην Ευρώπη δε χρειαζόταν ιδιαίτερες τοπογραφικές μετρήσεις και δεν έδινε κίνητρα για ανάπτυξη της Γεωδαισίας.

Οι Κινέζοι γνώριζαν τις γεωδαιτικές μεθόδους μέτρησης από την αρχή της δυναστείας των Χαν (202 π.Χ.). Γνώριζαν επίσης αργότερα και τις επιτεύξεις των ελληνοιστικών και των ρωμαϊκών χρόνων. Οι ίδιοι κατασκεύασαν και χρησιμοποιούσαν μαγνητικές πυξίδες για προσδιορισμό διευθύνσεων και γωνιών, κλίμακες ορισμένου μεγέθους για την ακριβή μέτρηση μηκών, σταδίες για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών και ένα είδος τηλεσκοπίου από τα τέλη του 10ου αιώνα.

Το ίδιο σημαντική ήταν και η ανάπτυξη των Θετικών Επιστημών από τους Άραβες κατά την ίδια χρονική περίοδο. Η εξάπλωση των Αράβων και οι αραβικές μεταφράσεις διέσωσαν και μετέδωσαν τα ελληνικά επιστημονικά επιτεύγματα, ενώ οι αραβικές εκδόσεις μεταφρασμένες στα Λατινικά βοήθησαν στην εισβολή, μέσω της Ισπανίας, επιστημονικών γνώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο.

Η ανάπτυξη όλων των επιστημών άρχισε να γίνεται μεγαλύτερη κατά την διάρκεια της Αναγέννησης. Οι βαθιές κοινωνικές, πολιτικές και πολιτισμικές αλλαγές που χαρακτηρίζουν την περίοδο αυτή δημιούργησαν να νέο πλαίσιο της Τοπογραφίας: Ο περιορισμός της φεουδαρχίας απαιτούσε τη μέτρηση και διανομή της γης στους αγρότες. Η ανακάλυψη νέων τόπων απαιτούσε την επιστημονική καταγραφή τους και τη σύνταξη χαρτών, ενώ παράλληλα ήταν αυξημένες οι ανάγκες για νέες μεθόδους προσανατολισμού και ναυσιπλοΐας. Για την καλύτερη αξιοποίηση του πυροβολικού στον πόλεμο, ήταν αναγκαία η μέτρηση διευθύνσεων, κατακόρυφων γωνιών και αποστάσεων. Η επιβεβαίωση του ηλιοκεντρικού συστήματος του Κοπέρνικου απαιτούσε όργανα μετρήσεων υψηλής ακριβείας. Έτσι την περίοδο αυτή κατασκευάστηκε ένα γωνιομετρικό όργανο το οποίο χρησιμοποιείται με τις ίδιες αρχές λειτουργίας μέχρι σήμερα. Πρόκειται για τον **θεοδόλιχο** (Theodolitus) που χρωστά το όνομά του στον Αγγλο L. Digges από το 1571 (σχ. 1.7). Ωστόσο γωνιομετρικά όργανα με σκοπευτική διάταξη κάποιας μορφής είχαν ήδη κατασκευαστεί πριν από 500 περίπου χρόνια από Άραβες και Κινέζους, χωρίς να ξεχνούμε και τη Διόπτρα του Ήρωνος.



Σχ. 1.7. Ο θεοδόλιχος του Digges

Κατά τον 17ο αιώνα η Τοπογραφία και η κατασκευή τοπογραφικών οργάνων συστηματοποιούνται. Κατασκευάζονται αλυσίδες για τη μέτρηση μηκών, γωνιομετρικά όργανα σε συνδυασμό με μαγνητικές πυξίδες και κλισίμετρα. Ο 17ος αιώνας είναι σημαντικός για την ανάπτυξη των τοπογραφικών οργάνων, γιατί αυτή την περίοδο γίνεται η εφεύρεση του **τηλεσκοπίου**, του βερνιέρου ως συστήματος ανάγνωσης ενδείξεων και του **σταυρονήματος** ως συστήματος σκόπευσης με μεγάλη ακρίβεια. Ακόμη την ίδια περίοδο κατασκευάζεται ο **χωροβάτης** του οποίου η οριζοντίωση ελέγχεται με σφαιρική αεροστάθμη. Υπάρχουν πλέον Γεωδαίτες και Τοπογράφοι με επιστημονική κατάρτιση και ερευνητικές δραστηριότητες. Πολλά βιβλία με σχετικά θέματα τυπώνονται και κυκλοφορούν. Στα Πανεπιστήμια συστηματοποιείται η διδασκαλία των Μαθηματικών, ενώ η εισαγωγή των λογαρίθμων διευκολύνει και επιταχύνει την

εκτέλεση των τοπογραφικών υπολογισμών. Το 1794, για πρώτη φορά εφαρμόζεται στο Γαλλικό κτηματολόγιο η διαίρεση του κύκλου σε 400 gon, σημαντικό γεγονός στην εξέλιξη της Γεωδαισίας.

▼ Περίοδος 3

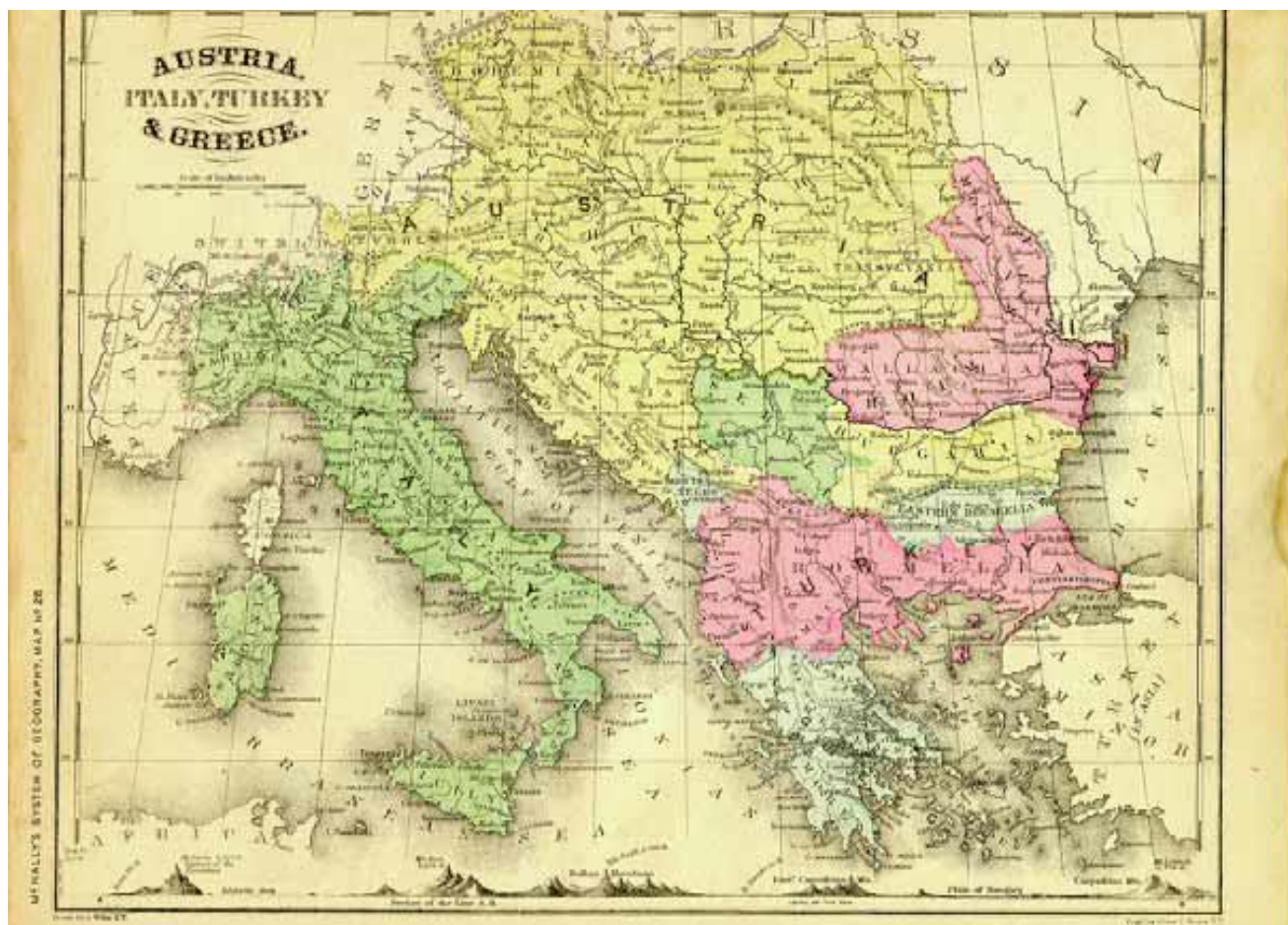
Η εξάπλωση των τριγωνομετρικών δικτύων σε όλη την Ευρώπη για διάφορες χαρτογραφικές εργασίες, ο εκβιομηχανισμός και η δημιουργία ποικίλων τεχνικών έργων, αύξησαν τις απαιτήσεις τεχνικών μετρήσεων και οδήγησαν στην κατασκευή οργάνων μέτρησης γωνιών και μηκών καθώς και στην εισαγωγή και αξιοποίηση νέων μεθόδων. Κατά τον 18ο αιώνα το μαθηματικό υπόβαθρο του Τοπογράφου γίνεται ακόμη καλύτερο. Οι πανεπιστημιακές σχολές εκπαιδεύουν συνεχώς και περισσότερους Τοπογράφους, για τους οποίους υπάρχει ζήτηση λόγω διανομών της γης και αλλαγών στον τρόπο των καλλιεργειών. Σε διάφορα κράτη ιδρύονται τοπογραφικές υπηρεσίες, γίνονται πλέον μετρήσεις τριγωνομετρικών δικτύων και άλλες τοπογραφικές εργασίες μεγάλης κλίμακας. Οι θεοδόλιχοι με τηλεσκόπιο χρησιμοποιούνται πλέον ευρύτατα και εκτοπίζουν τα παλαιά απλά γωνιομετρικά όργανα. Στα μέσα του 18ου αιώνα οι θεοδόλιχοι ήταν όργανα εύχρηστα, μετρούσαν οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και χρησιμοποιούσαν αεροστάθμες για την οριζοντίωσή τους. Η χρησιμοποίηση σταδιομετρικών νημάτων και σταίας

Από τις αρχές του 19ου αιώνα οι αλλαγές και οι βελτιώσεις στα όργανα είναι ακόμη πιο ταχείς. Κατασκευάζονται θεοδόλιχοι και χωροβάτες υψηλής ακριβείας, λινές και μεταλλικές μετροταινίες, κανόνες και ειδικά σύρματα για τη μέτρηση μηκών. Ο Σκώτος φυσικός Maxwell (1831-1879) θέτει τις θεωρητικές βάσεις της μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Σημαντικές είναι οι μελέτες που γίνονται επάνω σε διάφορα χαρακτηριστικά της Γης, ο δε Γερμανο-Αμερικανός Michelson (1852-1931) χρησιμοποιεί για πρώτη φορά ηλεκτρομαγνητικά κύματα για μέτρηση αποστάσεων

Στις αρχές του 20ού αιώνα ο Heinrich Wild σχεδιάζει και κατασκευάζει θεοδολίχους με πολλές καινοτομίες συνεργαζόμενος με τα μεγαλύτερα εργοστάσια κατασκευής τοπογραφικών οργάνων της εποχής. Κατασκευάζονται επίσης νέοι τύποι χωροβατών και γυροσκοπικοί θεοδολίχοι για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του μαγνητικού βορρά. Χαρακτηριστικό των νέων οργάνων είναι το μικρό μέγεθος και το μικρό βάρος, αλλά και η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων.

Ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος και οι ανάγκες του έδωσαν ώθηση στην επιστήμη της Γεωδαισίας, αλλά και της Φωτογραμμετρίας. Μετά τον πόλεμο πληθαίνουν οι ερευνητικές ραστηριότητες σε σχετικά με τη Γεωδαισία θέματα. Η έκδοση σχετικών βιβλίων πληθαίνει, ωστόσο η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων κρατών σε γεωδαιτικά θέματα δεν είναι η καλύτερη κατά το διάστημα του μεσοπολέμου. Παρόλα αυτά τα ευρωπαϊκά κυρίως εργοστάσια κατασκευής τοπογραφικών οργάνων δε σταματούν να βελτιώνουν τα προϊόντα τους και να παράγουν νέους τύπους θεοδολίχων και χωροβατών, όπως θεοδολίχους κατάλληλους για αστρονομικούς προσδιορισμούς και χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης.

Ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος έδωσε και πάλι μια νέα τεράστια ώθηση σε διάφορες επιστήμες μέσα στην αγωνία των ανθρώπων να αποτρέψουν ή να επιφέρουν την καταστροφή και το θάνατο. Ένα θαυμαστό δημιούργημα που ξεκινάει από την εποχή του πολέμου είναι η ηλεκτρομαγνητική μέτρηση των αποστάσεων, η μέτρηση δηλαδή μηκών με τη βοήθεια οργάνων που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ανακάλυψη αυτή έθεσε νέες αρχές μετρήσεων και υπολογισμών και έδωσε νέες δυνατότητες στην επιστήμη της Γεωδαισίας. Μια από τις πρώτες εφαρμογές της χρήσης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ήταν το radar, για τον εντοπισμό πλοίων και αεροπλάνων, μια εφαρμογή στην οποία οφείλεται ένα μεγάλο τμήμα της νίκης των Συμμάχων.



Σχ. 1.7. Χάρτης που συντάχθηκε στα μέσα του 19ου αιώνα

▼ Περίοδος 4

Μετά τον πόλεμο δημιουργήθηκαν διάφορα συστήματα ναυσιπλοΐας με τη χρήση ραδιοκυμάτων, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1950 κατασκευάστηκε το πρώτο όργανο μέτρησης αποστάσεων με ορατό φως από τον Bergstrand στη Σουηδία. Η συνέχεια στην παραγωγή τέτοιων οργάνων ήταν ραγδαία: Κατασκευάζονται ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης μεγάλων αποστάσεων με τη χρήση μικροκυμάτων, ακτινών laser και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Επίσης από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 κατασκευάζονται **ηλεκτρονικοί θεοδόλιχοι**, όπου η μέτρηση των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Τοπογραφία είναι μια από τις επιστήμες που ωφελήθηκαν και ωφελούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη της Ηλεκτρονικής κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Είναι επίσης μια από τις πρώτες επιστήμες που χρησιμοποίησε τις δυνατότητες των **ηλεκτρονικών υπολογιστών**, τόσο για τη γρήγορη εκτέλεση υπολογισμών, όσο και για την πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή σχεδίων και χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλων προγραμμάτων (CAD) και περιφερειακών συσκευών.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 όλες οι μετρήσεις γωνιών και μηκών γίνονται από ένα και μόνο ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό όργανο που ονομάστηκε **ο Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station)**. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς μέχρι σήμερα με προσθήκες και καινοτομίες, όπως μικροεπεξεργαστές και λειτουργικό σύστημα παρόμοιο και συμβατό με αυτό των ηλεκτρονικών υπολογιστών, προγράμματα για εκτέλεση υπολογισμών στο πεδίο, αυτόματη κίνηση του οργάνου με σερβοκινητήρες, αυτόματη αναζήτηση στόχου για μέτρηση, ενσωματωμένη αποθήκευση χιλιάδων σημείων μέτρησης κ.ά.

Εκείνο όμως που χαρακτηρίζει τη σημερινή Τοπογραφία είναι η χρήση **δορυφόρων** για τον εντοπισμό θέσης πάνω στη Γη. Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οι Η.Π.Α. δημιούργησαν συστήματα για τον έλεγχο της ναυσιπλοΐας για στρατιωτικούς σκοπούς. Το τελευταίο σύστημα, το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS), είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί 24 τεχνητούς δορυφόρους που πετούν γύρω από τη Γη και βρίσκεται σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία από το 1994. Το σύστημα GPS, πέρα από τη χρησιμοποίησή του για τον έλεγχο της κίνησης πλοίων, αεροπλάνων και οχημάτων, αποδείχτηκε ένα εξαιρετικό, εύχρηστο και υψηλής ακριβείας σύστημα μετρήσεων για τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές που κυριολεκτικά θέτει τη Γεωδαισία σε νέες βάσεις και αναθεωρεί ένα πλήθος μεθόδων μέτρησης και υπολογισμών. Με τη χρήση ενός μόνο δέκτη GPS είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης οποιουδήποτε σημείου πάνω στη Γη με

ακρίβεια λίγων μέτρων. Με τη συνδυασμένη χρήση δύο ή περισσότερων δεκτών όμως, είναι δυνατός ο προσδιορισμός αποστάσεων στο χώρο μεταξύ των δεκτών με ακρίβεια εκατοστού.

1.3 Αντικείμενο 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 κατακόρυφου και άρα η μορφή του γεωειδούς. Βασική επιφάνεια είναι το γεωειδές και βασική διεύθυνση, η διεύθυνση της κατακόρυφου, 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 κατακόρυφου σε κάθε σημείο της ΦΓΕ και της αποχής του γεωειδούς N. 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 km²) 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:

- i. την τοποθέτησή του στο χώρο (χάραξη),
- ii. την τεκμηρίωσή του (αποτύπωση),
- iii. 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 παραγωγών 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 πρηνών, 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.

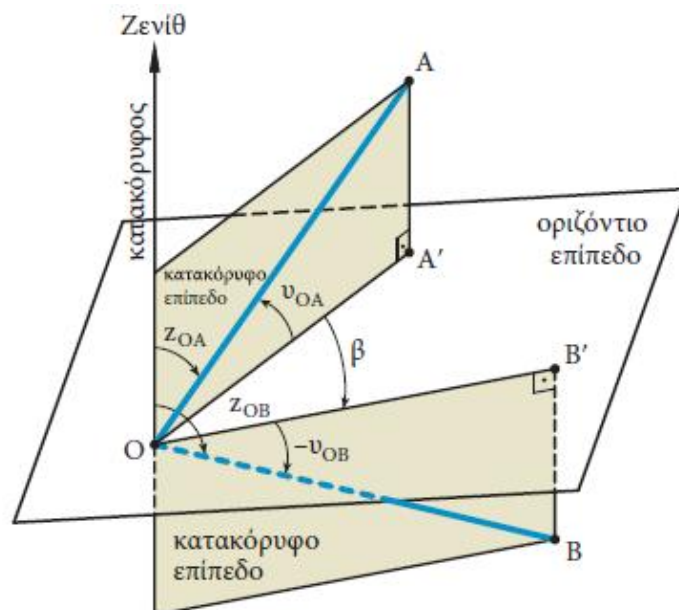
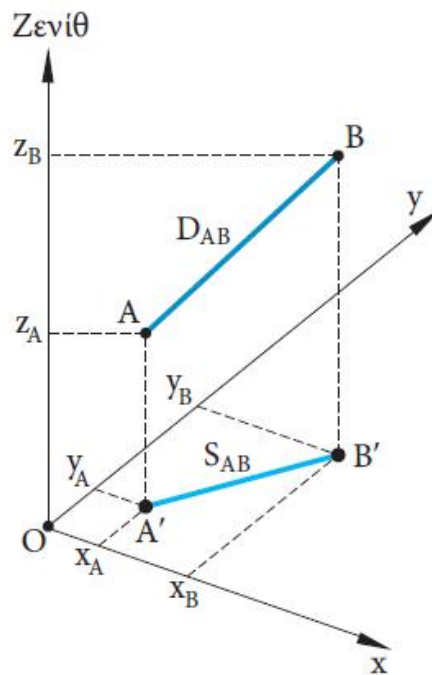


Σχ. 1.9. Η προσπάθεια των ανθρώπων να αναπτύξουν τον τομέα της Γεωδαισίας

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 SAB** ή οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο σημείων A και B, είναι το μέτρο του διανύσματος $A B \varphi \varphi \overline{A'B'}$, όπου A' και B' είναι οι προβολές των A και B σ' ένα οριζόντιο επίπεδο, κατά την κατακόρυφο.

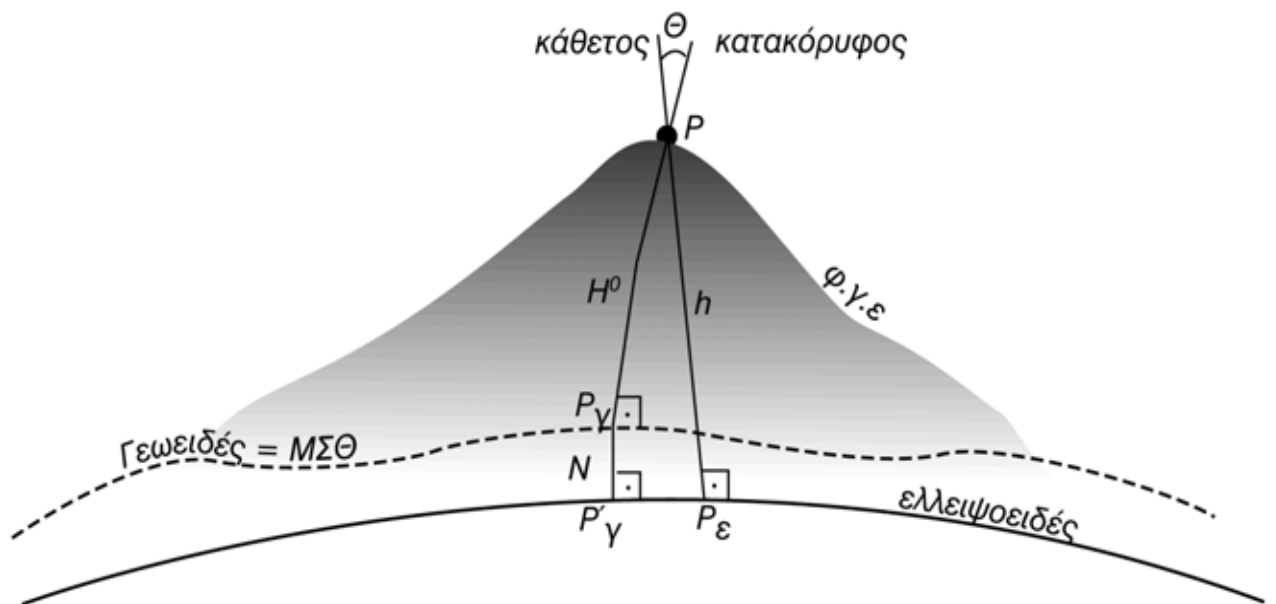


- ◆ **Μήκος DAB** μεταξύ δύο σημείων A και B είναι το μέτρο του διανύσματος $AB \overline{A'B'}$ και εκφράζει την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ των δύο σημείων στον τρισδιάστατο χώρο.
- ◆ **Εμβαδόν** ενός κλειστού πολυγώνου ABΓΔ ... A είναι το εμβαδόν της προβολής του $A'B' \Gamma' \Delta' \dots A'$ στην 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 ΦΓΕ. 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 δίεδρη 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 zOA και η γωνία ύψους υOA .

- ◆ **Ζενίθια γωνία ή ζενίθια απόσταση zOA** είναι η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση OA με τη διεύθυνση της κατακορύφου στο O (σχήμα 1.4). Μετράται δεξιόστροφα με αρχή το ζενίθ του τόπου από $0g$ έως $200g$.
- ◆ **Γωνία ύψους νOA** 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 (νOA) από το οριζόντιο.

