

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΙΔΡΥΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ
ΛΕΜΕΣΟ.

Πανίκος Κολοβού

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΙΔΡΥΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ
ΛΕΜΕΣΟ.

Πανίκος Κολοβού

Σύμβουλος καθηγητής
κος Χριστόδουλος Δανέζης

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Πανίκος Κολοβού, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό, να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας, κ. Χριστόδουλο Δανέζη, λέκτορα του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου που μου εμπιστεύθηκε το θέμα αυτής της μελέτης. Τον ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας καθώς, και για την υποστήριξη και το ενδιαφέρον του για την ορθή εκπόνηση και παρουσίαση της.

Ακόμα, ευχαριστώ τους συναδέλφους μου, Σάββα Οδυσσέως, Παναγιώτη Τσαπαρίλλα και Μαρίνα Πεκρή για την άποψη και ευχάριστη συνεργασία μας, την αμέριστη υποστήριξη και κατανόηση καθώς και την βοήθεια τους στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Σωτήρη και Ξένια, τα αδέρφια μου Άντρη, Αφροδίτη και Ραφαήλ, όπως επίσης και την αρραβωνιαστικιά μου Χριστίνα, για την ηθική τους συμπαράσταση και την υπομονή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προσδιορισμός της κατακόρυφης θέσης σημείων του εδάφους είναι πολύ σημαντικός στις μέρες μας για το μεγαλύτερο πλήθος των έργων του Μηχανικού και είναι απαραίτητη πλέον στα τοπογραφικά διαγράμματα.

Για το σκοπό αυτό, στην περιοχή της Λεμεσού, λόγω απουσίας δικτύου κατακόρυφου ελέγχου αποφασίστηκε να ιδρυθεί ένα γεωδαιτικό Δίκτυο Κατακόρυφου Ελέγχου (Δ.Κ.Ε) για αστική χρήση. Προσδιορίστηκαν οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των κορυφών του, με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης. Συμπεριλαμβάνονται οι θέσεις των κορυφών που τοποθετήθηκαν (σε χαρτογραφικό υπόβαθρο του λογισμικού ArcMap) και οι μετρήσεις που οδήγησαν στην ίδρυση νέου δικτύου στην ευρύτερη περιοχή της Λεμεσού.

Λέξεις κλειδιά: Δίκτυο Κατακόρυφου ελέγχου (Δ.Κ.Ε), Λεμεσός, Ίδρυση Δικτύου

ABSTRACT

The determination of the vertical position of points on the ground is very important nowadays for a large number of Engineer's applications and necessary now in topographical charts.

For this purpose, in the area of Limassol, it was decided to establish a geodetic Vertical Control Network (V. C. N) for urban use because there was no vertical control network. The height differences between the points of the network were determined using the method of Double Geometric Leveling. The positions of the network points (in the cartographic base of ArcMap software) and the measurements that led to the establishment of a new network in the wider area of Limassol are included.

Keywords: Vertical Control Network (V.C.N), Limassol, Establishing network

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	1
Abstract	2
Πίνακας περιεχομένων	3
Κατάλογος εικόνων	5
Κατάλογος σχημάτων.....	5
Εισαγωγή.....	6
1 Πρόλογος.....	7
1.1 Αντικείμενο μελέτης.....	7
1.2 Περιοχή μελέτης	8
1.2.1 Γενικά.....	8
1.3 Σκοπός της Πτυχιακής εργασίας.....	12
2 Βασικοί ορισμοί	13
2.1 Σχήμα, μέγεθος της Γης και επιφάνειες αναφοράς.....	13
2.1.1 Γεωειδές	14
2.1.2 Ελλειψοειδές εκ περιστροφής	15
2.1.3 Σφαίρα	16
2.2 Προσδιορισμός της θέσης σημείου της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας ως προς τις επιφάνειες αναφοράς	16
3 Όργανα μέτρησης.....	18
3.1 Χωροβάτες.....	19
3.1.1 Περιγραφή Χωροβατών	19
3.2 Χωροσταθμικοί πήγεις ή σταδίες	27
4 Γεωμετρική Χωροστάθμιση.....	35
4.1 Γενικά	35

4.2	Διαδικασία Μετρήσεων	36
4.3	Σφάλματα κατά τη μέθοδο.....	40
4.3.1	Συστηματικά σφάλματα	41
4.3.2	Τυχαία σφάλματα	42
4.4	Η ακρίβεια της μεθόδου	43
5	Ίδρυση Κατακόρυφου Δικτύου.....	44
5.1	Γενικά	44
5.2	Σχεδιασμός δικτύου	45
5.3	Επιλογή της θέσης των σημείων του δικτύου.....	45
5.4	Εργασίες πεδίου.....	48
5.5	Μετρήσεις Γεωμετρικής Χωροστάθμησης.....	49
6	Συμπεράσματα	53
7	Βιβλιογραφία.....	55
Παράρτημα I: Χάρτης		
Παράρτημα II: Εξασφαλίσεις		
Παράρτημα III: Μετρήσεις χωροστάθμησης		