Κεφάλαιο 2

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ



2.1 Μέθοδοι Μέτρησης Υψομετρικών Διαφορών

Για συνήθεις ανάγκες της υψομετρίας που συναντά ο μηχανικός σε περιοχές περιορισμένης έκτασης με τις οποίες ασχολείται κυρίως, το υψόμετρο ενός τυχαίου σημείου μπορεί να προσδιορισθεί άμεσα ή έμμεσα από τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς που έχει σε σχέση με ένα σημείο του οποίου το υψόμετρο είναι γνωστό (συνήθως σε ένα τοπικό ή εθνικό σύστημα) και στη συνέχεια προστεθεί το γνωστό υψόμετρο του σημείου αναφοράς:

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB}$$

Όπου είναι H_A το γνωστό υψόμετρο σε σημείο υψομετρικής αναφοράς και ΔH_{AB} είναι μετρημένη υψομετρική διαφορά μεταξύ της θέσης A και του σημείου B.

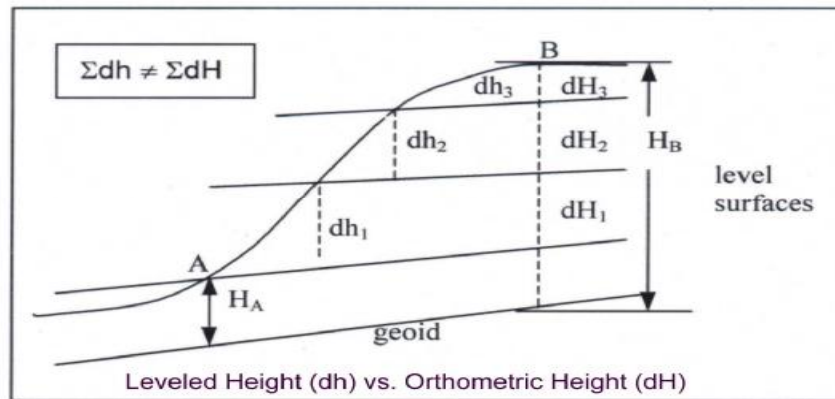
Η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων σε περιορισμένη έκταση προσδιορίζεται με επίγειες μεθόδους και απλά όργανα. Για περισσότερο εκτεταμένες περιοχές ή σε περιοχές όπου κυριαρχεί θαλάσσιο τμήμα η Γεωδαισία αντιμετωπίζει τα θέματα της υψομετρίας με χρήση μεθόδων που βασίζονται σε δορυφορικές μετρήσεις ή με διάφορους συνδυασμούς.

2.2 Επίγειες Μέθοδοι Υψομετρικής Διαφοράς

2.2.1 Γεωμετρική χωροστάθμηση

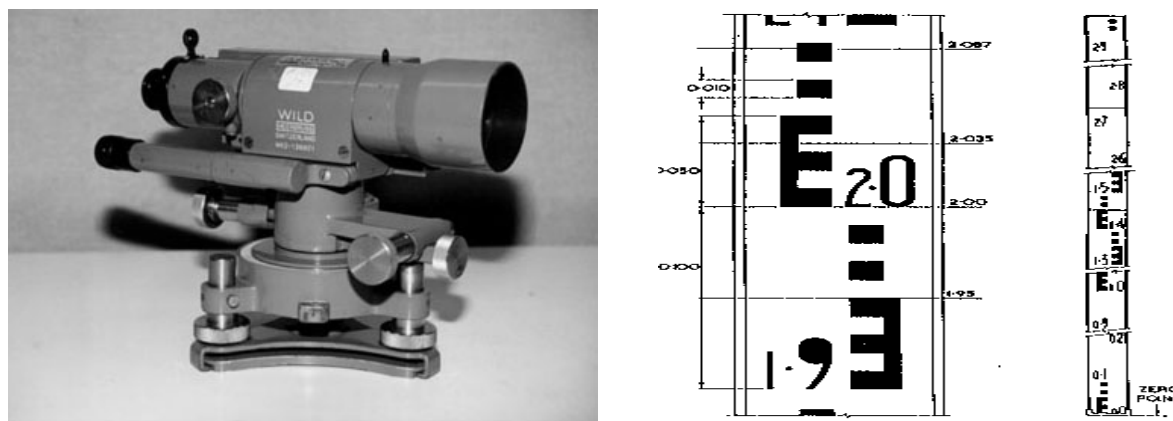
Η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμησης είναι μια άμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών στο ορθομετρικό σύστημα. Θεωρητικά βασίζεται μάλιστα στη γεωμετρία του (νοητού) συστήματος ισοδυναμικών

επιφανειών του βαρυτικού πεδίου της Γης και των κατακόρυφων διευθύνσεων με καλή προσέγγιση για μικρές αποστάσεις.



Σχ. 2.1 Η «αληθής» γεωμετρία μεταξύ κατακόρυφων και ισοδυναμικών επιφανειών στη γεωμετρική χωροστάθμηση. Τα dh δεν είναι ακριβώς ίσα με τις διαφορές dH , αλλά για περιορισμένες εκτάσεις μπορούν να θεωρηθούν ως ίσα.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ως βασικό όργανο το χωροβάτη και ως βοηθητικό εξοπλισμό χωροσταθμικούς πήγεις (σταδίες). Είναι η ακριβέστερη μέθοδος με την οποία μπορούν να επιτευχθούν ακρίβειες της τάξης $\pm 1\text{cm}$ έως 0.5 mm / km . Η ακρίβεια της υψομετρικής διαφοράς εξαρτάται από το **είδος του χωροβάτη** (σ. σ υπάρχουν διάφοροι τύποι χωροβατών ανάλογα με την ακρίβεια που παρέχουν, τα κατασκευαστικά τους μέρη και το σκοπό της χρήσης των και τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η οριζοντίωσή του) από τη μορφή του εδάφους (ομαλό, επικλινές, ορεινό) από την προσεκτική εκτέλεση της μεθόδου στην οποία απαιτείται να γίνεται συνεχής έλεγχος της οριζοντιότητας του χωροβάτη και της κατακόρυφης θέσης των σταδίων.



Σχ. 2.2 Φωτογραφία χωροβάτη (παλαιού τύπου) και είδωλο σταδίας από το τηλεσκόπιο σκόπευσης

Η τελευταία απαίτηση (δηλαδή της οριζοντιότητας και της κατακόρυφης διεύθυνσης τη στιγμή της μέτρησης) είναι απαραίτητη σε όλες τις γεωδαιτικές εργασίες που γίνονται στο ύπαιθρο ανεξάρτητα από το είδος της μέτρησης και από το γεωδαιτικό όργανο που χρησιμοποιείται.

2.2.2 Υδροστατική η Υδραυλική Χωροστάθμιση

Είναι άμεση μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών στο ορθομετρικό σύστημα και βασίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων με τη βοήθεια ειδικής συσκευής. Επιτυγχάνονται με τη μέθοδο αυτή υψηλές ακρίβειες οι οποίες μπορούν να φθάσουν την ακρίβεια της γεωμετρικής χωροστάθμισης.

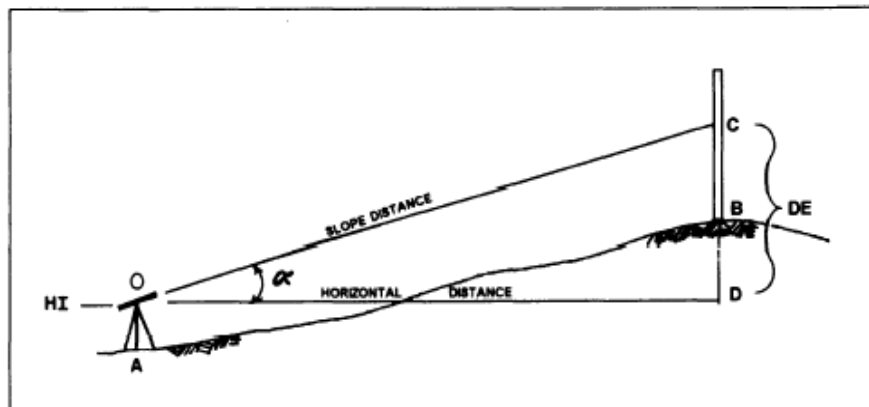
2.2.3 Τριγωνομετρική Υψομετρία

Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη και εφαρμόζεται όταν υπάρχουν λόγοι που η γεωμετρική χωροστάθμιση δεν μπορεί να γίνει. Είναι μια έμμεση μέθοδος προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών με την έννοια ότι η υψομετρική διαφορά προκύπτει από τον υπολογισμό μετρήσεων που έγιναν στο ύπαιθρο. Η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών και αποστάσεων μεταξύ των δύο σημείων, και σε υπολογισμό της υψομετρικής

διαφοράς των ΔH από τα μετρημένα στοιχεία. Το βασικό όργανο που χρησιμοποιείται είναι ένα γωνιομετρικό όργανο (θεοδόλιχο) και όργανα που μετρούν αποστάσεις ή απλή μετροταινία. Εναλλακτικά οι αποστάσεις μπορούν (αν είναι μικρές να μετρηθούν με άλλους τρόπους ή και να υπολογισθούν από συντεταγμένες των σημείων εφόσον είναι γνωστές)

Η ακρίβεια του προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο αυτή είναι της τάξης μερικών εκατοστών του μέτρου και εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία είναι γνωστή ή μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων (A B) και από την ακρίβεια μέτρησης της κατακόρυφης γωνίας από το ένα σημείο στο άλλο (σ.σ η μέτρηση της κατακόρυφης γωνίας αφορά στη ζενίθια γωνία z ή τη γωνία ύψους ν)

Σε αντίθεση όμως με τη προηγούμενη μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη τριγωνομετρική υψομετρία είναι ανεξάρτητη από το είδος του εδάφους (ήπιο ή ορεινό) διότι η μέθοδος βασίζεται στην επίλυση ενός ορθογώνιου τριγώνου του οποίου έχουν μετρηθεί απαραίτητα στοιχεία.

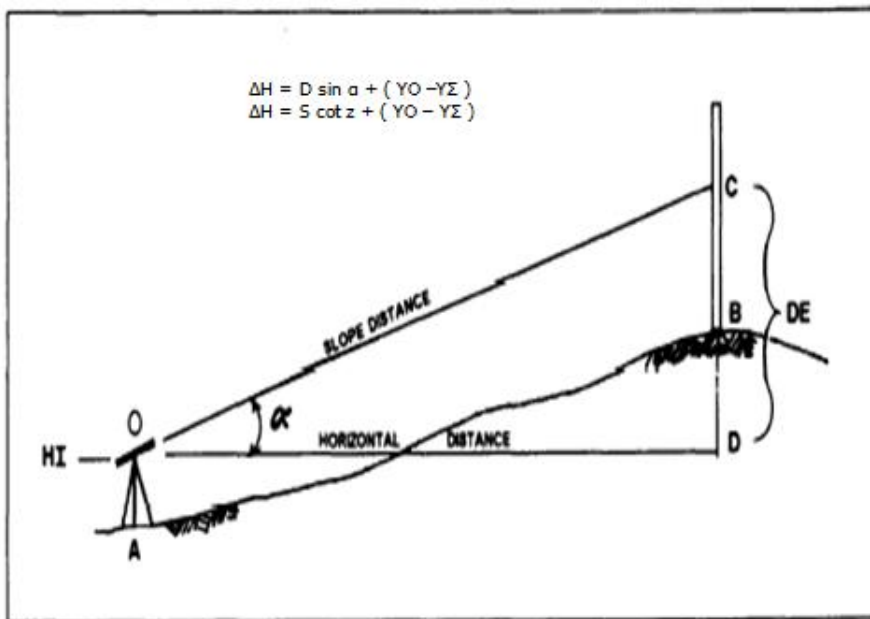


Σχ. 2.3 Σχηματική διάταξη της τριγωνομετρικής υψομετρίας. Στο σημείο A το όργανο μετρά την κατακόρυφη γωνία προς το B (συνήθως τη ζενίθια z)

Η εκτέλεση μετρήσεων υπαίθρου περιλαμβάνει σημαντικές λεπτομέρειες οι οποίες αφορούν στις μετρήσεις που πρέπει απαραίτητα να γίνουν στα επί μέρους στοιχεία του (νοητού) τριγώνου που σχηματίζεται, όπως το ύψος

οργάνου, η ένδειξη σκόπευσης στη σταδία κ. α. Αυτονόητο είναι ότι το όργανο πρέπει να είναι πολύ καλά οριζοντιωμένο.

Η ακρίβεια με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας είναι της τάξης μερικών εκατοστών του μέτρου. Η ακρίβεια της υψομετρικής διαφοράς εξαρτάται από την ακρίβεια της απόστασης (A B) και από την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στη μέτρηση της κατακόρυφης γωνίας (συνήθως μετράται η ζενίθια γωνία). Σε αντίθεση όμως με τη προηγούμενη μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης η ακρίβεια είναι ανεξάρτητη από το είδος του εδάφους (ήπιο ή ορεινό) και εν μέρει από την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων διότι η μέθοδος βασίζεται στην επίλυση ενός ορθογώνιου τριγώνου του οποίου έχουν μετρηθεί απαραίτητα στοιχεία.



Σχ. 2.4 Σχηματική διάταξη του Σχ. 2.3 με περισσότερες χρήσιμες λεπτομέρειες

Για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς ΔH_{AB} χρειάζεται να μετρηθούν στο ύψαιθρο τα στοιχεία:

- Η ζενίθια γωνία z από το A στο B σε συγκεκριμένο ύψος σκόπευσης (Y_Σ)
- Το κεκλιμένο μήκος D_{AB} ή το οριζόντιο S_{AB}

Û Το ύψος οργάνου ($Y. O$)

Û Το ύψος σκόπευσης ($Y. \Sigma$)

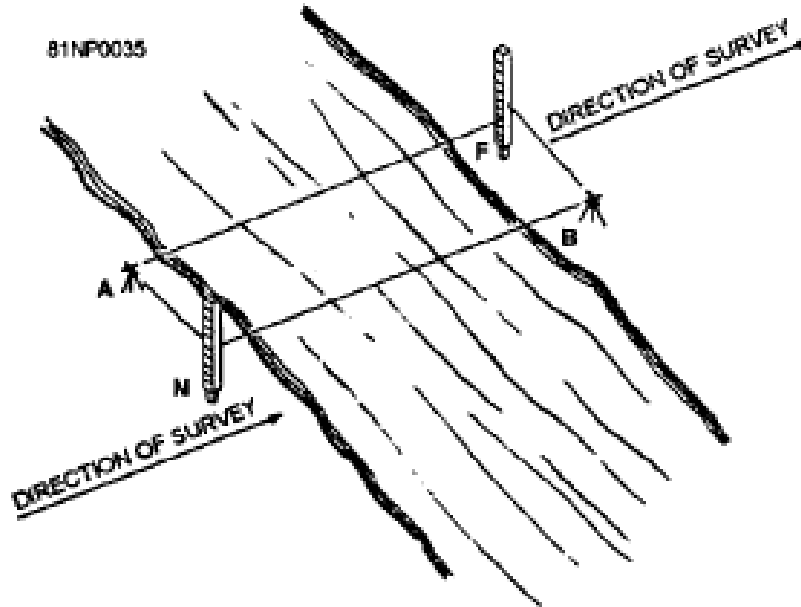
Η μέθοδος της τριγωνομετρικής υψομετρίας εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων A και B (σ. σ τότε η εφαρμογή γεωμετρικής χωροστάθμησης θα χρειαζόταν πολλές στάσεις οργάνου και συνεπώς θα υπάρχει αύξηση χρόνου και σφάλματος). Επίσης εφαρμόζεται όταν η απόσταση AB δεν είναι βατή για να γίνει χωροστάθμηση ή όταν το ένα σημείο δεν είναι προσιτό. Επίσης μπορεί να εφαρμοσθεί και όταν δεν απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια στην υψομετρική διαφορά. Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από το πόσο ακριβής είναι η τιμή της απόστασης AB και δευτερευόντως από την ακρίβεια μέτρησης της κατακόρυφης γωνίας, α ή της ζενίθιας z .

2.2.4 Μέτρηση Υψομετρικής Διαφοράς με Παρεμβολή Εμποδίου

Στις περιπτώσεις που ανάμεσα στα δύο σημεία των οποίων πρόκειται να μετρηθεί η υψομετρική διαφορά παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο τότε ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες που επικρατούν και την επιζητούμενη ακρίβεια της υψομετρικής διαφοράς εφαρμόζονται απλές μέθοδοι για παράκαμψη αυτής της δυσκολίας. Η μέθοδος που εφαρμόζεται είναι είτε η διαφορική είτε η τριγωνομετρική χωροστάθμηση.

Έστω π. χ ότι χρειάζεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο σημείων τα οποία βρίσκονται στις απέναντι όχθες ενός ποταμού ή μεταξύ τους παρεμβάλλεται εμπόδιο που εμποδίζει την ορατότητα ή και τη βατότητα, Είναι φανερό ότι η υψομετρική διαφορά σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να προσδιορισθεί μόνο με κάποιο συνδυαστικό τρόπο γνωστών μεθόδων. Μια μέθοδος όταν το εμπόδιο είναι ποταμός (ύπαρξη νερού) είναι η αμοιβαία χωροστάθμηση. Στην μέθοδο αυτή και στις τις δύο όχθες επιλέγονται κοντινά

σημεία στα αρχικά δύο σε τρόπο ώστε οι αποστάσεις μεταξύ τους να είναι παραπλήσιες (π. χ η $AF \sim NB$ και $AN \sim FB$) και επιδιώκονται οι ταυτόχρονες σκοπεύσεις από τις δύο όχθες (δύο πανομοιότυπα όργανα & σταδίες)



Σχ. 2.5 Η μέθοδος της αμοιβαίας χωροστάθμησης

Για να επιτευχθεί καλύτερη ακρίβεια γίνονται αρκετές σκοπεύσεις από τα A, N και B, F στα απέναντι σημεία τους αμοιβαία και λαμβάνονται υπόψη οι μέσες τιμές όλων των σκοπεύσεων στους υπολογισμούς. Στον τελικό υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή των διαφόρων σκοπεύσεων.

2.2.5 Βαρομετρική Υψομετρία

Η μέθοδος αυτή είναι έμμεση μέθοδος προσδιορισμού ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών. Η μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό της διαφοράς της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ των σημείων. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι τα βαρόμετρα – αλτίμετρα.

Η ακρίβεια προσδιορισμού με τη μέθοδο αυτή είναι περιορισμένη και στην καλύτερη περίπτωση είναι λίγες δεκάδες εκατοστά του μέτρου.



Σχ.2.6 Σύγχρονο βαρόμετρο – αλιμέτρο. (τιμή της τάξης των 400 – 500 Ευρώ)

2.3 Δορυφορικές Μέθοδοι

Εκτός από τις επίγειες μεθόδους μέτρησης υψομετρικής διαφοράς σε περιορισμένες εκτάσεις για συνήθεις σκοπούς, για τις μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ σημείων εφαρμόζονται σήμερα αρκετές μέθοδοι μέτρησης υψομέτρων ή υψομετρικών διαφορών οι οποίες βασίζονται εξ' ολοκλήρου ή ένα μέρος των σε μετρήσεις από το Διάστημα.

Οι δορυφορικές μέθοδοι άρχισαν να αξιοποιούνται στη Γεωδαισία πριν 50 περίπου χρόνια αλλά σήμερα η χρήση τους έχει γενικευθεί σε πολλά αντικείμενα παρατήρησης της Γης και φαινομένων, ενώ κατά την τελευταία δεκαετία εξαπλώνεται η εφαρμογή ορισμένων συστημάτων στην επίγεια Γεωδαισία. Στη Γεωδαισία και ειδικότερα στην Υψομετρία κυριότερες μέθοδοι είναι ο Δορυφορικός Εντοπισμός με το Σύστημα Δορυφόρων GPS (Global

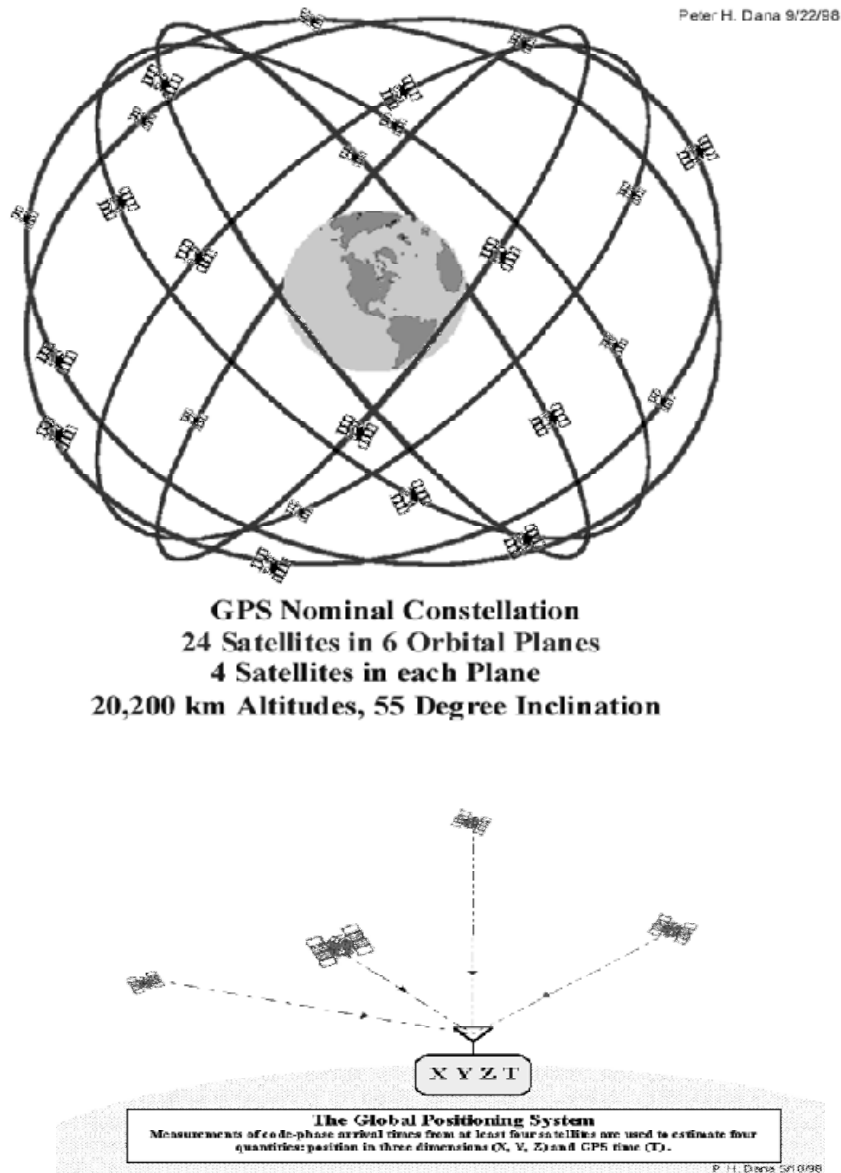
Positioning System) που αναπτύχθηκε μετά το 1985 και η μέθοδος της δορυφορικής αλτιμετρίας που αναπτύχθηκε μετά το 1970 και παρέχει τη στιγμιαία θαλάσσια τοπογραφία από την οποία μπορεί να προκύψει το γεωειδές.



Σχ. 2.7 Ο πρώτος δορυφόρος Galileo

2.3.1 Υψόμετρα με το Σύστημα GPS

Με το σύστημα αυτό είναι δυνατός ο τρισδιάστατος προσδιορισμός θέσεων σημείων σε επίγειους δέκτες από το ειδικά σχεδιασμένο σύστημα των 24 δορυφόρων που κινούνται γύρω από τη Γη. Η θέση που δίνεται με το σύστημα αυτό αναφέρεται σε ένα γεωκεντρικό σύστημα συντεταγμένων και σε σύστημα αναφοράς που ορίζεται με βάση το χρόνο. Η συντεταγμένη του υψομέτρου από το σύστημα αυτό δίνεται στο Γεωδαιτικό ή γεωμετρικό σύστημα. Πρόκειται για υψόμετρα h , τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε ορθομετρικά.



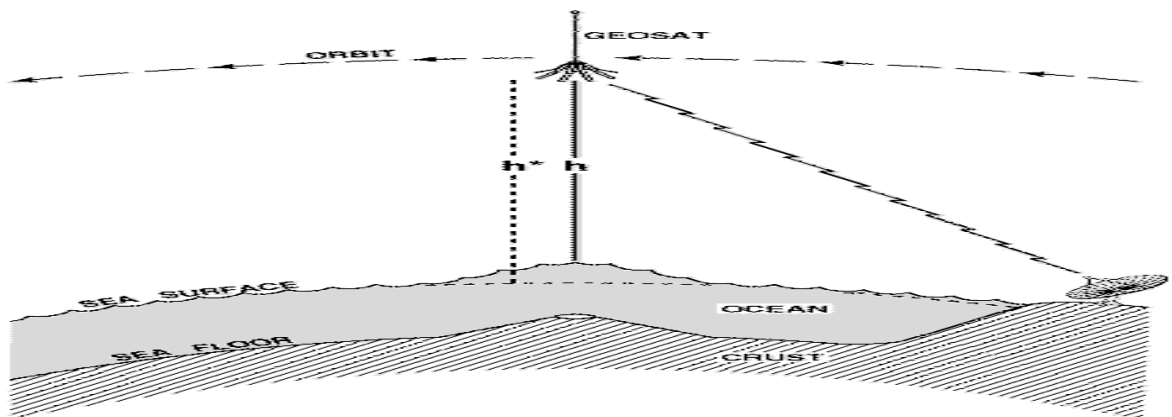
Σχ. 2.8 Η αρχή της μέτρησης γεωμετρικού υψομέτρου h με το σύστημα GPS. Η κάθε τοποθέτηση και μέτρηση από τον επίγειο δέκτη πρέπει να βασίζεται σε σήματα που αποστέλλουν ταυτόχρονα 3 τουλάχιστον δορυφόροι. Η μέτρηση χρειάζεται περίπου 20-30 λεπτά της ώρας.

2.3.2 Υψόμετρα με τη Δορυφορική Αλτιμετρία

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 εξαπλώθηκε η μέθοδος της δορυφορικής αλτιμετρίας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μέτρηση από ένα ραντάρ που βρίσκεται εγκατεστημένο επάνω σε ένα ειδικό δορυφόρο. Η μέτρηση αφορά στην εκπομπή και την επιστροφή ενός σήματος (signal) που ανακλάται στη θάλασσα. Από τα στοιχεία του χρόνου μετάβασης και

επιστροφής υπολογίζεται η στιγμιαία απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και της θάλασσας σύμφωνα με ένα γεωμετρικό μοντέλο της μέτρησης (Σχ.).

Με τον τρόπο αυτό «χαρτογραφείται» η στιγμιαία στάθμη της θάλασσας σε ένα αριθμό σημείων από την οποία (στάθμη) χρειάζεται να αφαιρεθεί ένα μοντέλο τοπικών θαλάσσιων παλιρροιών. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δορυφορικών μετρήσεων δίνει τη μέση στάθμη της θάλασσας (Μ. Σ. Θ) ή τη θαλάσσια τοπογραφία σε διάφορες ακρίβειες. Σήμερα η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι πρακτικά από 1-3 εκ. του μέτρου και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τη μέθοδο επεξεργασίας των αρχικών μετρήσεων. Η μέθοδος έχει επεκταθεί σήμερα και για τα



ηπειρωτικά τμήματα της Γης με το σύστημα SAR (Satellite Radar Aperture).

Σχ.2.9 Σχηματική παράσταση της δορυφορικής αλτιμετρίας

Στην Ευρώπη η Ευρωπαϊκή Εταιρεία Διαστήματος (European Space Agency - ESA) παρέχει έναντι τιμήματος, εικόνες ραντάρ για διάφορες περιοχές οι οποίες μετά από την κατάλληλη επεξεργασία εικόνας, διαδραματίζουν ενεργό ρόλο σε πολλά τεχνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα για τα οποία χρειάζεται η υψομετρία και υψομετρικά δεδομένα. Τέτοια ζητήματα είναι η διαχείριση πλημμύρων, πυρκαγιάς, ηφαιστειακής δραστηριότητας, σεισμικής δράσης και περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Σήμερα (2005) παρά την πολύ μεγάλη εξέλιξη και επικράτηση των Διαστημικών μεθόδων στη Γεωδαισία, για εφαρμογές που σχετίζονται με παρακολούθηση φαινομένων σε μεγάλης έκτασης περιοχές οι επίγειες μέθοδοι υψομετρικής διαφοράς εξακολουθούν να παρέχουν την καλλίτερη ακρίβεια σε σχέση με τις δορυφορικές μεθόδους όταν πρόκειται για τεχνικές εφαρμογές σε περιορισμένες εκτάσεις.

2.4 Πρακτική Εφαρμογή Επίγειων Μεθόδων

Παρά τη πολύ μεγάλη διάδοση των νεώτερων διαστημικών μεθόδων και τη συμβολή τους στην υψομετρία, σήμερα οι συνήθεις εργασίες εύρεσης υψομετρικών διαφορών σε μικρές εκτάσεις εξακολουθούν να γίνονται σε συντριπτικό ποσοστό με τη χρήση επίγειων των επίγειων οργάνων και μεθόδων.

2.4.1 Γεωμετρική Χωροστάθμιση

Η πρακτική διαδικασία της εκτέλεσης *γεωμετρικής χωροστάθμισης* γίνεται με την τοποθέτηση του χωροβάτη στο μέσο περίπου της απόστασης μεταξύ δύο σημείων A και B για τα οποία επιδιώκεται να προσδιορισθεί η υψομετρική διαφορά δH_{AB} . Στα σημεία A και B τοποθετείται κατακόρυφη η σταδία. Η απόσταση μεταξύ του χωροβάτη από τη κάθε σταδία δεν πρέπει να ξεπερνά τα 70 μέτρα το πολύ (σ. σ η μέγιστη απόσταση μπορεί συχνά να είναι μικρότερη από 70 μέτρα και εξαρτάται από την ικανότητα του τηλεσκοπίου του χωροβάτη. Όταν χρησιμοποιούνται απλοί χωροβάτες είναι μικρότερη της τάξης των 30-40 μέτρων.



Σχ.2.10 Φωτογραφίες σύγχρονων τύπων χωροβατών (αυτόματοι)

Ο χωροβάτης πρέπει να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος όταν στοχεύει στην ένδειξη της κάθε σταδίας με το τηλεσκόπιο να βρίσκεται σε απόλυτα οριζόντια σκόπευση. Εάν η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων (AB) είναι μεγαλύτερη από 70-100 μέτρα τότε χρειάζεται να επαναληφθεί η διαδικασία σε άλλη ενδιάμεση θέση της AB (περίπου στην ευθυγραμμία)

Η ανάγκη αυτή εξαρτάται από δύο παράγοντες :

1. Την κατακόρυφη απόσταση των A και B (την υψομετρική τους διαφορά). Το μέγιστο ύψος που μπορεί να μετρηθεί εξαρτάται από το μήκος της σταδίας και από το ύψος του οργάνου στο τρίποδο στήριξής του (Y. O). Εάν το ύψος οργάνου είναι 1.8 μέτρα και το υψόμετρο του σημείου που βρίσκεται η σταδία είναι π. χ 2 μέτρα υψηλότερα από το υψόμετρο του σημείου στο οποίο βρίσκεται ο χωροβάτης δεν είναι δυνατό να γίνει σκόπευση αφού η οριζόντια σκόπευση θα είναι στα .20 μέτρα κάτω από τη σταδία (έδαφος).

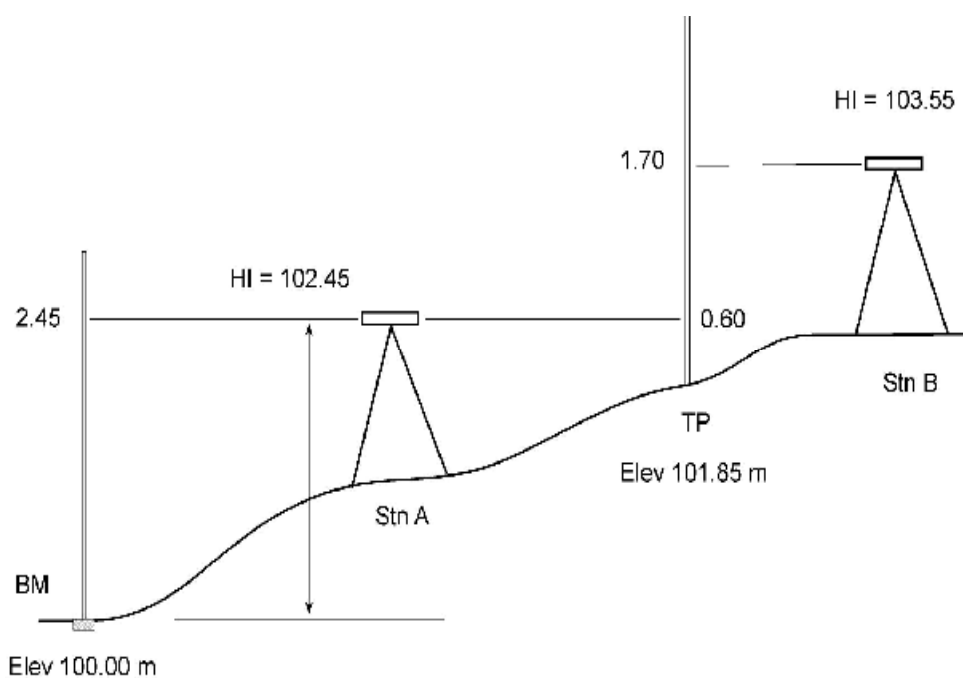
2. Την τήρηση μικρών αποστάσεων στις αποστάσεις μεταξύ του χωροβάτη-σταδίας ώστε να διατηρείται η ακρίβεια της ανάγνωσης των ενδείξεων. Οι υποδιαιρέσεις της σταδίας είναι ανά 1 cm και ο παρατηρητής κάνει εκτίμηση του χιλιοστού.

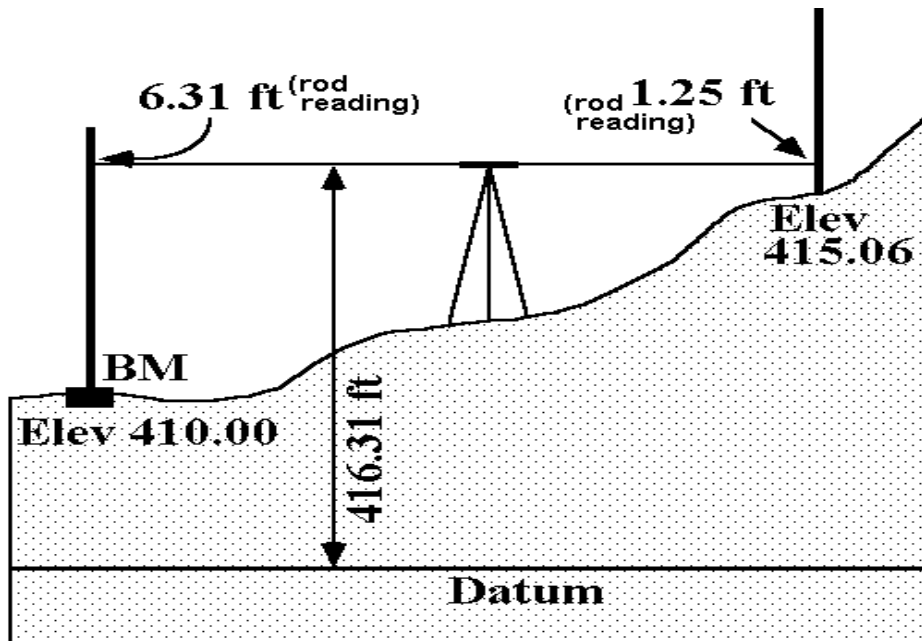
Στη χωροστάθμηση χρησιμοποιούνται 3 βασικοί όροι: Η **οπισθοσκόπευση η εμπροσθοσκόπευση και το σημείο αλλαγής**. Η οπισθοσκόπευση (O) γίνεται σε ένα σημείο *A* που έχει γνωστό υψόμετρο είτε σε ένα συμβατικό τοπικό σύστημα είτε σε ένα σημείο υψομετρικής αναφοράς. Η εμπροσθοσκόπευση (E) γίνεται σε ένα σημείο του οποίου δεν είναι γνωστές οι συντεταγμένες. Αυτό σημαίνει ότι το υψόμετρο του σημείου της εμπροσθοσκόπευσης μπορεί να υπολογισθεί μόνο μετά από την εύρεση της διαφοράς των ενδείξεων μεταξύ της οπισθοσκόπευσης και της εμπροσθοσκόπευσης ($O - E$). Το σημείο αλλαγής είναι ένα σημείο το οποίο αρχικά είναι σημείο εμπροσθοσκόπευσης (με άγνωστο υψόμετρο). Μετά τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς $O-E$, η σταδία στο σημείο αυτό στρέφει όψη κατά 180 μοίρες και επίσης αλλάζει η θέση του χωροβάτη. Δηλαδή μετά την εμπροσθοσκόπευση το σημείο έχει «γνωστό» υψόμετρο οπότε μπορεί να μεταφερθεί σε νέο σημείο χρησιμοποιούμενο τώρα ως σημείο οπισθοσκόπευσης

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΧΩΡΟΒΑΤΗ : Το κυρίως μέρος του χωροβάτη τοποθετείται στον τρίποδα και μια ειδική βίδα που βρίσκεται στον τρίποδα τοποθετείται στο κάτω μέρος του χωροβάτη ώστε το όργανο να στερεωθεί καλά στον τρίποδα. Έπειτα επεκτείνεται το μήκος στα στελέχη του τρίποδα σε ύψος τέτοιο που να είναι ακριβώς επάνω από το επίπεδο του ματιού του παρατηρητή. Μετά βρίσκεται ένα σημείο ενδιάμεσα στα *A* και *B* στο οποίο η σκοπευτική γραμμή του παρατηρητή επιτρέπει να βλέπει ένδειξη στην οπισθοσκόπευση στο *A* και ταυτόχρονα ένα σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί η επόμενη σταδία ως εμπροσθοσκόπευση. Το σημείο αυτό μετά θα χρησιμοποιηθεί ως σημείο

αλλαγής. Τότε ο τρίποδας τοποθετείται σταθερά στο έδαφος και γίνεται η οριζοντίωση του χωροβατη.

- Οι τρεις κοχλίες στη βάση του οργάνου επιτρέπουν μια γρήγορη οριζοντίωση στο οριζόντιο επίπεδο. Το όργανο είναι οριζοντιωμένο όταν η φυσαλίδα της εσωτερικής αεροστάθμης είναι μέσα στον κύκλο. Αφού επιτευχθεί τότε το όργανο στρέφεται κατά μια ορθή γωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις και ελέγχεται πάλι η οριζοντίωση.
- Η οριζοντίωση του οργάνου είναι πολύ σημαντική για την συμπίεση της πιθανότητας σφάλματος κακής τοποθέτησης του οργάνου. Το εύρος του επιτρεπόμενου σφάλματος εξαρτάται από το στόχο της χωροστάθμησης! Το σφάλμα για τη θεμελίωση ενός υψηλού κτιρίου πρέπει να είναι πολύ μικρότερο από το σφάλμα ενός υψομέτρου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση μιας κλίσης στο έδαφος.





Σχ 2.11-2.12 : Πειραματικές μετρήσεις ύστερα από έρευνα

Το επάνω σχήμα δείχνει το παράδειγμα μιας χωροσταθμικής όδευσης με ένα σημείο αλλαγής. Η χωροσταθμική όδευση «μεταφέρει» το υψόμετρο ενός σημείου αναφοράς (refer) προς τη κορυφή ενός λόφου. Η πρώτη τοποθέτηση του χωροβάτη γίνεται στη στάση A και το refer (όπου τοποθετείται η σταδία) χρησιμοποιείται για οπισθοσκόπηση (= 100.00). Έστω ότι η ανάγνωση της σταδίας είναι 2.45 μέτρα; το ύψος οργάνου (Y. O) είναι επομένως στο υψόμετρο $100.00 + 2.45 = 102.45$ μέτρα. Έστω τώρα ότι η εμπροσθοσκόπηση στο σημείο που βρίσκεται η άλλη σταδία δίνει ένδειξη 0.60 μέτρα. Το υψόμετρο σε αυτό το σημείο είναι $Y. O - \text{εμπροσθοσκόπηση} = 102.45 - 0.60 = 101.85$ μέτρα.

Εάν μετακινηθεί ο χωροβάτης σε άλλη στάση, το σημείο της εμπροσθοσκόπησης θα χρησιμοποιηθεί ως οπισθοσκόπηση στρέφοντας την όψη της σταδίας προς τη νέα θέση του χωροβάτη. Το υψόμετρο της νέας θέσης του χωροβάτη είναι τώρα $101.85 + 1.70 = 103.55$, όπου 1.70 είναι η ένδειξη στη σταδία. Το αποτέλεσμα της υψομετρικής διαφοράς είναι

$$\delta H = \Sigma E - \Sigma O$$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το τελικό σημείο προς το αρχικό (επιστροφή) Το αριθμητικό αποτέλεσμα της χωροστάθμησης είναι η μέση τιμή των δύο χωροσταθμήσεων (μετάβαση και επιστροφή). Το δεύτερο σχήμα της ίδιας σελίδας δείχνει την ακριβή γεωμετρία των συνθηκών που ικανοποιούνται κατά τη γεωμετρική χωροστάθμηση μεταξύ χωροβάτη και σταδίων.

Συμπλήρωση εντύπου και υπολογισμοί: Σε κάθε υπαίθρια μέτρηση είναι πολύ σημαντικό να κρατούνται καθαρές και ακριβείς σημειώσεις των μετρήσεων. Ειδικότερα στη χωροστάθμηση η σωστή συμπλήρωση του ειδικού εντύπου επιτρέπει τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς χωρίς να γίνει σύγχυση στα σημεία. Κάθε υπηρεσία διαθέτει ειδικό έντυπο για συμπλήρωση των μετρήσεων που λαμβάνονται στο ύπαιθρο και εάν αυτό δεν συμβαίνει τότε ο ίδιος ο μηχανικός ή ο παρατηρητής συντάσσει έντυπο

2.4.2 Πηγές Σφαλμάτων

Όπως συμβαίνει σε όλες τις μετρήσεις έτσι και στις χωροσταθμήσεις γίνονται σφάλματα τα οποία οφείλονται σε διάφορες πηγές. Τα είδη των σφαλμάτων είναι τριών κατηγοριών:

- Σφάλματα που οφείλονται στα όργανα και τον εξοπλισμό
- Σφάλματα που οφείλονται σε προχειρότητα ή απειρία του μετρητή
- Σφάλματα που οφείλονται σε φυσικά αίτια (σφάλματα μοντέλου)

Τα σφάλματα της πρώτης κατηγορίας είναι απαραίτητο να εξαλείφονται με τακτικούς ελέγχους των οργάνων και του εξοπλισμού ως προς το αν εκπληρώνουν τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Επίσης πρέπει τα όργανα να ελέγχονται και πριν από την εκτέλεση των μετρήσεων

Τα σφάλματα της δεύτερης κατηγορίας περιορίζονται με τη σωστή και προσεκτική εφαρμογή της μεθόδου, τις προσεκτικές αναγνώσεις των ενδείξεων και την απόκτηση πρακτικής εμπειρίας.

Τα σφάλματα της τελευταίας κατηγορίας οφείλονται κυρίως στη διάθλαση του φωτός και στην μη παραλληλία των ισοδυναμικών επιφανειών (= χωροσταθμικές επιφάνειες) Αυτά τα σφάλματα περιορίζονται πολύ με την επιδίωξη ο χωροβάτης να απέχει περίπου το ίδιο από τις δύο σταδίες. Όταν όμως η χωροσταθμική όδευση έχει μεγάλο συνολικό μήκος είναι δυνατό να υπάρξουν τέτοια σφάλματα, τα οποία εάν βρίσκονται μέσα στα όρια των προδιαγραφών θεωρούνται αμελητέα.

2.4.3 Έλεγχος και Εκτίμηση Σφάλματος

Η χωροστάθμηση πρέπει να αρχίζει από ένα σημείο υψομετρικής αναφοράς (με το πραγματικό υψόμετρο ή συμβατικό) και να ολοκληρώνεται στο ίδιο σημείο ώστε να υπάρχει κριτήριο για τον έλεγχο των σφαλμάτων. Το σφάλμα υπολογίζεται από τη σύγκριση του αποτελέσματος που έδωσε η χωροστάθμηση με το θεωρητικό μηδέν (εάν αρχίζει και καταλήγει στο ίδιο σημείο). Εάν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτρέπουν οι Ελληνικοί Κανονισμοί τότε η χωροστάθμηση πρέπει να επαναληφθεί.