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Περιοχή Μελέτης.....	8
Εικόνα 2: Ο μόλος της Λεμεσού	9
Εικόνα 3: Ψηφιακός χωροβάτης.....	20
Εικόνα 4: Ψηφιακός χωροβάτης Leica Sprinter 50/150/150M/250M	24
Εικόνα 5: Οπτικομηχανικά μέρη ενός ψηφιακού χωροβάτη	26
Εικόνα 6: Αναλογική Σταδία	28
Εικόνα 7: Ψηφιακή σταδία	28
Εικόνα 8: Τυπικό Διάγραμμα σταδίας με ελάχιστα σφάλματα	33
Εικόνα 9: Τυπικό Διάγραμμα σταδίας με συστηματικό σφάλμα διαιρέσεων	33
Εικόνα 10: Μπουλόνια	46
Εικόνα 11: Ασύματο Τρυπάνι και Ρητίνη	47
Εικόνα 12: Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων.....	51
Εικόνα 13: Μορφή αρχείου που αποθηκεύεται στο χωροβάτη.....	52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχετική θέση μέσης στάθμης θάλασσας, γεωειδούς και ελλειψοειδούς αναφοράς.....	15
Σχήμα 2: Υψόμετρα σημείο P και απόκλιση της κατακορύφου	16
Σχήμα 3: Η αρχή της γεωμετρικής χωροστάθμησης	36
Σχήμα 4: Χωροστάθμηση «σε όδευση»	39
Σχήμα 5: Μετρήσεις Χωροσταθμικής όδευσης	49

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για ίδρυση δικτύου κατακόρυφου ελέγχου στο κέντρο της Λεμεσού είναι ο βασικός λόγος για τον οποίο συντάχθηκε η παρούσα εργασία. Η έλλειψη υψομετρικού δικτύου στη Λεμεσό μας οδήγησε στον κατάλληλο σχεδιασμό της υψομετρικής χωροστάθμησης η οποία θα μπορέσει να επεκταθεί σε μεταγενέστερο χρόνο για την διευκόλυνση της δημιουργίας έργων και για την παρακολούθηση της αποχής μεταξύ του ορθομετρικού και γεωμετρικού υψομέτρου.

Για την ολοκλήρωση της προσπάθειας μας αυτής ήταν απαραίτητη η χρήση της μεθόδου της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης και της κατάλληλης τεχνολογίας δηλαδή ψηφιακού χωροβάτη και γεωδαιτικού δορυφορικού δέκτη. Με την βοήθεια του ψηφιακού χωροβάτη έγινε η μέτρηση του υψομετρικού δικτύου με το οποίο καταλήξαμε στην υλοποίηση των ορθομετρικών υψομέτρων ενώ ο γεωδαιτικός δορυφορικός δέκτης μας εξασφάλισε το γεωμετρικό υψόμετρο με τη μέθοδο RTK (Real Time Kinematic) και τη θέση των σημείων. Με τη σωστή χρήση των οργάνων επιτεύχθηκαν οι καλύτερες δυνατές ακρίβειες που δίνονται από τις κατασκευαστικές τους εταιρείες.

Στην εργασία περιλαμβάνονται αναλυτικά όλες οι μετρήσεις που λήφθηκαν από τον χωροβάτη καθώς και οι εξασφαλίσεις των σημείων. Ακόμα, συμπεριλαμβάνεται και χάρτης της περιοχής μελέτης που υποδεικνύει τις κορυφές του υψομετρικού δικτύου, την τάξη του κάθε σημείου όπως και το σύστημα αναφοράς στο οποίο ανήκει. Οι εργασίες πεδίου και γραφείου ολοκληρώθηκαν τον Απρίλιο του 2016.

1 Πρόλογος

1.1 Αντικείμενο μελέτης

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία κύρια ενασχόληση μας ήταν η Ίδρυση ενός αστικού κατακόρυφου δικτύου, με την εφαρμογή σύγχρονων επίγειων μεθόδων. Η ίδρυση ενός κατακόρυφου δικτύου σε μια πόλη αποσκοπεί κυρίως στην εξυπηρέτηση των αναγκών της πόλης για έργα υποδομής και κατασκευές όπως έργα οδοποιίας, έργα ύδρευσης και αποχέτευσης, οικοδομικά έργα, έργα οργανισμών κοινής ωφέλειας και γενικά για τοπογραφικές εργασίες.