Η ακρίβεια της Γεωμετρικής χωροστάθμησης έχει δειχθεί πειραματικά ότι είναι συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του συνολικού μήκους S της χωροσταθμικής όδευσης σε km και της απόλυτης τιμής της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των δύο άκρων (αρχικό – τελικό σημείο). Η αβεβαιότητα ή το τυπικό σφάλμα δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = k_0 + k_1 \sqrt{S} + k_2 \sum [\Delta H]$$

όπου είναι S το μήκος σε km και ΔH η απόλυτη τιμή της υψομετρικής διαφοράς σε m. Για τρέχουσες εργασίες οι τιμές των συντελεστών k_i είναι:

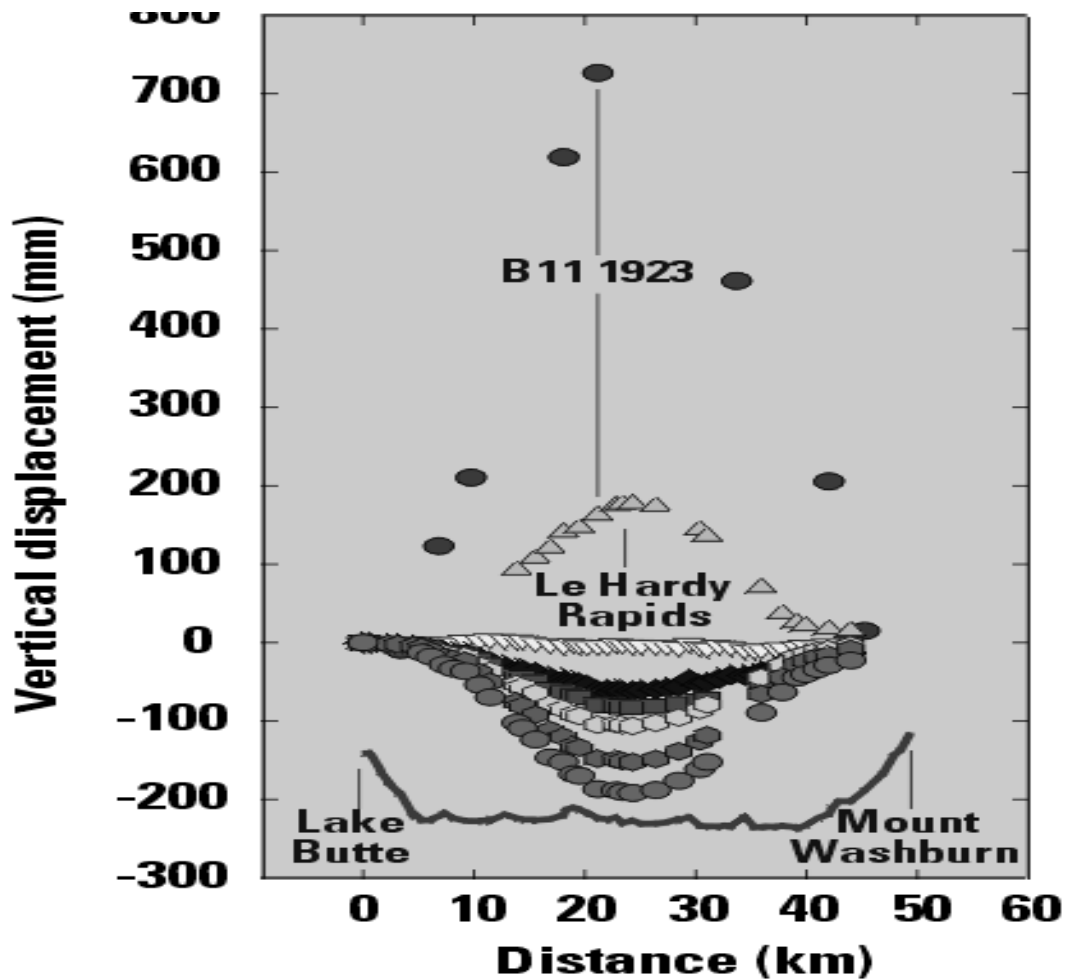
$$k_0 = 0.1 - 0.3, \quad k_1 = 0.5 - 1.5, \quad k_2 = 0.01 - 0.03$$

το αποτέλεσμα εκφράζεται σε cm. Για περιορισμένες μικρές εργασίες οι συντελεστές k_0, k_2 δεν έχουν νόημα.

2.4.4 Έφαρμογές της Χωροστάθμησης

Εκτός από τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων σε μια περιοχή για τις ανάγκες μιας υψομετρικής αποτύπωσης, η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμησης εφαρμόζεται σε πολλές τεχνικές εργασίες που μπορεί να ποικίλουν ως προς το στόχο που έχει ο προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς. Ο στόχος ορίζει και την απαιτούμενη ακρίβεια στα υψομετρικά στοιχεία. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών με μεγάλες απαιτήσεις ακρίβειας είναι ο έλεγχος της κατακόρυφης κίνησης μιας περιοχής ή ενός έργου (π.χ φράγμα). Άλλα παραδείγματα με μικρότερες απαιτήσεις ακρίβειας είναι η λήψη υψομετρικών στοιχείων σε διατομές, ή λήψη υψομέτρων σε κατά μήκος τομές, η εκτίμηση του όγκου των εκσκαφών οδοποιία, σε θεμελιώσεις και σε άλλες τεχνικές εργασίες (χωροστάθμηση επιφάνειας).

Η γεωμετρική χωροστάθμηση με όργανα και μεθόδους ακρίβειας μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί για το *διαχρονικό έλεγχο* του εντοπισμού κατακόρυφων κινήσεων του εδάφους ή κατασκευών. Αυτός ο έλεγχος επιτυγχάνεται με επαναλαμβανόμενες χωροσταθμίσεις.



Σχ. 2.13 Ενδεικτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων επαναλαμβανόμενων χωροσταθμίσεων για την κινητικότητα εδάφους μεταξύ της λίμνης (αριστερό σημείο) και λόφου (δεξί σημείο) σε mm. Η απόσταση των δύο σημείων είναι 50 km

Σε τρέχουσες υψομετρικές εργασίες σε περιορισμένης έκτασης περιοχές γίνονται κατά κανόνα χωροσταθμικές οδεύσεις από σημεία υψομετρικής αναφοράς. Αν οι απαιτήσεις ακρίβειας το επιτρέπουν, τότε από το κάθε σημείο δεν γίνεται μόνο εμπροσθοσκόπευση και οπισθοσκόπευση προς το επόμενο αλλά γίνονται και σκοπεύσεις σε άλλα σημεία των οποίων ενδιαφέρει η τιμή του υψομέτρου ή της υψομετρικής διαφοράς. Τα ενδιάμεσα σημεία επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες που χρειάζονται στη κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ειδικότερα για τη χωροστάθμιση μιας επιφάνειας όταν η επιφάνεια είναι μεγάλη, τότε μπορεί να εφαρμοσθούν διάφορες μέθοδοι. Ενδεικτικές μέθοδοι είναι η μέθοδος καννάβου στην οποία υλοποιείται στην επιφάνεια ένας κάνναβος σημείων. Στη συνέχεια με το χωροβάτη τοποθετημένο σε μια

κατάλληλη στάση Σ προσδιορίζονται οι υψομετρικές διαφορές είτε από τη στάση Σ του χωροβάτη είτε από άλλο σημείο της περιοχής.

Μια παραλλαγή είναι η *ακτινική μέθοδος χωροστάθμησης* στην οποία από ένα κεντρικό σημείο της επιφάνειας χαράσσονται άξονες προς διάφορες κατευθύνσεις και επί αυτών υλοποιούνται σημεία. Η πυκνότητα των σημείων εξαρτάται από το σκοπό, το είδος της περιοχής και την επιθυμητή ακρίβεια. Για τα σημεία αυτά μετράται η απόσταση από το κεντρικό σημείο και η υψομετρική τους διαφορά από αυτό.

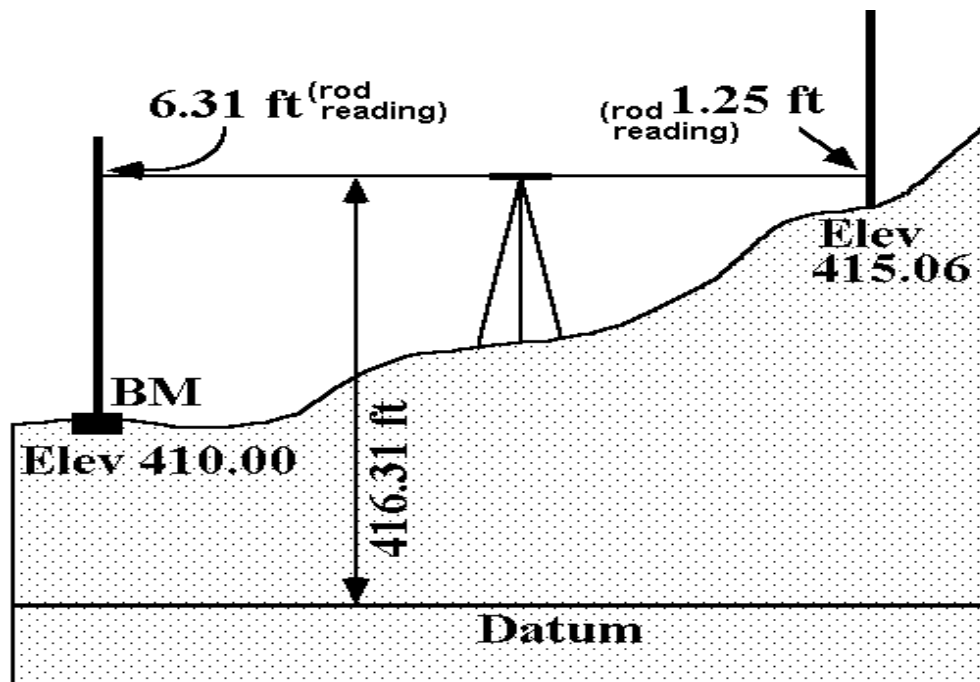
2.4.5 Εφαρμογές της Υψομετρίας

Η ανάγκη του να είναι γνωστές οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ διαφόρων σημείων ή τα υψόμετά τους ή ακόμη και η διαχρονική μεταβολή υψομετρικών διαφορών και υψομέτρων υπάρχει σε πάρα πολλές περιπτώσεις ζητημάτων που αντιμετωπίζουν διάφορες κατηγορίες μηχανικών σήμερα σε σχέση με διάφορους σκοπούς. Οι σκοποί αυτοί μπορούν να καταταγούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες

α) εφαρμογές γεωδαιτικών (υψομετρικών) αποτυπώσεων β) εφαρμογές χαράξεων γ) παρακολούθηση μεταβολής υψομετρικής στάθμης ή κατακόρυφων μετακινήσεων εδάφους ή κατασκευών οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε διάφορα αίτια.

Από τις τρεις κατηγορίες οι συνηθέστερες ανάγκες σε μικρά τεχνικά έργα και μελέτες αφορούν στην *κατηγορία των υψομετρικών αποτυπώσεων* στις οποίες η εφαρμογή των δύο μεθόδων που αναπτύχθηκαν είναι επαρκής με την προϋπόθεση ότι γίνεται με την απαιτούμενη προσοχή και γίνονται όλοι οι έλεγχοι των οργάνων και των αποτελεσμάτων των μετρήσεων ως προς το αν εμπίπτουν στις προδιαγραφές. Βέβαια είναι φανερό ότι και οι άλλες δύο κατηγορίες εφαρμογών έχουν μεγάλο ενδιαφέρον και παρουσιάζουν μεγάλη χρησιμότητα

Û Μέθοδος Γεωμετρικής Χωροστάθμησης



ΓΙΑ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΟΡΓΑΝΟ: ΧΩΡΟΒΑΤΗΣ

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ: ΣΤΑΔΙΕΣ

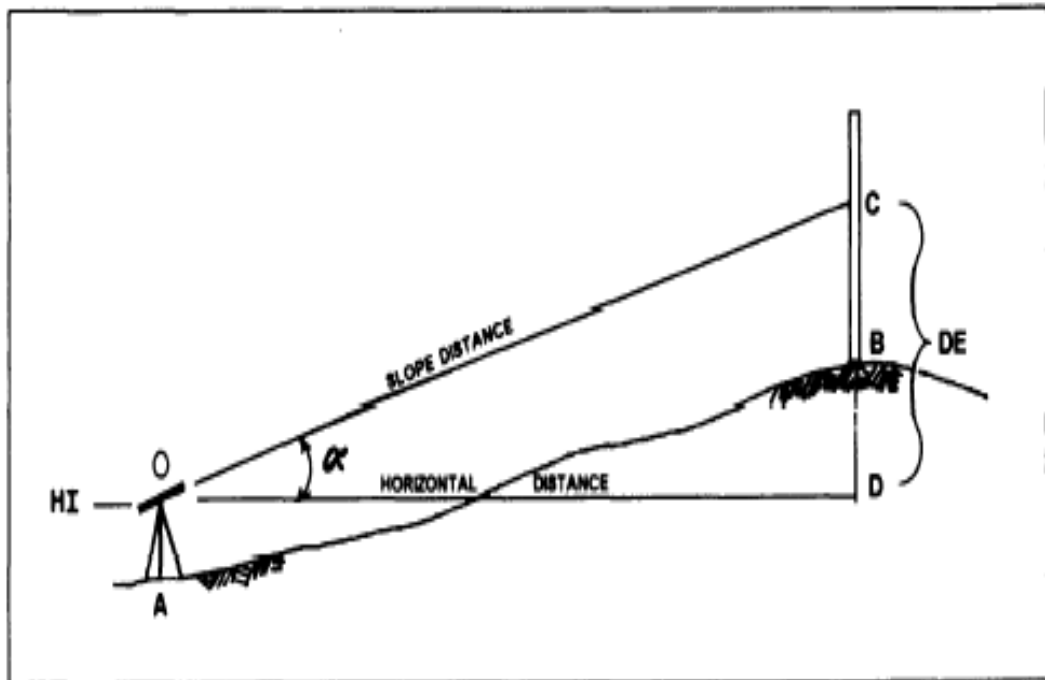
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ: ΜΕΤΑΒΑΣΗ – ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ

Τυπικό σφάλμα για μικρές αποστάσεις: $\sigma = k_1 \sqrt{S}$

$k_1 = 0.5 - 1.5$, $S =$ το μήκος της χωροστάθμησης

Û Μέθοδος Τριγωνομετρικής Υψομετρίας



Μετρώνται: οριζόντια (S) ή κεκλιμένη απόσταση (D)

Ύψος οργάνου (YO)

Ύψος σκόπευσης ($YΣ$)

Κατακόρυφη γωνία

$$\Delta H = D \sin \alpha + (YO - YΣ)$$

$$\Delta H = S \cot z + (YO - YΣ)$$

ΟΡΓΑΝΟ: ΘΕΟΔΟΛΙΧΟ - ΤΑΧΥΜΕΤΡΟ

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ: ΑΚΟΝΤΙΟ Ή ΣΤΑΔΙΑ (αν η απόσταση μετράται ταχυμετρικά), μετροταινία

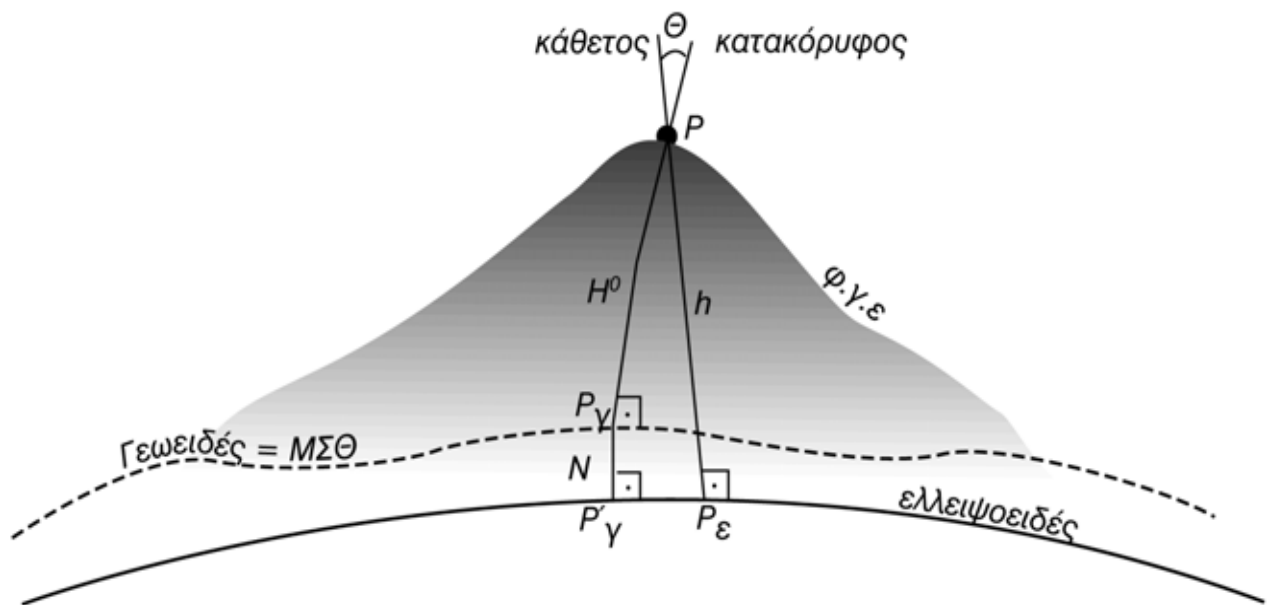
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ: ΔΕΝ ΔΙΑΤΡΕΧΕΤΑΙ Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: Η ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τυπικό σφάλμα μεθόδου: εξαρτάται από τις μετρήσεις και είναι ανεξάρτητο από την απόσταση!!!

Κεφάλαιο 3

ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

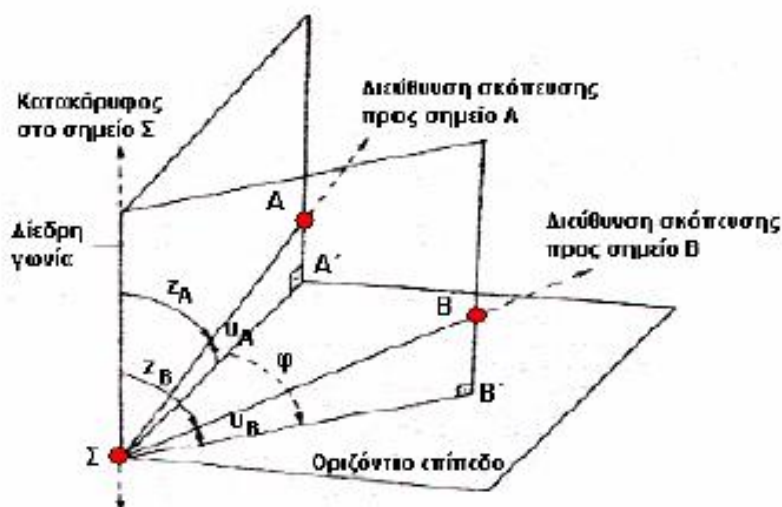


3.1 Όργανα Μέτρησης Γεωδαισίας

Για τις αποτυπώσεις, αλλά και για την κατασκευή διαφόρων τεχνικών έργων χρειάζεται η μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Η μέτρηση μιας γωνίας την οποία σχηματίζουν δύο τεμνόμενες ευθυγραμμίες πάνω στο έδαφος είναι ένα καθημερινό πρόβλημα για τους μηχανικούς.

Στην πράξη οι οριζόντιες γωνίες χρησιμεύουν για τις οριζόντιες αποτυπώσεις (Γηπεδομετρία, Πολυγωνομετρία, Τριγωνισμοί) και για τις χαράξεις τεχνικών έργων (δρόμοι, σήραγγες) κ.λπ. Οι κατακόρυφες γωνίες χρησιμεύουν για τις κατακόρυφες αποτυπώσεις, στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών μεταξύ διαφόρων σημείων και στην ταχυμετρία.

Έστω A και B δύο σημεία του εδάφους και Σ το σημείο στάσης στο οποίο τοποθετείται ένας θεοδόλιχος, όργανο μέτρησης γωνιών (σχ. 1.12). Η κατακόρυφος που διέρχεται από το σημείο Σ και τα σημεία A και B ορίζουν ένα κατακόρυφο επίπεδο που διέρχεται από το A και ένα από το B. Τα κατακόρυφα αυτά επίπεδα τέμνονται κατά την κατακόρυφο στο σημείο Σ και ορίζουν μια διέδρη γωνία. Αν φέρουμε το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το σημείο στάσης Σ, τότε το επίπεδο αυτό τέμνει τη διέδρη γωνία κατά την αντίστοιχη επίκεντρη γωνία $A'SB' = \varphi$. Η γωνία φ είναι η ζητούμενη οριζόντια γωνία μεταξύ των σημείων A και B.



Σχ. 3.1. Ορισμός οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών

Στο έδαφος τα σημεία A και B μπορούν να βρίσκονται ψηλότερα ή χαμηλότερα από το σημείο στάσης Σ. Η οριζόντια γωνία που ορίζουν τα σημεία αυτά προκύπτει πάντοτε από την προβολή των διευθύνσεων σκόπευσης από το σημείο Σ προς τα σημεία A και B πάνω στο οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το σημείο Σ

Η γωνία που σχηματίζεται στο σημείο στάσης Σ από τη διεύθυνση σκόπευσης προς το σημείο A και την προβολή της πάνω στο οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το Σ λέγεται κατακόρυφη γωνία ή γωνία ύψους του σημείου A (σχ. 2.12). Έτσι, η κατακόρυφη γωνία του σημείου A είναι η ν_A και η κατακόρυφη γωνία του σημείου B είναι η ν_B . Για σημεία που βρίσκονται πάνω από το οριζόντιο επίπεδο η κατακόρυφη γωνία είναι θετική, ενώ για σημεία που βρίσκονται κάτω από το οριζόντιο επίπεδο η κατακόρυφη γωνία είναι αρνητική. Σχεδόν όλα τα γωνιομετρικά όργανα αντί της κατακόρυφης γωνίας μετρούν τη συμπληρωματική της που ονομάζεται ζενίθια γωνία ή ζενίθια απόσταση και η οποία αντιπροσωπεύει τη γωνία μεταξύ της κατακόρυφου στο σημείο στάσης Σ και της διεύθυνσης του σκοπευόμενου σημείου. Έτσι, π.χ. η ζενίθια γωνία του σημείου A είναι η z_A και του σημείου B η z_B .

Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα γωνιομετρικό όργανο είναι ο θεοδολίχος (κλασσικός ή –σήμερα– ηλεκτρονικός), ενώ κατά το παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν η γωνιομετρική πυξίδα, η γυροσκοπική πυξίδα και το ορθόγωνο για τη χάραξη ορθών γωνιών.

3.1.1 Θεοδολίχος

Ο θεοδολίχος είναι όργανο μέτρησης οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών. Χρησιμοποιείται τόσο σε γεωδαιτικές, όσο και σε αστρονομικές εργασίες. Η λέξη θεοδολίχος είναι ελληνική και προέρχεται από τις λέξεις θεώμαι και δολίχος. Ο όρος απαντά για πρώτη φορά στην εργασία Pantometria του Άγγλου Leonard Digges που δημοσιεύτηκε το 1571. Εκεί περιγράφεται ένα όργανο που

χρησιμοποιούταν για τη μέτρηση γωνιών και που ονομαζόταν Theodelitus. Ο θεοδόλιχος μπορεί να είναι κλασσικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά στοιχεία) ή ηλεκτρονικός (αποτελείται από οπτικομηχανικά και ηλεκτρονικά στοιχεία)



Σχ. 3.2.(α) Κλασσικός θεοδόλιχος



Σχ. 3.2. (β) Κλασικός θεοδολίχος

Στους ηλεκτρονικούς θεοδολίχους η μέτρηση των γωνιών γίνεται με αυτόματο ηλεκτρονικό τρόπο και η τελική τιμή της γωνίας αναγράφεται σε ψηφιακή οθόνη αναγνώσεων. Τα υπόλοιπα στοιχεία των ηλεκτρονικών θεοδολίχων (σύστημα σκόπευσης – τηλεσκόπιο, άξονες) καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτά των κλασικών θεοδολίχων.

Οι ηλεκτρονικοί θεοδολίχοι χρησιμοποιούνται είτε ως αυτοτελή όργανα γωνιομετρήσεων, είτε σε συνδυασμό με ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης αποστάσεων είτε ως ολοκληρωμένα όργανα γωνιομετρήσεων και μηκομετρήσεων ή γεωδαιτικοί σταθμοί. Το κόστος των ηλεκτρονικών θεοδολίχων είναι σήμερα χαμηλό, όσο και των οπτικών, παρέχουν δε διάφορα πλεονεκτήματα, όπως αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων, απευθείας σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή κ.ά.

Κάθε θεοδολίχος, μπορεί δε να χωρισθεί σε δύο τμήματα:

- Û Το ακίνητο κάτω τμήμα, το οποίο φέρει τον οριζόντιο διαιρεμένο δίσκο αναγνώσεων οριζοντίων γωνιών.
- Û Το κινητό άνω τμήμα, το οποίο φέρει το τηλεσκόπιο και τα βοηθητικά μέσα αναγνώσεων και κινείται γύρω από τους άξονες του θεοδολίχου.

Η εξωτερική όψη των θεοδολίχων διαφέρει ανάλογα με την κατασκευή του κάθε εργοστασίου, αλλά σε κάθε όργανο διακρίνουμε πάντοτε τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά μέρη. Ένας θεοδολίχος πρέπει να ανταποκρίνεται σε ορισμένες συνθήκες, για να μπορέσουμε να μετρήσουμε μια γωνία με ακρίβεια.

3.1.2 Οι Κύριοι Μηχανισμοί των Γεωδαιτικών Οργάνων

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα γωνιομετρικά όργανα πρέπει να γνωρίζουμε απαραίτητα τους λεγόμενους κύριους μηχανισμούς τους. Οι μηχανισμοί κατηγοροποιούνται ως εξής:

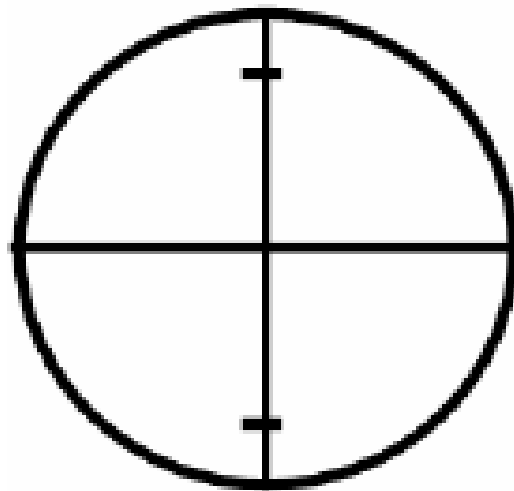
- Û Οι μηχανισμοί σκόπευσης
- Û Οι μηχανισμοί οριζοντίωσης και κατακορύφωσης
- Û Οι μηχανισμοί αναγνώσεων των κλασικών και των ηλεκτρονικών γωνιομετρικών οργάνων

3.1.2.1 Οι Μηχανισμοί Σκόπευσης – Τηλεσκόπιο

Κάθε όργανο διαθέτει τηλεσκόπιο με το οποίο γίνεται η σκόπευση των σημείων για τη μέτρηση γωνιών. Παράλληλα, υπάρχει ένας εξωτερικός μηχανισμός χονδρικής σκόπευσης

- Û Ο εξωτερικός μηχανισμός σκόπευσης χρησιμοποιείται για πρόχειρη (χοντρική) σκόπευση, προσαρμόζεται συνήθως πάνω στο τηλεσκόπιο του γωνιομετρικού οργάνου (σχ. 2.14) και χρησιμεύει για να σκοπεύουμε κατά προσέγγιση, δηλαδή να φέρνουμε το αντικείμενο που παρατηρούμε μέσα στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου.

Û Το τηλεσκόπιο είναι γενικά μια σκοπευτική διάταξη που προσαρμόζεται στο θεοδόλιχο, καθώς και σε άλλα γεωδαιτικά όργανα. Με το τηλεσκόπιο γίνεται η ακριβής σκόπευση του αντικειμένου, απαραίτητη προϋπόθεση να αρχίσει μετά από αυτό οποιαδήποτε μέτρηση. Με το τηλεσκόπιο πετυχαίνουμε να βλέπουμε τα αντικείμενα με γωνία πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που τα βλέπουμε με γυμνό μάτι. Κάθε τηλεσκόπιο αποτελείται από δύο συστήματα φακών, το αντικειμενικό και το προσοφθάλμιο. Τα τηλεσκόπια των θεοδολίχων διαθέτουν σταυρόνημα για τη διευκόλυνση της ακριβούς σκόπευσης. Λέγοντας σκόπευση ενός σημείου εννοούμε την τοποθέτηση του ειδώλου του πάνω στο κέντρο του σταυρονήματος.



Σχ 3.3 Εξωτερικός μηχανισμός σκόπευσης σε τηλεσκόπιο (α), σταυρόνημα τηλεσκοπίου (β) και σκόπευση σημείου με τη βοήθεια του σταυρονήματος

Έτσι, για να κάνουμε μια σκόπευση με το τηλεσκόπιο:

Û σκοπεύουμε αρχικά το σημείο με τον εξωτερικό μηχανισμό σκόπευσης

Û σκοπεύουμε μέσα από τον προσοφθάλμιο, ρυθμίζοντάς τον συγχρόνως, ώσπου να

δούμε καθαρά το είδωλο του σκοπευόμενου σημείου
Ύρρυθμίζουμε το σταυρόνημα, για να φαίνεται κι αυτό με ευκρίνεια
Ύμε τη βοήθεια κατάλληλων κοχλιών φέρνουμε το σκοπευόμενο σημείο
ακριβώς στο
κέντρο του σταυρονήματος

3.1.2.2 Οι Μηχανισμοί Οριζοντίωσης και Κατακορύφωσης

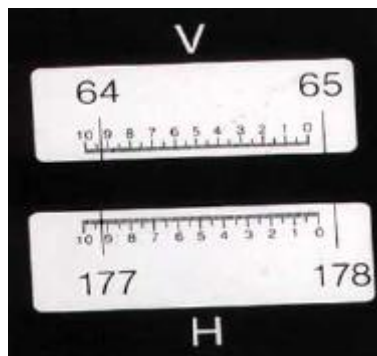
Στους μηχανισμούς οριζοντίωσης και κατακορύφωσης των γωνιομετρικών άνων ανήκουν οι αεροστάθμες. Διακρίνουμε δύο είδη αεροσταθμών: τις σφαιρικές χοντρική οριζοντίωση και κατακορύφωση και τις σωληνωτές ή κυλινδρικές για ιβή οριζοντίωση και κατακορύφωση

3.1.2.3 Οι Μηχανισμοί Αναγνώσεων των Γεωδαιτικών Οργάνων

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των κλασσικών γωνιομετρικών οργάνων είναι ο διαιρεμένος κύκλος ή δίσκος, που η εξέλιξή του βοήθησε πολύ στην αύξηση της ακρίβειάς τους. Οι δίσκοι αυτοί είναι διαιρεμένοι σε 400 gon και οι διαιρέσεις αυξάνουν σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ωρολογίου. Σε κάθε όργανο υπάρχει ένας δίσκος για τη μέτρηση των οριζόντιων γωνιών και ένας για τη μέτρηση των κατακόρυφων. Για τις αναγνώσεις πάνω στους δίσκους με ακρίβεια χρησιμοποιούνται οι μηχανισμοί ανάγνωσης, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι το μικροσκόπιο, το οπτικό μικρόμετρο και ο βερνιέρος. Ο παρατηρητής βλέπει τις ενδείξεις των δίσκων μέσω ενός προσοφθαλμίου αναγνώσεων.



Σχ. 3.4. Σφαιρική και σωληνωτή ή κυλινδρική αεροστάθμη



(α)



(β)

Σχ. 3.5. Μικροσκόπιο με κλίμακα (α) και προσοφθάλμιος αναγνώσεων σε θεοδόλιχο (β)

Στα ηλεκτρονικά γωνιομετρικά όργανα η μέτρηση των γωνιών γίνεται με ηλεκτρονικά συστήματα. Κάθε κατασκευαστική εταιρεία χρησιμοποιεί δικό της σύστημα. Πάντως τα διάφορα συστήματα μέτρησης βασίζονται στις ίδιες βασικές αρχές. Στο πιο διαδεδομένο από τα συστήματα αυτά, η μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών γίνεται με τη χρησιμοποίηση δύο λυχνιών LED που φωτίζουν το βασικό δίσκο (οριζόντιο ή κατακόρυφο). Ο δίσκος έχει χαραγές σε κανονικά διαστήματα. Μια πλάκα με πυκνότερες διέρχεται από το δίσκο κατά την επιστροφή του. Η τιμή της γωνίας προκύπτει ακριβώς από την

τιμή αυτής της έντασης με μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Τα αποτελέσματα των ενδείξεων εμφανίζονται σε ειδική οθόνη αναγνώσεων σε ψηφιακή μορφή (σχ. 2.17). χαραγές παρεμβάλλεται ανάμεσα στα LED και στο δίσκο. Κάτω από το δίσκο υπάρχουν φωτοανιχνευτές που μετρούν τη συνολική ένταση του φωτός που



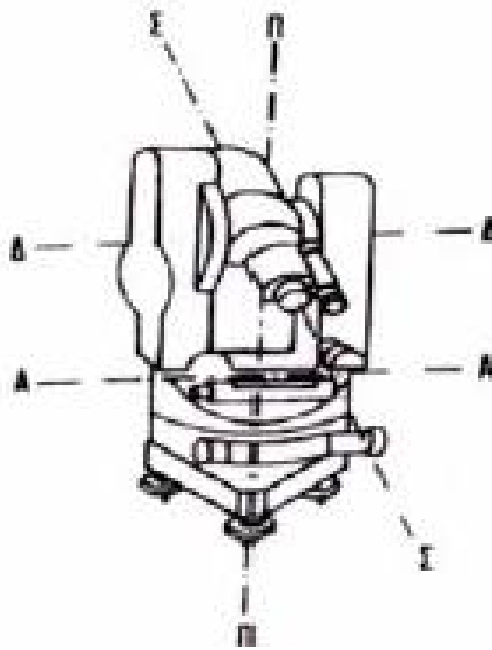
Σχ. 3.6. Οθόνη αναγνώσεων σε ηλεκτρονικό θεοδολίχο

Έτσι, οι μηχανισμοί αναγνώσεων στους ηλεκτρονικούς θεοδολίχους είναι οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD) πάνω στα όργανα (συνήθως και στις δύο πλευρές των οργάνων). Στις οθόνες αυτές παρουσιάζονται απευθείας οι ενδείξεις των δίσκων. Υπάρχουν επίσης και πλήκτρα ελέγχου της λειτουργίας των οργάνων.

3.1.2.4 Οι Άξονες του Θεοδολίχου

Το κινητό μέρος του θεοδολίχου μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα ΠΠ, που ονομάζεται πρωτεύοντας άξονας του θεοδολίχου. Το τηλεσκόπιο, που βρίσκεται στο κινητό μέρος του θεοδολίχου, φέρει μαζί του συνδεδεμένο δίσκο για τη μέτρηση κατακόρυφων γωνιών και μπορεί να στρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα ΔΔ, που ονομάζεται δευτερεύοντας άξονας του θεοδολίχου. Τέλος, ο άξονας του τηλεσκοπίου, δηλαδή ο

σκοπευτικός άξονας ΣΣ, αποτελεί έναν τρίτο άξονα βασικής σημασίας για το θεοδόλιχο.



Σχ. 3.7. Οι άξονες ενός θεοδολίχου

Για να μπορέσουμε με ένα θεοδόλιχο να μετρήσουμε μια γωνία με ακρίβεια, πρέπει αυτός να ανταποκρίνεται στις παρακάτω συνθήκες:

- Ο άξονας ΠΠ να είναι κατακόρυφος
- Ο άξονας ΔΔ να είναι κάθετος στον ΠΠ
- Ο άξονας ΣΣ να είναι κάθετος στον ΔΔ

Όταν κάποια ή κάποιες από τις συνθήκες αυτές δεν πληρούνται, τότε ο θεοδόλιχος αντιμετωπίζει δυσλειτουργία που εισάγει διάφορα σφάλματα στις μετρήσεις.

3.1.2.5 Μέτρηση Γωνιών

Ο θεοδόλιχος μετράει οριζόντιες και κατακόρυφες ή ζενίθιες γωνίες. Για να μετρήσουμε μια γωνία, θα πρέπει να προηγηθούν μια σειρά από προετοιμασίες. Η μέτρηση των γωνιών γίνεται με διάφορες μεθόδους. Τέλος, δεν πρέπει να

ξεχνούμε ότι η ακρίβεια επηρεάζεται από τα σφάλματα των μετρήσεων. Οι κυριότερες φάσεις της διαδικασίας μέτρησης είναι:

- Û Η προεργασία μιας γωνιομέτρησης
- Û Η κέντρωση του θεοδολίχου
- Û Η κατακορύφωση του πρωτεύοντα άξονα - Οριζοντίωση του θεοδολίχου
- Û Η μέτρηση οριζόντιων γωνιών
- Û Η μέτρηση κατακόρυφων γωνιών

Η προεργασία μιας γωνιομέτρησης :

Κάθε θεοδολίχος συνοδεύεται από έναν τρίποδα μη πτυσσόμενο ή πτυσσόμενο, ξύλινο ή μεταλλικό. Με τη βοήθεια του τρίποδα τοποθετείται ο θεοδολίχος πάνω στην κορυφή της γωνίας που πρόκειται να μετρηθεί (σχ. 19). Προϋποτίθεται ότι έχει γίνει η σήμανση του σημείου.

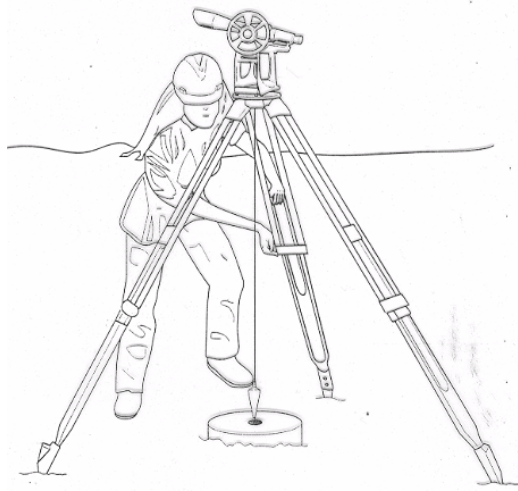


Σχ. 3.8. Θεοδολίχος σε τρίποδα

Η κέντρωση του θεοδολίχου

Κέντρωση του οργάνου ονομάζεται η τοποθέτησή του πάνω στην κορυφή της γωνίας που πρόκειται να μετρήσουμε έτσι, ώστε ο πρωτεύοντας

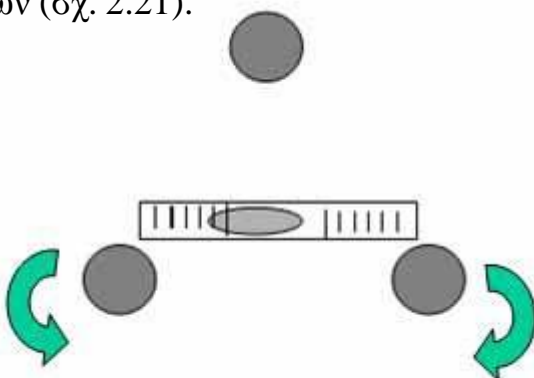
άξονας να διέρχεται από την κορυφή. Η κέντρωση πετυχαίνεται με το νήμα της στάθμης (σχ. 2.20), οπτικά με το ειδικό σύστημα κέντρωσης που διαθέτει κάθε όργανο, με ειδικές ράβδους κέντρωσης και δυναμικά (εξαναγκασμένη κέντρωση ή αυτοκέντρωση).



Σχ. 3.9 Κέντρωση θεοδολίχου με νήμα της στάθμης

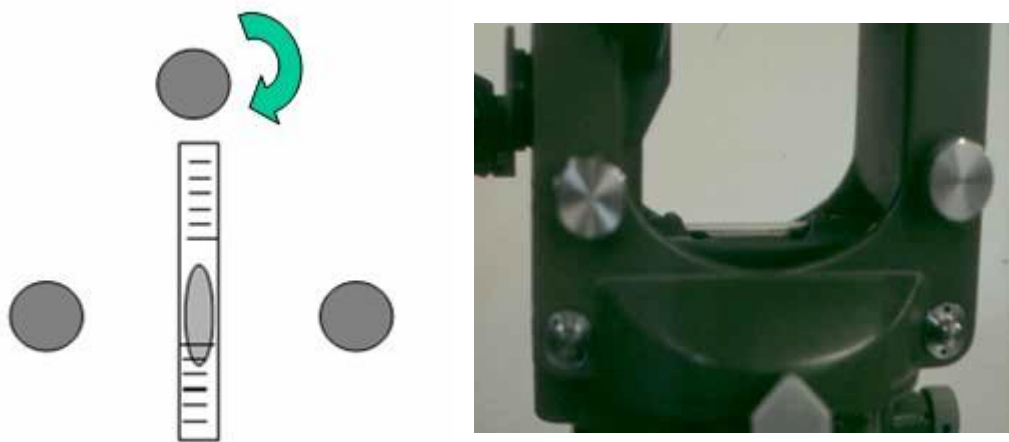
Η κατακορύφωση του πρωτεύοντα άξονα - Οριζοντίωση του θεοδολίχου

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μέτρηση των γωνιών είναι η οριζοντίωση του θεοδολίχου. Η κατακορύφωση του πρωτεύοντα άξονα – οριζοντίωση του οργάνου πετυχαίνεται με τη βοήθεια της σωληνωτής αεροστάθμης. Προϋποτίθεται ότι έχει γίνει η χονδρική οριζοντίωση του οργάνου με τη σφαιρική αεροστάθμη. Για το σκοπό αυτό φέρουμε την αεροστάθμη έτσι, ώστε να γίνει παράλληλη προς δύο κοχλίες του τρικοχλίου και φέρουμε τη φυσαλίδα στο κανονικό της σημείο με τη βοήθεια αυτών των κοχλιών (σχ. 2.21).



Σχ. 3.10 Οριζοντίωση θεοδολίχου με τους κοχλίες του τρικοχλίου – 1

Στη συνέχεια στρέφουμε το όργανο κατά 100 gon και φέρουμε τη φυσαλίδα της αεροστάθμης στο κανονικό της σημείο με τον τρίτο κοχλία



Σχ. 3.11 Οριζοντίωση θεοδολίχου με τους κοχλίες του τρικοχλίου
– 2

Η παραπάνω εργασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές, ώσπου η φυσαλίδα να παραμένει στο κανονικό της σημείο σε οποιαδήποτε θέση κι αν βρίσκεται η αεροστάθμη.

Οι μέθοδοι μέτρησης οριζόντιων γωνιών

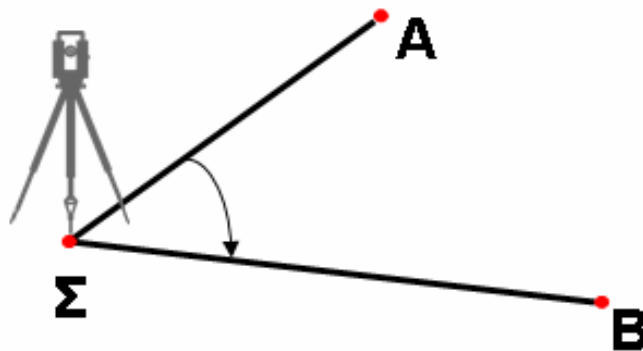
Μετά την κέντρωση και οριζοντίωση του θεοδολίχου, αυτός είναι έτοιμος για τη μέτρηση οριζόντιων γωνιών. Έχουμε τις παρακάτω μεθόδους μέτρησης οριζόντιων γωνιών:

- την απλή περιοδική μέθοδο

- τη μέθοδο των διευθύνσεων
- τη μέθοδο των επαναλήψεων
- τη μέθοδο κατά τομείς
- τη μέθοδο με όλους τους συνδυασμούς

Καθεμιά από τις παραπάνω μεθόδους παρέχει και διαφορετική ακρίβεια. Οι δύο πρώτες μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως στις απλές τοπογραφικές εργασίες και στην πολυγωνομετρία. Η τρίτη μέθοδος είναι μεγάλης ακριβείας, για την εφαρμογή της όμως χρειάζεται ειδικός επαναληπτικός θεοδόλιχος. Τέλος, οι δύο τελευταίες μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως στον τριγωνισμό.

Η **απλή περιοδική μέθοδος** εφαρμόζεται, όταν από μια στάση Σ έχουμε να σκοπεύσουμε δύο σημεία A και B (δύο διευθύνσεις). Κάθε μέτρηση γίνεται στρέφοντας το θεοδόλιχο κατά τη φορά των δεικτών του ωρολογίου (θετική φορά) (σχ. 2.23).



Σχ. 3.12. Μέτρηση οριζόντιας γωνίας ΣAB

Για τη μέτρηση της γωνίας ΣAB , σκοπεύουμε το σημείο A, λαμβάνουμε την ανάγνωση α_1 και στη συνέχεια στρέφουμε δεξιόστροφα το όργανο και σκοπεύουμε το σημείο B κι έστω β_1 η ανάγνωση. Όλα τα παραπάνω γίνονται έχοντας το τηλεσκόπιο στη θέση I (κατακόρυφος δίσκος αριστερά). Μετά αναστρέφουμε το τηλεσκόπιο (θέση II, κατακόρυφος δίσκος δεξιά), περιστρέφουμε το όργανο και ξανασκοπεύουμε το σημείο B. Έστω ότι η ανάγνωση είναι τώρα β_2' . Στη συνέχεια στρέφουμε αριστερά

το όργανο και σκοπεύουμε το σημείο Α. Έστω α_2 η νέα ανάγνωση. Οι αναγνώσεις α_1 , α_2 και β_1 , β_2 πρέπει να διαφέρουν οπωσδήποτε κατά 200 gon. Αποκλίσεις υπάρχουν μόνο στα δεκαδικά. Ως μέσος όρος λαμβάνεται ο μέσος όρος των δεκαδικών των παραπάνω αναγνώσεων και το ακέραιο μέρος των αναγνώσεων α_1 και β_1 . Έστω ότι τα αποτελέσματα είναι α και β . Η διαφορά ($\beta - \alpha$) είναι η τιμή της γωνίας που μετρούμε.

«Λέμε» ότι η γωνία μετρήθηκε σε μια περίοδο, όταν εργαζόμαστε κατ'αυτόν τον τρόπο. Για μεγαλύτερη ακρίβεια και για να εξαλείψουμε τα σφάλματα διαιρέσεων του δίσκου, η γωνία μετράται συνήθως σε δύο ή τρεις περιόδους. Κάθε νέα περίοδος αρχίζει και από διαφορετική θέση του δίσκου. Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ειδικό έντυπο

Σημεία Σκόπευσης	I	II	Μέσος Όρος	Γωνία ϕ_i	Γενικός Μέσος Όρος II
ΠΕΡΙΟΔΟΣ I					
A	25.324	225.325	25.324	69.460	
B	94.782	294.786	94.784		
ΠΕΡΙΟΔΟΣ II					
A	α_1 θέση I	α_2 θέση II	A= μ.ό. α_1 & α_2	B - A	
B	β_1 θέση I	β_2 θέση II	B= μ.ό. β_1 & β_2		

Σχ. 3.13. Έντυπο μέτρησης οριζόντιων γωνιών με την απλή περιοδική μέθοδο

Η μέτρηση κατακόρυφων γωνιών

Για τη μέτρηση μιας κατακόρυφης γωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν θεοδόλιχοι που μετρούν είτε απευθείας αυτήν (ν) είτε την αντίστοιχη ζενίθια γωνία (z). Στην περίπτωση αυτή σκοπεύεται ένα σημείο

με το άνω, το μέσο και το κάτω νήμα του σταυρονήματος του τηλεσκοπίου σε ορθή θέση και καταγράφονται οι αντίστοιχες ενδείξεις του κατακόρυφου δίσκου σε σχετικό έντυπο μετρήσεων. Μετά ο θεοδόλιχος γυρίζει σε ανάστροφη θέση, οπότε το κάτω νήμα είναι τώρα στο πάνω μέρος του τηλεσκοπίου. Μετρούμε και πάλι με τα τρία νήματα και σημειώνουμε τις ενδείξεις για το κάτω, το μεσαίο και το άνω νήμα στο έντυπο.

3.1.3 Γεωδαιτικοί σταθμοί

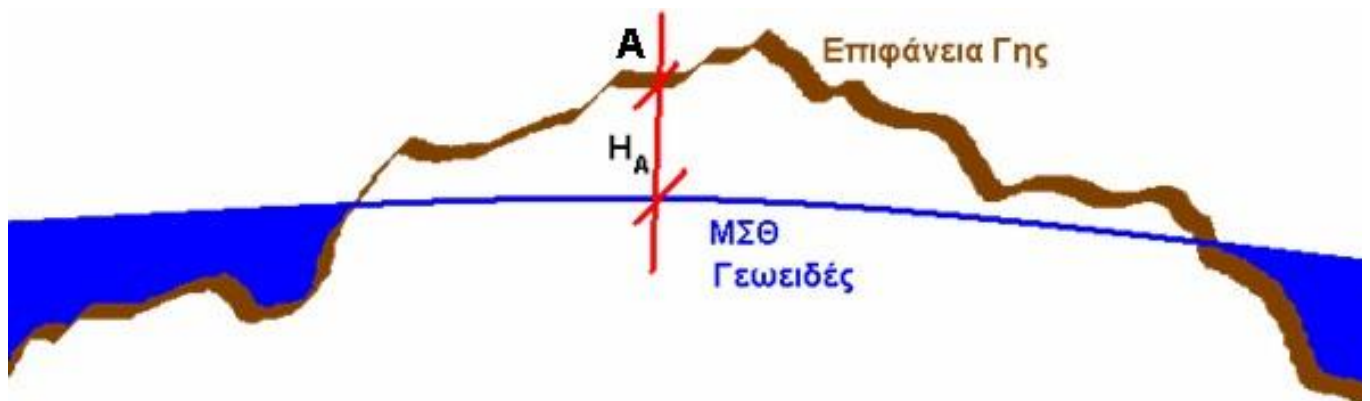
Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα ηλεκτρονικών ταχυμέτρων με ηλεκτρονική μέτρηση αποστάσεων και γωνιών αναπτύχθηκαν σε σημαντικό βαθμό. Κατασκευάστηκαν ολοκληρωμένα όργανα ηλεκτρονικής μέτρησης γωνιών και μηκών εφοδιασμένα με πολλά προγράμματα υπολογισμών στο πεδίο. Αυτά τα σύγχρονα όργανα είναι γνωστά ως **Γεωδαιτικοί Σταθμοί** (Total stations). Στους γεωδαιτικούς σταθμούς η εκπομπή και η λήψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας για τη μέτρηση μηκών γίνεται κατά μήκος του σκοπευτικού άξονα του τηλεσκοπίου τους (όργανα ομοαξονικά). Σήμερα το βάρος των εταιρειών κατασκευής γεωδαιτικών οργάνων έχει δοθεί στην ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη των Γεωδαιτικών Σταθμών. Οι γεωδαιτικοί σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση τριγωνομετρικών και τριπλευρικών δικτύων, για τη μέτρηση οδεύσεων, για την ταχυμετρική αποτύπωση μιας περιοχής καθώς και για εργασίες χάραξης διαφόρων τεχνικών έργων με πολύ καλά αποτελέσματα.

Όσα αναφέρθηκαν στις παραπάνω παραγράφους σχετικά με την ηλεκτρονική μέτρηση μηκών και γωνιών ισχύουν για τους γεωδαιτικούς σταθμούς

3.2 Όργανα και μέθοδοι μέτρησης υψομετρικών διαφορών

Η **υψομετρία** είναι το κεφάλαιο εκείνο της Τοπογραφίας που εξετάζει τα όργανα και τις μεθόδους με τη βοήθεια των οποίων πετυχαίνεται η μέτρηση ή ο υπολογισμός της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων της επιφάνειας της Γης.

Το υψόμετρο των διαφορών σημείων του εδάφους καθορίζεται με τη βοήθεια της κατακόρυφης απόστασής τους από τη **μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας (ΜΣΘ)**, την οποία φανταζόμαστε να επεκτείνεται και κάτω από τις προεξοχές της Γης (**Γεωειδές**). Το υψόμετρο αυτό ονομάζεται **απόλυτο ή ορθομετρικό υψόμετρο**.



Σχ. 3.14. Ο ορισμός του απόλυτου υψομέτρου ενός τόπου

Η μέση στάθμη της θάλασσας προσδιορίζεται με βάση μακροχρόνιες παρατηρήσεις και η μεταβολή της αποτελεί γενικά περιοδικό φαινόμενο που ονομάζεται **παλίρροια**. Τα αίτια που την επηρεάζουν είναι οι άνεμοι, τα θαλάσσια ρεύματα, η έλξη της Σελήνης και του Ήλιου στην υδάτινη μάζα της Γης, η διαφορά της βαρομετρικής πίεσης κ.λπ. Ο καθορισμός της μέσης

στάθμης πετυχαίνεται με ειδικά όργανα, τους **παλιρροιογράφους**. Για να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των υψομέτρων διαφόρων

3.2.1 Ο Χωροβάτης

Ο χωροβάτης είναι το σπουδαιότερο όργανο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Είναι ένα όργανο που έχει ως σκοπό να υλοποιεί μια οριζόντια ευθεία, δηλαδή μια ευθεία κάθετη προς την κατακόρυφο του σημείου στάσης. Κατά τη στροφή του χωροβάτη γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα η σκοπευτική του γραμμή διαγράφει ένα οριζόντιο επίπεδο.

Ο χωροβάτης αποτελείται από τον **υποστάτη** και το **κυρίως όργανο**. Ο υποστάτης αποτελείται από τον **τρίποδα** και την **κεφαλή** του. Ανάλογα με το σχήμα της κεφαλής του υποστάτη, διακρίνουμε αυτούς που έχουν κωνική κεφαλή και αυτούς που έχουν επίπεδη κεφαλή (είναι και οι περισσότεροι στην πράξη). Το κυρίως όργανο αποτελείται από τη βάση ή τρικόχλιο, το τηλεσκόπιο και την αεροστάθμη.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης στους οποίους η σωληνωτή αεροστάθμη και ο μικρομετρικός κοχλίας για τη μεταβολή της κλίσης του σκοπευτικού άξονα του τηλεσκοπίου έχουν αντικατασταθεί από ένα μηχανισμό ισοστάθμισης που προσαρμόζεται μέσα στο τηλεσκόπιο και φέρει αυτόματα το σκοπευτικό άξονα σε οριζόντια θέση σχ.2.26). Αυτό πετυχαίνεται, σχεδόν αμέσως, μόλις η φυσαλίδα μιας σφαιρικής αεροστάθμης (που φέρουν συνήθως όλοι οι χωροβάτες) εμφανιστεί μέσα στο χαραγμένο κύκλο της πάνω γυάλινης επιφάνειάς της. Υπάρχουν ακόμη ηλεκτρονικοί ή ψηφιακοί χωροβάτες που συνεργάζονται με **σταδία γραμμωτού κώδικα** και αυτοματοποιούν τη διαδικασία μέτρησης.



Σχ. 3.15. Χωροβάτες αυτόματης οριζοντίωσης (α) και στοχοφόρος με σταδία (β)

3.2.2. Το Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS

Ο προσδιορισμός θέσεων στη φυσική γήινη επιφάνεια και η ένταξή τους σε ένα ατάλληλο σύστημα αναφοράς είναι ο κύριος σκοπός του εφαρμοσμένου μέρους της Γεωδαισίας. Οι κλασικές τεχνικές που εφαρμόζονται είναι ο τριγωνισμός, οτριπλευρισμός, ή συνήθως ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων, που παρέχουν τριγωνομετρικές ελλειψοειδείς συντεταγμένες και η υψομετρία, που παρέχει την τρίτη παράμετρο, τα υψόμετρα. Η χρήση των τεχνητών δορυφόρων αλλά και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν αλλάξει την κατάσταση τελείως, ώστε ο τρισδιάστατος εντοπισμός μεγάλης ακρίβειας να είναι ένα εύκολο αποτέλεσμα με σύντομες εργασίες υπαίθρου.

Με τον όρο δορυφορικός εντοπισμός θέσης εννοείται ο προσδιορισμός των απόλυτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων (επί της Γης, στην ξηρά, στη θάλασσα ή επάνω από τη Γη) με την επεξεργασία μετρήσεων προς και/ή από τεχνητούς δορυφόρους.

Οι πρώτες σχετικές εφαρμογές εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με προβλήματα λόγω του εξαιρετικά μεγάλου χρόνου παρατηρήσεων και της χαμηλής ακριβείας. Παρόλα τα προβλήματα, οι εφαρμογές αυτές σε γεωδαιτικές εργασίες μεγάλης κλίμακας, κατόρθωσαν να δώσουν λύσεις σε θέματα σχετικά με τη σύνθεση εθνικών τριγωνομετρικών δικτύων και με τον

προσδιορισμό της θέσης, της κλίμακας και του προσανατολισμού εθνικών συστημάτων αναφοράς.

Η χρήση των δορυφόρων (σε σχέση με τις παραδοσιακές επίγειες μεθόδους) προσφέρει δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα:

• Οι προσδιορισμοί θέσης είναι αυθεντικά τρισδιάστατοι.

• Δεν υπάρχει καμιά απαίτηση αμοιβαίας ορατότητας μεταξύ των εμπλεκόμενων

σε μετρήσεις σταθμών

Σήμερα, υπάρχουν σε χρήση δύο δορυφορικά συστήματα, τα οποία κατασκευάστηκαν και συντηρούνται από τις Η.Π.Α.: το παλαιότερο που δεν προσφέρεται για γεωδαιτικές εφαρμογές σύστημα TRANSIT (ή NAVSAT ή NNSS, Navy Navigation Satellite System) και το νεότερο GPS (Global Positioning System ή NAVSTAR) που χρησιμοποιείται πλέον για καθημερινές εργασίες. Ένα αντίστοιχο σύστημα αναπτύχθηκε από την πρώην Σοβιετική Ένωση και είναι γνωστό με το όνομα GLONASS (Global Navigation Satellite System).

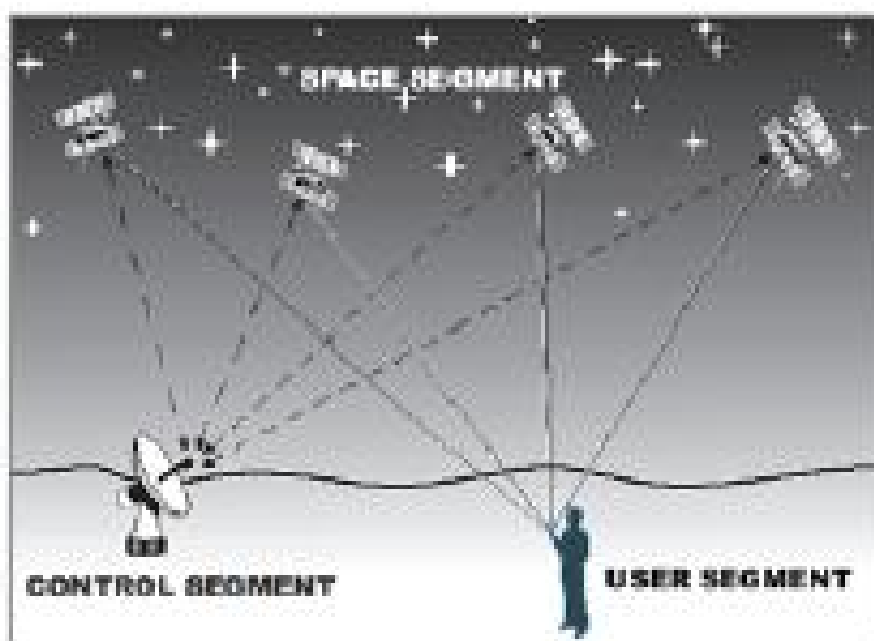
Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τη σπουδαιότητα που έχει ένα τέτοιο σύστημα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ξεκινήσει τις διαδικασίες για τη δημιουργία ενός ευρωπαϊκού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης με το όνομα GALILEO. Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης είναι γνωστά και ως Global Navigation Satellite Systems, GNSS.

Το GPS (Global Positioning System - Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης) είναι ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης, ταχύτητας και διανομής χρόνου. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ραδιοσήματα από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Ο βασικός προορισμός του συστήματος αυτού από το 1978, οπότε έγινε η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, ήταν ο έλεγχος της κίνησης οχημάτων, πλοίων και αεροπλάνων σε παγκόσμια κλίμακα και αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς.

Με την πάροδο του χρόνου όμως και με τη βελτίωση της ακριβείας του συστήματος, οι εφαρμογές του επεκτάθηκαν ή επεκτείνονται και σε άλλους τομείς, όπως η παρακολούθηση μετακινήσεων του στερεού φλοιού της Γης (Γεωδυναμική), η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων μεγάλων τεχνικών έργων (Γεωδαισία), υδρογραφικές εφαρμογές στις διαστημικές επιστήμες, εφαρμογές στις μεταφορές. Το GPS αναπτύσσεται και λειτουργεί με τη συμβολή του Υπουργείου Αμύνης των Η.Π.Α. και τέθηκε σε πλήρη λειτουργία το 1995.

3.2.2.1. Τα τμήματα του GPS

Το GPS αποτελείται από τρία τμήματα: το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρήσης



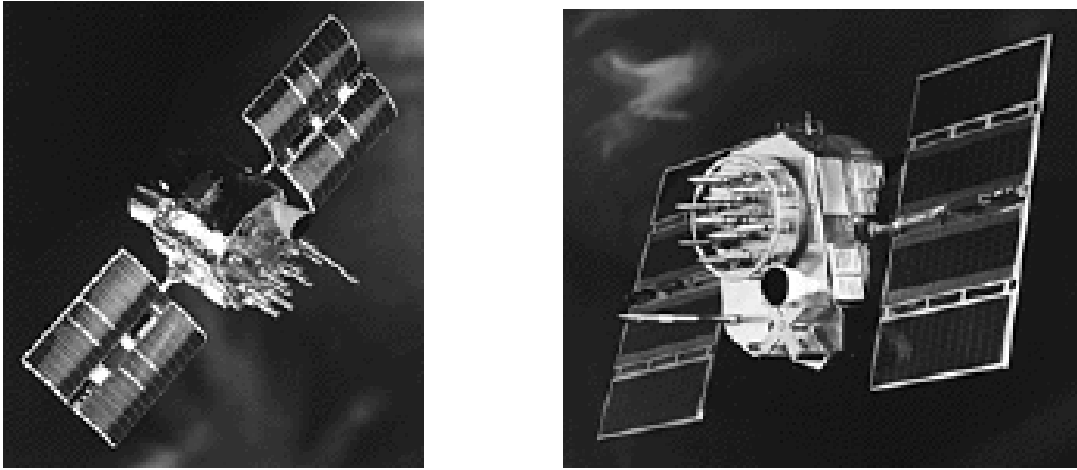
Σχ. 3.16. Τα τρία βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται το σύστημα GPS

α. Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από 24 δορυφόρους που είναι κατανομημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα με 4 δορυφόρους σε κάθε επίπεδο. Στις αρχές του 1990 υπήρχαν 6 πειραματικοί δορυφόροι (Block I) και 5 δορυφόροι δεύτερης γενιάς (Block II) που εκπέμπαν σήματα GPS και ήταν κατανομημένοι σε δύο τροχιακά επίπεδα. Προβλέπεται η κατασκευή 28 δορυφόρων δεύτερης γενιάς, μερικοί από τους οποίους θα είναι εφοδιασμένοι με αισθητήρα πυρηνικών καταλοίπων. Οι δορυφόροι αυτοί θα αντικαταστήσουν τους πειραματικούς δορυφόρους, θα έχουν χρόνο ζωής 7.5 περίπου έτη και θα αντικατασταθούν με δορυφόρους τρίτης γενιάς (Block III) που ήδη βρίσκονται υπό κατασκευή.



Σχ. 3.17. Το δορυφορικό τμήμα του GPS

Η κλίση των τροχιακών επιπέδων των δορυφόρων είναι 55ο ως προς τον Ισημερινό. Η περίοδος περιστροφής των δορυφόρων είναι 12ω. Οι τροχιές τους είναι κυκλικές και βρίσκονται σε ύψος περίπου 20000 km. Ο παραπάνω τροχιακός σχηματισμός παρέχει σχεδόν πλήρη κάλυψη 24 ώρες την ημέρα σε όλο τον κόσμο (4τουλάχιστον και συνήθως 7 δορυφόροι ορατοί από έναν τόπο) περίπου από τα μέσα του 1993.



Σχ. 2.32. Δορυφόροι *Block I* (α) και *Block II* (β) του GPS

Κάθε δορυφόρος χαρακτηρίζεται με δύο αριθμούς (ταυτότητα). Ο πρώτος είναι ο αύξων αριθμός εκτόξευσης και ο δεύτερος ο αριθμός PRN (Pseudo Random Noise), που είναι ένας ειδικός κωδικός αριθμός ο οποίος σχετίζεται με τον P - κώδικα που θα δούμε παρακάτω.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά σήματα στην συχνότητα $L1 = 1575.42$ MHz και στην συχνότητα $L2 = 1227.60$ MHz. Το σήμα $L1$ (19 cm) περιέχει τον κώδικα C/A (Coarse/ Acquisition - Code). Το σήμα $L2$ (24 cm) φέρει μόνο τον P - κώδικα (Precise - Code) και χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της καθυστέρησης των σημάτων που οφείλεται στην ιονόσφαιρα. Και οι δύο αυτοί κώδικες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Εκτός από τους P και C/A κώδικες υπάρχει και ο κώδικας δεδομένων ή D - κώδικας (Data - Code) που υπερτίθεται και στα σήματα $L1$ και $L2$ και περιέχει διάφορες πληροφορίες, όπως π.χ. για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου σε κάθε χρονική στιγμή, χρονικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων κ.λπ.

β. Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από τους σταθμούς παρακολούθησης των δορυφόρων τους σταθμούς εκπομπής πληροφορίας προς τους δορυφόρους, που είναι κατανεμημένοι σε όλο τον κόσμο (σχ. 2.33) και τον κύριο σταθμό ελέγχου

που βρίσκεται στο Colorado στις ΗΠΑ. Εκεί γίνεται επεξεργασία όλων των παρατηρήσεων, που στέλνονται από τους σταθμούς παρακολούθησης και καθορίζονται (προβλέπονται) οι δορυφορικές τροχιές και η συμπεριφορά των δορυφορικών χρονομέτρων. Η πληροφορία αυτή διαβιβάζεται στους δορυφόρους και αποθηκεύεται στη μνήμη των υπολογιστών τους. Στη συνέχεια εκπέμπεται με τον D - κώδικα προς τους χρήστες, για να κάνουν τους υπολογισμούς και τις αναγωγές για τον καθορισμό του στίγματός των.

γ. Το τμήμα χρήσης αποτελείται από τους δέκτες. Κάθε δέκτης αποτελείται από την κεραία, τον προενισχυτή, τον κυρίως δέκτη και διάφορες μονάδες επεξεργασίας των σημάτων και των δεδομένων GPS.

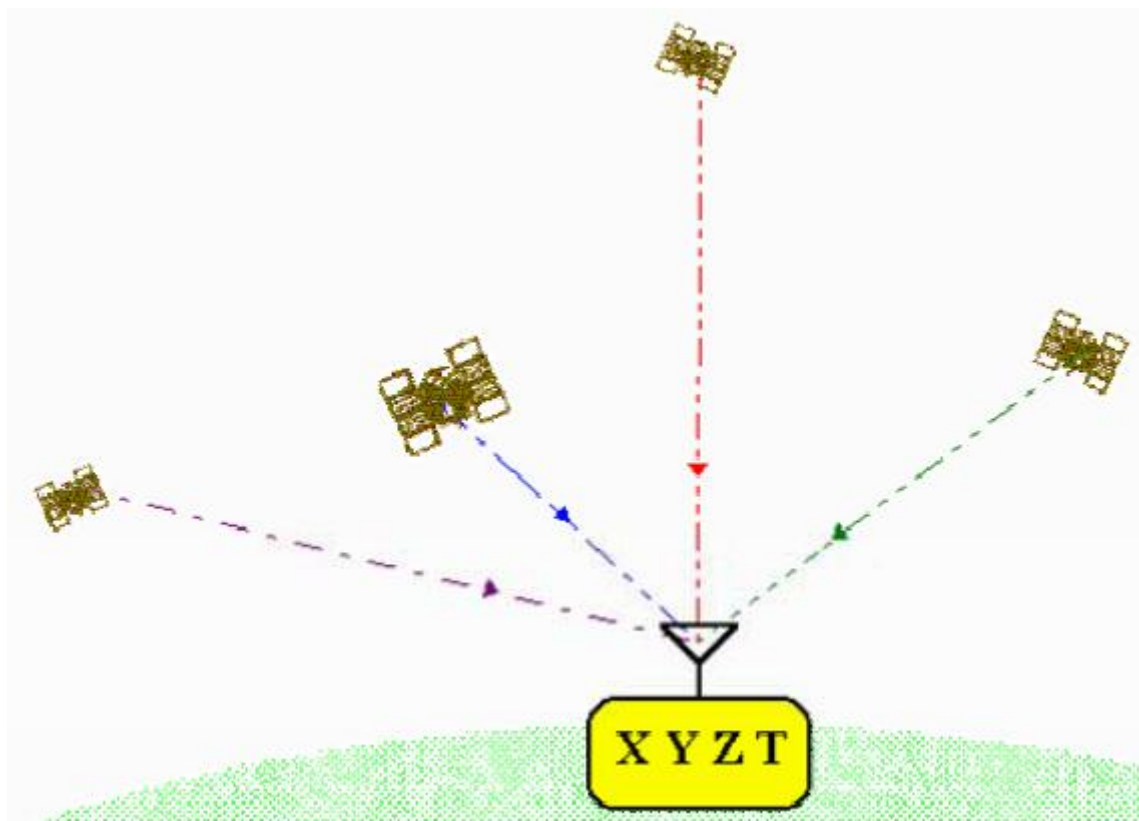
Μετά από κάποια αποκωδικοποίηση των σημάτων GPS, που λαμβάνονται αυτόματα από τους δέκτες, μετράται η απόσταση που αντιστοιχεί από το δορυφόρο μέχρι το δέκτη και η ταχύτητα μεταβολής της. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόσταση αυτή δεν είναι η καθαρή γεωμετρική απόσταση δορυφόρου - δέκτη, αλλά μια απόσταση που, ονομάζεται ψευδοαπόσταση, προσδιορίζεται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του δέκτη και περιλαμβάνει καθυστερήσεις λόγω ατμόσφαιρας (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα κ.λπ.) καθώς και χρονικές καθυστερήσεις των χρονομέτρων δορυφόρων και δέκτη.



Σχ. 3.18. Οι σταθμοί ελέγχου του GPS

Εσωτερικά στο δέκτη παράγεται ένα ακριβές αντίγραφο του κώδικα P ή C/A. Στη συνέχεια ο δέκτης προσπαθεί να συσχετίσει τον δικό του εσωτερικό κώδικα με τον κώδικα (σήμα) που λαμβάνει από το δορυφόρο. Έτσι μετράται ο χρόνος άφιξης του σήματος του δορυφόρου. Με την ανάγνωση και αποκωδικοποίηση του D - κώδικα ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει και τη στιγμή εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο. Η διαφορά του χρόνου άφιξης και του χρόνου εκπομπής καθορίζει το χρόνο που χρειάζεται το σήμα να διανύσει την απόσταση δορυφόρου - δέκτη. Πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του φωτός μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση δορυφόρου - δέκτη, μια ψευδοαπόσταση που περιλαμβάνει πολλών ειδών καθυστερήσεις του σήματος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Οι θέσεις των δορυφόρων όμως είναι γνωστές (από τον D - κώδικα) σε χώρο και χρόνο, μπορούμε συνεπώς να καθορίσουμε τη θέση ενός δέκτη αν μετρήσουμε ταυτοχρόνως τέσσερις ψευδοαποστάσεις προς τέσσερις διαφορετικούς δορυφόρους. Έτσι μπορεί να προσδιοριστεί η τρισδιάστατη θέση του δέκτη (x y z ή ϕ λ h) σε ένα ελλειψοειδές αναφοράς, π.χ. το γεωκεντρικό, γεωσταθερό σύστημα αναφοράς World Geodetic System - 84 (WGS84), καθώς και η χρονική καθυστέρηση dT του χρονομέτρου του δέκτη. Επιλύοντας ένα σύστημα 4 εξισώσεων με 4 αγνώστους (x y z dT) προκύπτει η λύση του προβλήματος (σχ. 2.35). Περισσότερες μετρήσεις ψευδοαποστάσεων μας επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και προτιμούνται.

Οι δέκτες χωρίζονται σε αυτούς που μετρούν μόνο τη μια συχνότητα L1 (δέκτες μιας συχνότητας) και σε αυτούς που μετρούν και τις δύο συχνότητες L1 και L2 (δέκτες δύο συχνοτήτων). Οι δέκτες της δεύτερης κατηγορίας χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια.



Σχ 3.19 Η αρχή του εντοπισμού θέσης με το σύστημα GPS

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει υπενθύμιση ότι το GPS σχεδιάστηκε σαν ένα στρατιωτικό σύστημα. Για τον περιορισμό της χρήσης του συστήματος από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ έχει στη διάθεσή του δύο διαφορετικές τεχνικές:

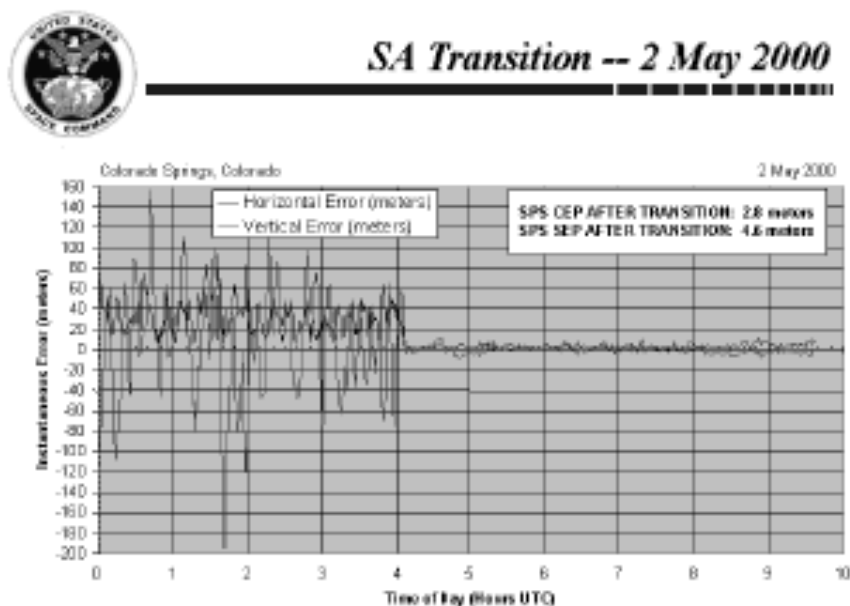
• Η κρυπτογράφηση του P - κώδικα. Ήδη από τον Νοέμβριο του 1993 οι δορυφόροι δεν εκπέμπουν τον P - κώδικα που είναι γνωστός, αλλά τον Y - κώδικα η δομή του οποίου είναι άγνωστη. Έτσι δέκτες που μετρούσαν τον P - κώδικα δεν μπορούν να λειτουργήσουν. Η τεχνική αυτή λέγεται Anti-spoofing (AS). Οι διάφορες εταιρείες για να ξεπεράσουν το πρόβλημα αυτό ανέπτυξαν διάφορες τεχνικές, όπως τετραγωνισμός του σήματος ή η z - τεχνική που αντιμετωπίζουν το θέμα αυτό με αρκετή επιτυχία.

• Η «Επιλεκτική Διαθεσιμότητα» (Selective Availability) είναι μια τεχνική κατά την οποία η ακρίβεια του C/A κώδικα μειώνεται σημαντικά

εισάγοντας τεχνητά ένα σημαντικό σφάλμα στα ρολόγια των δορυφόρων. Αν εφαρμοσθεί η τεχνική αυτή οδηγεί σε σφάλματα απόλυτου προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου της τάξης των 100 m. Η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα εφαρμόστηκε σε διάφορες περιπτώσεις, από το Μάιο του 2000, όμως, έχει αρθεί προς το παρόν η πιθανότητα εφαρμογής της. Σαν αποτέλεσμα, η ακρίβεια εντοπισμού που παρέχει το σύστημα GPS είναι και πάλι της τάξης των 10 – 15 m περίπου.

3.2.2.2 Τεχνικές Προσδιορισμού Θέσης

Η απόσταση ανάμεσα στον κινητό και τον ακίνητο δέκτη μπορεί να είναι μέχρι 10 km για δέκτες που μετρούν μόνο C/A κώδικα στη συχνότητα L1 και μέχρι 50 - 60 km για δέκτες που μετρούν C/A κώδικα στη συχνότητα L1 και φάση στη συχνότητα L2. Οι τελευταίοι αυτοί δέκτες έχουν κανάλια συσχέτισης ή τετραγωνισμού στη συχνότητα L1 και κανάλια τετραγωνισμού στην L2. Οι δέκτες που μετρούν και τον P - κώδικα μπορούν να μετρήσουν αποστάσεις μέχρι 200 - 300 km και γενικά οι χρόνοι παρατήρησης είναι μικρότεροι από τους άλλους δέκτες.



Σχ 3.20 Βελτίωση της ακριβείας του απλού GPS με την κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας

Υπάρχουν δύο τρόποι προσδιορισμού θέσης με το GPS: ο **απόλυτος** και ο **σχετικός προσδιορισμός θέσης**:

- Ø Ο απόλυτος εντοπισμός αναφέρεται στον προσδιορισμό θέσης ενός σημείου με το GPS στο κοινά αποδεκτό σύστημα αναφοράς του WGS84. Στην περίπτωση αυτή, η επεξεργασία των δεδομένων παρατήρησης γίνεται κατευθείαν στο δέκτη και καθορίζονται οι συντεταγμένες του. Η ακρίβεια εντοπισμού των 100 m (SA On) αλλά ακόμη και εκείνη των 15 m (SA Off) είναι αρκετή για πολλές από τις πολιτικές εφαρμογές.
- Ø Ο σχετικός εντοπισμός (διαφορικός εντοπισμός) αφορά τον καθορισμό των συντεταγμένων ενός δέκτη σε σχέση με κάποιον άλλον που συνήθως είναι σταθερός και βρίσκεται σε γνωστή θέση. Στην περίπτωση αυτή οι δύο ή περισσότεροι δέκτες παρατηρούν ταυτοχρόνως τους ίδιους δορυφόρους. Συνεπώς, κοινά σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους, στην ατμόσφαιρα κ.λπ. όπως παρατηρούνται από τους δέκτες εάν αφαιρεθούν, μπορούν να εξαλειφθούν και να βελτιωθεί η ακρίβεια εντοπισμού.

Ο απόλυτος εντοπισμός δεν ενδιαφέρει ιδιαίτερα τις γεωδαιτικές εφαρμογές, αφού η ακρίβεια είναι της τάξης των 15 - 100 m. Με τις εφαρμογές του σχετικού εντοπισμού θέσης είναι δυνατό να προκύψουν ακρίβειες προσδιορισμού του διανύσματος ανάμεσα στους δύο δέκτες της τάξης του $\pm (5 - 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

Ο σχετικός στατικός προσδιορισμός αφορά κύρια γεωδαιτικές εφαρμογές. Στην περίπτωση αυτή ένας δέκτης (σταθμός αναφοράς) παραμένει σταθερός σε κάποιο σημείο π.χ. τριγωνομετρικό σημείο. Ένας δεύτερος δέκτης, ή και περισσότεροι δέκτες, μετακινούνται γύρω από το σταθμό αναφοράς σε σταθμούς των οποίων η θέση ζητείται

να προσδιοριστεί. Έτσι, προσδιορίζονται τα διανύσματα βάσης μεταξύ των δύο δεκτών.

Οι προσδιοριζόμενες συντεταγμένες των σημείων αναφέρονται στο ελλειψοειδές αναφοράς WGS84, όπως και τα υψόμετρά τους. Γνωρίζοντας τα υψόμετρα του γεωειδούς μπορούμε να υπολογίσουμε και τα ορθομετρικά υψόμετρά τους (σε σχέση δηλαδή προς τη μέση στάθμη της θάλασσας). Στη συνέχεια οι συντεταγμένες μπορούν να μετασχηματιστούν σε άλλο datum ή προβολικό σύστημα με τη βοήθεια των κατάλληλων μαθηματικών σχέσεων. Δεν απαιτείται οπτική επαφή ανάμεσα στους δέκτες και οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν οποιαδήποτε ώρα και με οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές σχετικού εντοπισμού, όπως ο σχετικός στατικός εντοπισμός (static), ο γρήγορος στατικός εντοπισμός (rapid static), ο ψευδοκινηματικός (pseudokinematic), ο stop and go και ο κινηματικός σχετικός προσδιορισμός:

1. Όταν θέλουμε να μετρήσουμε ένα νέο τριγωνομετρικό δίκτυο ή να κάνουμε πύκνωση ενός υφιστάμενου δικτύου, τότε ο πρώτος δέκτης τοποθετείται σε ένα από τα (νέα ή υπάρχοντα) τριγωνομετρικά σημεία και ο δεύτερος τοποθετείται σε κάποιο άλλο, όπου παραμένει και μετράει συγχρόνως με τον πρώτο για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται (στατικός υπολογισμός, static). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μετρηθούν όλες οι πλευρές του δικτύου. Σε περιπτώσεις όπως αυτή, όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια, εφαρμόζεται η στατική μέθοδος μέτρησης για χρονικό διάστημα που προτείνει ο κατασκευαστής των δεκτών που χρησιμοποιούνται.
2. Για τον ίδιο σκοπό της μέτρησης ενός νέου τριγωνομετρικού δικτύου ή της πύκνωσης ενός υφιστάμενου δικτύου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η ψευδοκινηματική μέθοδος μέτρησης (pseudokinematic ή re-occupation) κατά την οποία ο πρώτος δέκτης τοποθετείται σε ένα γνωστό τριγωνομετρικό και ο δεύτερος περιφέρεται

σε άλλα σημεία, όπου μετράει για χρονικό διάστημα 5 - 10 min για να επανέλθει στα σημεία αυτά μετά από την πάροδο μιας τουλάχιστον ώρας, για να επαναληφθούν οι μετρήσεις για άλλα 5 - 10 min με διαφορετική γεωμετρία δορυφόρων. Οι επιτυγχανόμενες ακρίβειες είναι σχεδόν ταυτόσημες με τη στατική μέθοδο.

3. Όταν θέλουμε να μετρήσουμε σημεία για να χρησιμοποιηθούν ως στάσεις αποτύπωσης, υποκαθιστώντας έτσι την πολυγωνομετρία, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν η ψευδοκινηματική μέθοδος που περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και η γρήγορη στατική (rapid static) με δέκτες δύο συχνοτήτων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ο πρώτος δέκτης τοποθετείται σε ένα (γνωστό) τριγωνομετρικό σημείο, ενώ ο δεύτερος μετρά άλλα σημεία για χρονικό διάστημα 5 - 10 min (τα σημεία που μετρώνται δεν πρέπει να απέχουν περισσότερο από 15 Km από το σταθερό δέκτη).
4. Όταν θέλουμε να αποτυπώσουμε μια περιοχή (π.χ. για ψηφιακό υπόβαθρο GIS, κτηματογράφηση, αποτύπωση ζώνης οδοποιίας, αποτύπωση υφιστά-μενου οδικού δικτύου κτλ.) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο stop and go ή την κινηματική μέθοδο που είναι παραπλήσιες. Κατά τη χρησιμοποίηση της μεθόδου stop and go είναι προτιμότερο να χρησιμο-ποιούνται δέκτες δύο συχνοτήτων για αυξημένη ακρίβεια και μέγιστη απόδοση. Ο πρώτος δέκτης τοποθετείται σε γνωστό τριγωνομετρικό σημείο, ενώ ο δεύτερος τοποθετείται σε ένα άλλο σημείο (γνωστό ή όχι) κοντά συνήθως στον πρώτο. Οι δύο δέκτες μετρούν τα σήματα των δορυφόρων για περίπου 10 min (δέκτες δύο συχνοτήτων) ή 20 - 30 min (δέκτες μιας συχνότητας) με σκοπό τον προσδιορισμό των ασαφειών φάσης. Στη συνέχεια ο δεύτερος δέκτης μετακινείται πάνω σε ράβδο και τοποθετείται σε σημεία που πρέπει να

αποτυπωθούν, όπου παραμένει καταγράφοντας 2 - 10 μετρήσεις σημμάτων των δορυφόρων (epochs). Οι δέκτες είναι κατά τη μέθοδο αυτή ρυθμισμένοι να καταγράφουν μετρήσεις συνήθως ανά 5 sec, οπότε ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση ενός σημείου (λεπτομερειών) είναι από 10 - 50 sec. Αυτά ισχύουν για δέκτες δύο συχνοτήτων και η τελικώς επιτυγχανόμενη ακρίβεια μπορεί να είναι της τάξεως των $\pm 1 - 3$ cm ή και καλύτερη. Για δέκτες μιας συχνότητας οι χρόνοι μέτρησης αυξάνουν και η ακρίβεια μπορεί να είναι της τάξεως των $\pm 2 - 10$ cm.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου stop and go είναι απαραίτητο να διατηρείται συνεχής επαφή με τέσσερις τουλάχιστον δορυφόρους, τόσο από τον σταθερό, όσο και από τον κινητό δέκτη. Αν αυτό κάποια στιγμή δεν τηρείται, τότε είναι απαραίτητο ο κινητός δέκτης να σταματήσει σε ένα σημείο και να μετρήσει για 10 min περίπου συγχρόνως με τον σταθερό κάνοντας επανέναρξη των μετρήσεων. Στη συνέχεια συνεχίζονται οι μετρήσεις, όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Πάντως συνιστάται σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της μεθόδου να σταματούμε κατά διαστήματα σε κάποιο σημείο και να κάνουμε εκεί ένα γρήγορο στατικό υπολογισμό, γεγονός που βελτιώνει την ακρίβεια των παρατηρήσεων. Αυτό μπορεί να γίνεται κάθε 2 περίπου ώρες μετρήσεων ή κάθε 200 m περίπου, εάν κάνουμε αποτύπωση μηκοτομών ή κατά πλάτος διατομών για αποτύπωση ζώνης οδοποιίας.

5. Παρόμοια μέθοδος μέτρησης είναι και η κινηματική (kinematic), όπου όμως γίνεται συνεχής καταγραφή της θέσης του δεύτερου (κινητού) δέκτη ανά χρονικό διάστημα που ορίζεται από τον χρήστη (π.χ. 1 sec). Έτσι μπορεί να γίνει παρακολούθηση της κίνησης οχήματος, αποτύπωση οδικού δικτύου, υδρογραφικές αποτυπώσεις κ.λπ. Η μέθοδος προβλέπει πάλι μια σύγχρονη γρήγορη στατική μέτρηση των δύο δεκτών και στη συνέχεια τη μετακίνηση του δεύτερου δέκτη. Σε μία παραλλαγή της μεθόδου ο υπολογισμός της θέσης του

κινούμενου δέκτη μπορεί να γίνεται σε πραγματικό χρόνο (Real Time). Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλη εφαρμογή για την παρακολούθηση της κίνησης κάθε είδους μεταφορικού μέσου και θα αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερης παραγράφου.

Ο διαφορικός εντοπισμός θέσης (Differential GPS, DGPS) χρησιμοποιεί δύο τουλάχιστον δέκτες, από τους οποίους ο ένας παραμένει σταθερός και κεντρώνεται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες και ο άλλος ή οι άλλοι περιφέρονται για τις μετρήσεις. Αυτός ο σταθερός δέκτης είναι το κλειδί στην ακρίβεια του DGPS και λέγεται σταθμός αναφοράς ή βάσης (Base Station). Με τη βοήθειά του, όλες οι μετρήσεις που γίνονται από τους κινητούς δέκτες (Rover Stations) διορθώνονται και υπολογίζονται οι συντεταγμένες της τροχιάς τους σε πραγματικό χρόνο.

Οι δορυφόροι είναι τόσο μακριά στο διάστημα που οι μικρές αποστάσεις πάνω στη γη είναι ασήμαντες. Αυτό σημαίνει ότι αν δύο δέκτες είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, π.χ. μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, τα σήματα που φθάνουν και στους δύο, στην πραγματικότητα θα έχουν ταξιδέψει μέσα από την ίδια περιοχή της ατμόσφαιρας και θα

έχουν τις ίδιες καθυστερήσεις, δηλαδή σφάλματα. Έτσι, αφού και οι δύο δέκτες στην

πραγματικότητα θα έχουν τα ίδια σφάλματα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ένα δέκτη για να προσδιορίζει αυτά τα σφάλματα και να παρέχει αυτές τις πληροφορίες των σφαλμάτων στον άλλο δέκτη. Για το σκοπό αυτό ο δέκτης αναφοράς πρέπει να τοποθετηθεί σε ένα σημείο, του οποίου οι συντεταγμένες έχουν μετρηθεί με πολλή

μεγάλη ακρίβεια με τοπογραφικές μεθόδους. Αυτός ο σταθμός αναφοράς δέχεται τα ίδια σήματα του GPS, όπως και ο περιφερόμενος δέκτης, αλλά, αντί να δουλεύει όπως ένα κανονικός δέκτης GPS, εκτελεί τους υπολογισμούς με αντίστροφο τρόπο. Αντί να

χρησιμοποιεί σήματα χρόνου για να υπολογίσει τις συντεταγμένες του, χρησιμοποιεί τις γνωστές συντεταγμένες του για να υπολογίσει τους χρόνους. Η λογική του συστήματος είναι απλή: Αφού ο σταθμός αναφοράς γνωρίζει που υποτίθεται ότι βρίσκονται οι δορυφόροι στο διάστημα και γνωρίζει την ακριβή θέση του, μπορεί να υπολογίσει μία θεωρητική απόσταση μεταξύ του εαυτού του και κάθε δορυφόρου. Κατόπιν διαιρεί αυτή την απόσταση με την ταχύτητα του φωτός και παίρνει ένα χρόνο. Αυτός ο χρόνος είναι το χρονικό διάστημα που έπρεπε να ταξιδέψουν τα σήματα για να φτάσουν στον σταθμό αναφοράς. Έπειτα συγκρίνει αυτόν τον θεωρητικό χρόνο με το χρόνο που πραγματικά χρειάστηκαν τα σήματα για να φθάσουν σ' αυτόν. Η οποιαδήποτε διαφορά είναι το σφάλμα (ή καθυστέρηση) στο σήμα των δορυφόρων. Ο δέκτης αναφοράς υπολογίζει τέτοιες καθυστερήσεις για όλους τους δορυφόρους από τους οποίους δέχεται σήματα. Στην πραγματικότητα δεν υπολογίζει μόνο τα σφάλματα χρόνου για κάθε δορυφόρο, αλλά υπολογίζει και μεταδίδει επίσης και το ρυθμό μεταβολής αυτών των σφαλμάτων. Με αυτόν τον τρόπο ο περιφερόμενος δέκτης μπορεί να κάνει παρεμβολή για να βρει τη θέση του μέχρι την επόμενη φορά που ο δέκτης αναφοράς θα του δώσει καινούργια στοιχεία.

Το επόμενο στάδιο είναι η αποστολή αυτών των σφαλμάτων ή διορθώσεων (που λέγονται διαφορικές διορθώσεις) προς τους κινητούς δέκτες σε ένα τυποποιημένο format ηλεκτρονικού μηνύματος που λέγεται RTCM. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές, αλλά η περισσότερο πρακτική είναι η εγκατάσταση και λειτουργία ενός ραδιοδικτύου. Άλλες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση της κινητής τηλεφωνίας και τη μετάδοση προς τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους προς επαναμετάδοση στη Γη. Αυτό σημαίνει ότι ο δέκτης αναφοράς συνδέεται με έναν ραδιοπομπό, ενώ οι κινούμενοι δέκτες GPS

συνδέονται με έναν ραδιοδέκτη ή, συνήθως, πομποδέκτη. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ένας ρυθμός ανανέωσης (εκπομπής) των διορθώσεων μία φορά ανά πέντε (5) δευτερόλεπτα είναι πολύ καλός, ειδικά αν είναι ενεργοποιημένη η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα.. Σε

πολλές περιπτώσεις, όπως και στα συστήματα διαχείρισης στόλου οχημάτων, οι

διορθωμένες συντεταγμένες που υπολογίζει ο κινητός δέκτης εκπέμπονται με ειδικό

format (NMEA) προς ένα κέντρο ελέγχου.

Βέβαια, όλες οι εφαρμογές του DGPS δε χρειάζονται αυτή τη ραδιοζεύξη αφού,

μερικές εργασίες δεν απαιτούν διορθώσεις σε πραγματικό χρόνο. Άλλη υπόθεση είναι να προσπαθείς να τοποθετήσεις ένα γεωτρύπανο με ελάχιστη απόκλιση σε ένα συγκεκριμένο σημείο του πυθμένα του ωκεανού από ένα πλοίο που κλυδωνίζεται από τα κύματα και τελείως διαφορετική, εάν απλά γίνεται αποτύπωση ενός νέου δρόμου για να συμπεριληφθεί σε ένα χάρτη. Για εφαρμογές όπως η τελευταία ο κινητός δέκτης χρειάζεται μόνο να καταγράψει όλες τις μετρημένες θέσεις και τον ακριβή χρόνο που έγινε κάθε μέτρηση. Αργότερα αυτά τα στοιχεία μπορούν να συγκριθούν με τις διορθώσεις που καταγράφηκαν στο δέκτη αναφοράς για έναν τελικό υπολογισμό των συντεταγμένων. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή σαν DGPS με επεξεργασία στο γραφείο (Post - Processed DGPS).

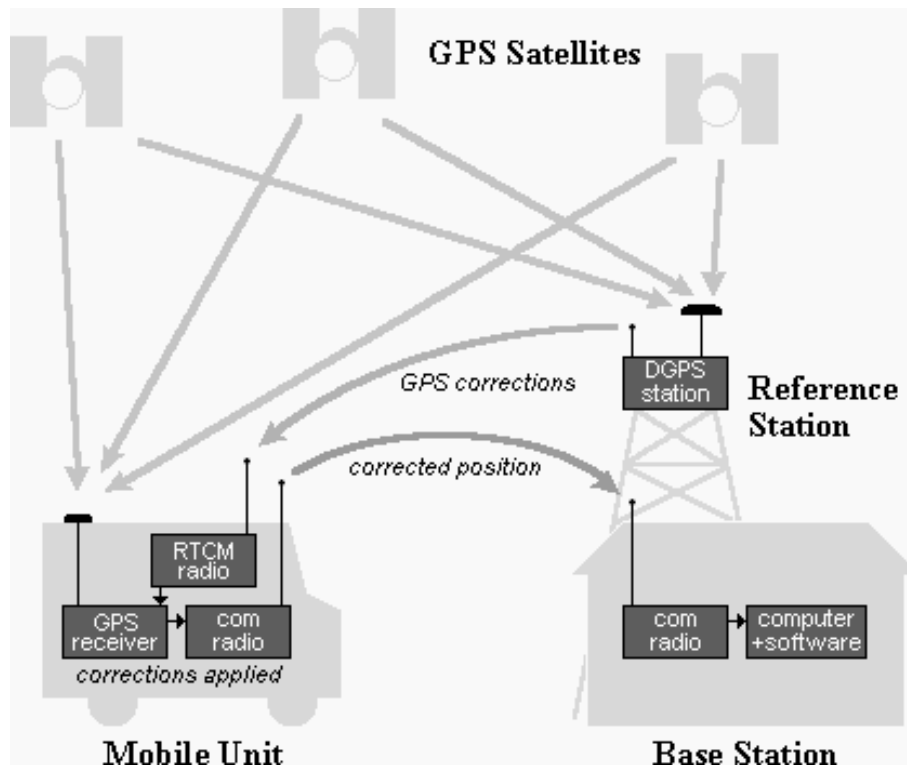
Η μεθοδολογία DGPS βασίζεται στις μετρήσεις των αποστάσεων προς τους δορυφόρους με χρήση του κώδικα του φέροντος κύματος. Οι μετρήσεις με χρήση του κώδικα είναι σαν μια μετροταινία η οποία έχει διαβαθμίσεις μέτρου και μόνο. Οι διαβαθμίσεις εμφανίζονται αυτόματα, όταν εγκλωβίσουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας, επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις ως προς τους δορυφόρους άμεσα, αλλά όχι με μεγάλη ακρίβεια.

Η ακρίβεια στην περίπτωση αυτής της μεθόδου ανέρχεται στα 1 έως 3 m (SA Off).

Στην περίπτωση που ο διαφορικός εντοπισμός γίνεται με τη χρήση της φάσης του φέροντος κύματος σε πραγματικό χρόνο η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά. Η

μέθοδος αυτή λέγεται διαφορικός κινηματικός εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic DGPS, RTK DGPS) (σχ. 2.37). Οι μετρήσεις με χρήση της φάσης του φέροντος κύματος είναι σαν μια μετροταινία με διαβαθμίσεις χιλιοστού. Σε αυτή την

μετροταινία οι διαβαθμίσεις των μέτρων δεν φαίνονται άμεσα όταν λαμβάνουμε το σήμα των δορυφόρων με τον δέκτη μας. Πρέπει να περιμένουμε κάποιο χρονικό διάστημα για να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων και να ολοκληρώσουμε τις μετρήσεις. Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης. Όσο περισσότερο χρόνο περιμένουμε τόσο και πιο καθαρές γίνονται οι διαβαθμίσεις των μέτρων. Όταν οι διαβαθμίσεις των μέτρων εμφανιστούν, παραμένουν ξεκάθαρες και μπορούμε να κάνουμε άμεσες μετρήσεις ασταμάτητα, όσο ο δέκτης μας λαμβάνει σήματα από τους δορυφόρους. Όταν χαθεί η επαφή με τους δορυφόρους οι διαβαθμίσεις των μέτρων εξαφανίζονται και χρειάζεται να περιμένουμε πάλι για να επιλυθεί η ασάφεια φάσης και να εμφανιστούν οι διαβαθμίσεις των μέτρων. Σε περίπτωση που η επαφή με τους δορυφόρους διακόπτεται για μικρό χρονικό διάστημα, ο δέκτης μπορεί να βασιστεί στον υπολογισμό των ακεραίων κύκλων από τις προηγούμενες μετρήσεις.



Σχ. 3.21 Η αρχή του διαφορικού εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (Real Time Kinematic Differential GPS)

Όταν ένας δέκτης έχει επιλύσει την ασάφεια φάσης, η ακρίβεια στον υπολογισμό της θέσης είναι μεταξύ 0.5 cm και 2 cm οριζοντιογραφικά και μεταξύ 1 cm με 5 cm υψομετρικά συν 1 ppm για δέκτες δύο συχνοτήτων και 2 ppm για δέκτες μίας συχνότητας.

Το RTK DGPS είναι ένα σύστημα αξιόπιστο και υψηλής ακριβείας, αποτελεί δε τη βάση πολλών συστημάτων AVL και IVHS. Το κρίσιμο στοιχείο της μεθόδου είναι η χωρίς πρόβλημα εκπομπή και λήψη των διαφορικών διορθώσεων που εκπέμπει ο σταθμός αναφοράς με τη βοήθεια ενός κατάλληλου συστήματος τηλεμετάδοσης. Ακόμη, σε πολλές εφαρμογές το ίδιο σύστημα τηλεμετάδοσης χρησιμοποιείται από το όχημα για να εκπέμψει τη δική του διορθωμένη θέση προς το σταθμό ελέγχου. Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες χρησιμοποίησης συστημάτων τηλεμετάδοσης δεδομένων των οποίων η αποτελεσματικότητα και το κόστος διαφέρουν.

3.2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του GPS

Όπως κάθε μετρητικό σύστημα, το GPS παρουσιάζει περιορισμούς στη χρησιμοποίησή του και σφάλματα που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες οι οποίοι προκαλούν τελικά μείωση της απόδοσής του. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

α. Η όχι καλή λήψη των σημάτων από τους δορυφόρους στο δέκτη. Η επιτυχής μέτρηση της απόστασης δορυφόρου - δέκτη προϋποθέτει ορατότητα μεταξύ τους και απρόσκοπτη λήψη των σημάτων. Εμπόδια, όπως κτίρια, πυκνά δέντρα κ.λπ. είναι δυνατόν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα, μεταξύ των οποίων και σφάλματα που προκαλούνται από ανεπιθύμητες ανακλάσεις εδάφους των σημάτων των δορυφόρων (multipath errors).

β. Λάθη στον κώδικα προσδιορισμού της θέσης του δορυφόρου. Πρόκειται για τον D - κώδικα που περιλαμβάνει πληροφορίες για τη θέση του δορυφόρου κάθε χρονική στιγμή και εκπέμπεται από κάθε δορυφόρο συγχρόνως με τις συχνότητες

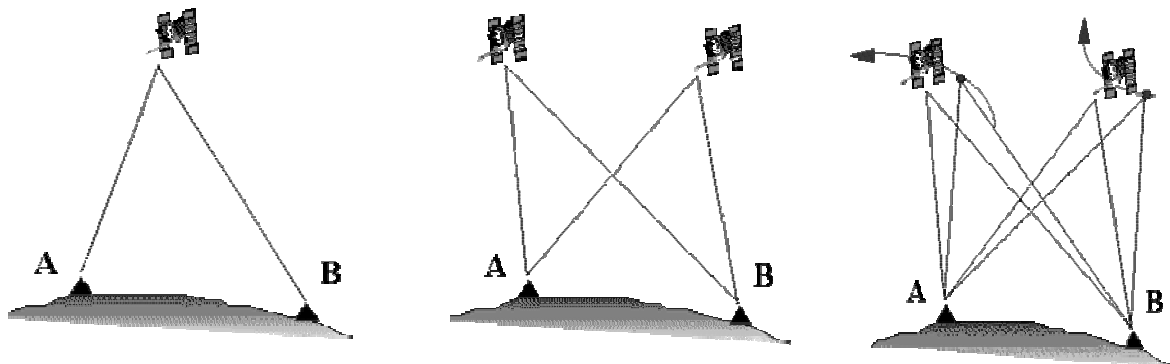
μετρήσεων. Ο έλεγχος για την αποφυγή σφαλμάτων από την πηγή αυτή γίνεται είτε

με τοποθέτηση του δέκτη σε σημεία γνωστά από πριν, οπότε ελέγχεται η ακρίβεια των δεδομένων θέσης του δορυφόρου, είτε με τη χρησιμοποίηση περισσότερων από τέσσερις δορυφόρους για τον προσδιορισμό της θέσης κάθε σημείου μέτρησης, οπότε υπάρχει δυνατότητα ελέγχων.

γ. Η ακρίβεια των εκπεμπόμενων σημάτων. Το GPS μετρά το χρόνο που παρέρχεται από την εκπομπή του σήματος από το δορυφόρο μέχρι τη λήψη του από το δέκτη. Από τη μέτρηση αυτή προκύπτει η απόσταση δορυφόρου - δέκτη. Στη διαδικασία της μέτρησης αυτής όμως υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα που τελικά μειώνουν την ακρίβεια του συστήματος. Η όχι τελείως ακριβής πρόγνωση της θέσης του δορυφόρου, μικρά σφάλματα μέτρησης του χρόνου στα χρονόμετρα των δορυφόρων, σφάλματα διάδοσης των σημάτων μέσα στην ιονόσφαιρα και την τροπόσφαιρα, μεγαλύτερα σφάλματα μέτρησης του χρόνου στο χρονόμετρο του δέκτη και η γεωμετρία του σχήματος δορυφόρων - σημείου

μέτρησης είναι μερικοί παράγοντες που επιφέρουν σημαντικά κατά περίπτωση σφάλματα.

Η βελτίωση της ακριβείας του συστήματος GPS μπορεί να γίνει τόσο με βελτίωση των συσκευών, όσο και με βελτίωση των μεθόδων μέτρησης και επεξεργασίας. Για γεωδαιτικές εφαρμογές, όπου απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, χρησιμοποιείται κατά κανόνα ο σχετικός στατικός υπολογισμός θέσης ανάμεσα σε διάφορα σημεία όπου τοποθετούνται οι δέκτες GPS. Η μέθοδος επεξεργασίας περιλαμβάνει χρησιμοποίηση διαφόρων μετρήσεων που μπορεί να είναι απλές, διπλές ή τριπλές (σχ. 2.38). Οι απλές διαφορές αναφέρονται σε παρατηρήσεις από δύο σημεία προς κοινό δορυφόρο. Έτσι ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα του δορυφόρου.



Σχ. 3.22 Μετρήσεις προς δορυφόρους για απαλοιφή σφαλμάτων: (α) απλές διαφορές, (β) διπλές διαφορές, (γ) τριπλές διαφορές

Οι διπλές διαφορές αναφέρονται σε κοινές μετρήσεις από δύο σημεία προς δύο δορυφόρους, οπότε εξαλείφονται και σφάλματα των δεκτών. Τέλος, οι τριπλές διαφορές αναφέρονται σε κοινές μετρήσεις από δύο σημεία προς δύο διαφορετικούς δορυφόρους σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οπότε πετυχαίνεται ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια με την απαλοιφή περισσότερων πηγών σφάλματος.

Μία παράμετρος που παρέχει την αναμενόμενη ακρίβεια του προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου είναι το DOP (Dilution of Precision), το οποίο βασίζεται στη γεωμετρία των δορυφόρων. Το DOP παρέχεται από τους δέκτες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ή από το λογισμικό κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού των μετρήσεων.

Εμφανίζεται με διάφορες μορφές:

- GDOP για τη γεωμετρία
- PDOP για την ακρίβεια θέσης στο χώρο
- TDOP για την ακρίβεια στη μέτρηση του χρόνου
- HDOP για την ακρίβεια οριζόντιας θέσης
- VDOP για την ακρίβεια των υψομέτρων

Το DOP θα πρέπει να χρησιμοποιείται ενδεικτικά, διότι δεν καλύπτει όλες τις πιθανές πηγές σφαλμάτων, οπότε μπορεί να δώσει κάποια υπερεκτίμηση της ακριβείας. Οι τιμές του DOP (στις διάφορες παραλλαγές του) θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από την τιμή 5, ενώ η εμφάνιση υψηλών τιμών κατά τον προγραμματισμό της εκτέλεσης μετρήσεων θα πρέπει να μας οδηγήσει σε αλλαγές των χρονικών περιόδων παρατήρησης.

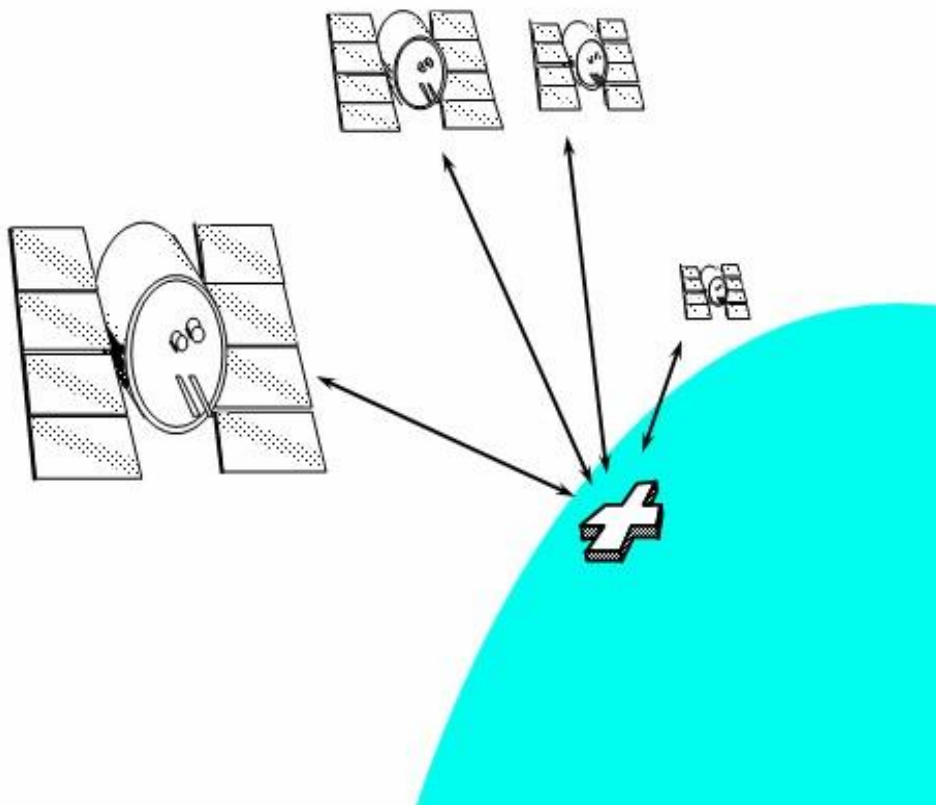
3.2.2.4 Διάφορες Εφαρμογές του GPS

Ø Δημόσια Ασφάλεια

Για την αστυνομία, την πυροσβεστική υπηρεσία και την υπηρεσία πρώτων βοηθειών ο χρόνος ανταπόκρισης είναι εξαιρετικά σημαντικός. Με το σύστημα DGPS ελεγκτές μπορούν να οδηγήσουν τα οχήματα με πολύ μεγάλη ακρίβεια, ώστε να είναι σίγουρο ότι η βοήθεια θα φτάσει εκεί που χρειάζεται στο

συντομότερο δυνατό χρόνο. Κεντρικές αίθουσες ελέγχου με ψηφιοποιημένα χαρτογραφικά υπόβαθρα που δείχνουν τους δρόμους δίνουν στους διευθυντές των επιχειρήσεων μια πολύ καλύτερη εικόνα για την ανάπτυξη και διάταξη των δυνάμεων που έχουν στη διάθεσή τους και αυτό μπορεί να τους βοηθήσει, ώστε να στείλουν τις ελάχιστες απαιτούμενες δυνάμεις μακρύτερα.

Το DGPS μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα πολύτιμο σε σοβαρές καταστροφές, όπως μεγάλες πυρκαγιές ή σε σεισμικά συμβάντα. Παραδοσιακά, οι υπηρεσίες παροχής βοήθειας έχουν σε κίνηση στόλους οχημάτων και μπορούν να κάνουν χρήση του GPS σε συνδυασμό με συστήματα GIS.



Σχ 3.23 Σύστημα GPS

Ø Εφαρμογές σε θέματα περιβάλλοντος

Το GPS παρέχει πολλές δυνατότητες εφαρμογής σε περιβαλλοντικά θέματα. Έτσι, χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση των οικοσυστημάτων, την

παρακολούθηση των πετρελαιοκηλίδων, την παρακολούθηση της διακίνησης επικίνδυνων και τοξικών φορτίων. Ακόμη, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη των άγριων ζώων με την παρακολούθηση της μετακίνησης μεμονωμένων ζώων ή και κοπαδιών.

Μια ακόμη σημαντική περιβαλλοντική εφαρμογή αφορά τη δυνατότητα των σημάτων του GPS να παρέχουν μεταφέρουν πληροφορίες μετεωρολογικών παραμέτρων (ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, δραστηριότητα στην ιονόσφαιρα, κ.λπ.) που επηρεάζουν τον καιρό.

Ø Γεωδαιτικές εφαρμογές

Η ακρίβεια προσδιορισμού του μήκους βάσεων με τη χρησιμοποίηση του GPS έχει φθάσει την τάξη του 0.1 ppm. Η ακρίβεια αυτή σημαίνει π.χ. 3 cm σφάλμα στη μέτρηση μιας απόστασης περίπου 300 km. Τέτοιες ακρίβειες καθιστούν ικανοποιητική την εφαρμογή του GPS σε περιπτώσεις γεωδυναμικής, όπως είναι η παρακολούθηση της μικρομετακίνησης τεκτονικών πλακών, η παρακολούθηση της μικρομετακίνησης σημείων σε σεισμογενείς περιοχές πριν και μετά από κάποιον σεισμό και η παρακολούθηση της παραμόρφωσης της επιφάνειας του εδάφους που προκαλείται πριν από την έκρηξη κάποιου ηφαιστείου. Η μέθοδος μέτρησης με δέκτες GPS είναι σχετικά γρήγορη, ανεξάρτητη καιρικών συνθηκών και δεν απαιτεί πολυμελές προσωπικό.

Συνηθισμένη πρακτική χρησιμοποίηση του GPS παρατηρείται σε περιπτώσεις παρακολούθησης μεγάλων γεωλογικών ρηγμάτων, όπου εγκαθίστανται και μετρούνται περιοδικά σταθμοί από τη μια και την άλλη πλευρά του ρήγματος.

Ένα βασικό πλεονέκτημα του GPS είναι το γεγονός ότι παρέχει τρισδιάστατη πληροφορία (x, y, z) για τα σημεία μέτρησης. Το χαρακτηριστικό αυτό σε συνδυασμό με την ικανοποιητική ακρίβεια καθιστούν το σύστημα κατάλληλο και για την εφαρμογή του σε παρακολούθηση παραμορφώσεων τεχνικών έργων και εδαφών. Έτσι σε περίπτωση παρακολούθησης μεγάλων τεχνικών έργων,

όπως π.χ. τα υδροηλεκτρικά φράγματα, η ακρίβεια λίγων mm για 1 km ή πολύ λίγων cm για δεκάδες km που παρέχει το GPS κρίνονται γενικά κατάλληλες για την εκτέλεση μετρήσεων. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του GPS είναι η δυνατότητα μόνιμης εγκατάστασης δέκτη ή δεκτών σε επιλεγμένα σημεία του έργου τα οποία θα εκτελούν συνεχή καταγραφή της θέσης με τηλεχειρισμό και on - line σύνδεση με κεντρικό υπολογιστή.

Τέλος, με τις διάφορες μεθόδους σχετικού προσδιορισμού είναι δυνατή σήμερα και η εκτέλεση απλών σχετικά τοπογραφικών εργασιών, όπως η μέτρηση των στάσεων για την αποτύπωση μιας περιοχής, αντί για τις κλασσικές μεθόδους της πολυγωνομετρίας, αλλά και η κτηματογράφηση, δηλαδή η αποτύπωση ορίων ιδιοκτησιών. Θα πρέπει όμως εδώ να γίνει η παρατήρηση ότι το GPS παρέχει είτε διανύσματα στο χώρο, είτε τρισδιάστατες διαφορές συντεταγμένων που αναφέρονται στο WGS-84. Για την χρησιμοποίηση των στοιχείων αυτών στον ελλαδικό χώρο, θα πρέπει να γίνονται κατάλληλες αλλαγές datum και προβολικών συστημάτων, ώστε το τελικό αποτέλεσμα των μετρήσεων να είναι συντεταγμένες στα ελληνικά συστήματα αναφοράς.

Επίσης διάφοροι άλλοι τομείς όπως η Ναυσιπλοΐα, Αεροπλοΐα, Γεωργία κ.τ.λ. χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό το σύστημα του GPS.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ :

1. Μπανέλας Α.Γ., Σαββαΐδης Π.Γ., Υθανηής Ι.Μ., Γούκας Ι.Γ., (2004), “γεωδαιζία”, Τόμος
I – Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέληρης και σπολογιζμών , Γεύηρη
έκδοζη ,
Εκδοτικός οίκος: Αδερθών Κσριακίδη α.ε.λκ
2. Σαββαΐδης Π., Το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης GPS και οι
εφαρμογές του
στα συστήματα μεταφορών, Σημειώσεις μεταπτυχιακού σπουδών,
Θεσσαλονίκη, 2003.
3. Αριστείδης Ι. Φωτίου, Χρήστος Κ. Πικριδάς, “GPS και γεωδαιτικές
εφαρμογές“, Εκδότης: Ζήτη
4. Μπαλοδήμος Δ-Δ, Δ Σταθάς (1993) Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι
μέτρησης γωνιών και μηκών. Σημειώσεις Μαθήματος, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ.

ΞΕΝΑ ΒΙΒΛΙΑ :

1. Bomford, B. (1971). “Geodesy”. Oxford University Press, 3rd edition.
2. Hartinger, H., Brunner, K. F., (1998), “Experimental detection of
deformations using
GPS”, Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering,
April
20-22, 1998, pp. 145-152.

3. Merticas S.P. and Koutrakis S.: Using GPS for Geodetic Positioning in Urban Greece, GPS World, Volume July/August, 1990.
4. B. Hofmann-Wellenhof and H. Moritz, Physical Geodesy, Springer-Verlag Wien, 2005. (This text is an updated edition of the 1967 classic by W.A. Heiskanen and H. Moritz)
5. Torge W (2000) Geodesy. Walter de Gruyter. 3rd Edt. Berlin, N York.