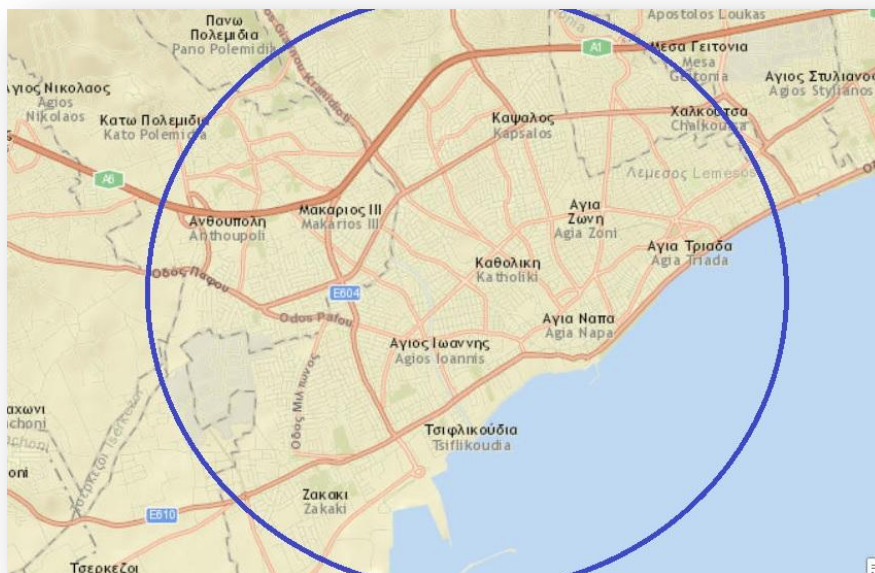
Η επιλογή των θέσεων των υψομετρικών κορυφών πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να καλύπτεται όλη η επιθυμητή έκταση και να λαμβάνεται υπόψη και η προοπτική ανάπτυξης και επέκτασης της περιοχής. Οι κορυφές τοποθετούνται σε κατά το δυνατόν ίσες αποστάσεις μεταξύ τους, ενώ λαμβάνονται υπόψη οι μεταξύ τους υψομετρικές διαφορές έτσι ώστε να αποφεύγονται μεγάλα μήκη χωροσταθμικών οδεύσεων.

Η υλοποίηση των κορυφών του δικτύου στο ύπαιθρο γίνεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μονιμότητά τους, να υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτές και το κυριότερο να μην εμποδίζεται από κάποιο εμπόδιο η ορθή τοποθέτηση της σταδίας πάνω σε αυτές.

Ως θέμα αυτής της εργασίας, επιλέχθηκε η ίδρυση του αστικού κατακόρυφου δικτύου του κέντρου της πόλης της Λεμεσού. Η περιοχή αυτή ήταν επιλογή του επιβλέποντα καθηγητή κ. Χριστόδουλου Δανέζη που ανήκει στο δυναμικό του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, καθώς ήταν άμεση η ανάγκη ίδρυσης δικτύου αφού δεν έχει ξαναγίνει στο παρελθόν. Οι μετρήσεις που έγιναν περιλάμβαναν μετρήσεις με τη μέθοδο της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης με σύγχρονο ψηφιακό χωροβάτη.

1.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή που επιλέχθηκε να μελετηθεί στην εργασία είναι το κέντρο της πόλης της Λεμεσού όπου και ιδρύθηκε αστικό κατακόρυφο δίκτυο.



Εικόνα 1 : Περιοχή μελέτης

1.2.1 Γενικά

Η Λεμεσός (Αγγλικά: Limassol) είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κύπρου και η νοτιότερη της Ευρώπης. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στους 100.000 κατοίκους εντός των δημοτικών ορίων και στους περίπου 180.000 στην ευρύτερη αστική περιοχή. Είναι το μεγαλύτερο λιμάνι του νησιού και ένα από τα μεγαλύτερα της Ανατολικής Μεσογείου.

Η Λεμεσός είναι σχετικά νεότερη πόλη, αν και στην περιοχή της βρέθηκαν ίχνη που μαρτυρούν ότι την κατοικούσαν από τα αρχαιότερα χρόνια. Βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα της Κύπρου, χτισμένη αμφιθεατρικά πάνω στο Κόλπο Ακρωτηρίου, μεταξύ δύο αρχαίων πόλεων: της Αμαθούντας στα ανατολικά, και του Κουρίου στα δυτικά. Η ανάπτυξη της πόλης αναχαιτίζεται από τις Βρετανικές Στρατιωτικές Βάσεις στα δυτικά, έτσι η πόλη εξαπλώνεται προς τα ανατολικά, με αμμώδεις παραλίες κατά μήκος του παραλιακού της μετώπου.



Εικόνα 2: Ο μόλος της Λεμεσού

Η πόλη της Λεμεσού άρχισε να αναφέρεται στην ιστορία κατά την πρώιμη βυζαντινή εποχή με το όνομα Νεάπολις. Κατά τα βυζαντινά χρόνια ήταν έδρα επισκόπου και αναφέρεται με τις ονομασίες Θεοδοσιάς (ή Θεοδοσιανή) και Νέα Πόλις (Νεάπολις), ήταν δε εκείνη που άκμασε ανάμεσα σε δυο σημαντικές αρχαίες πόλεις, την Αμαθούντα και το Κούριον. Μάλιστα η Αμαθούς απαντάται από τα μεσαιωνικά χρόνια ως και σήμερα, με την ονομασία Παλαιά Πόλις. Κατά τη μεσαιωνική περίοδο η Λεμεσός φιλοξένησε το γάμο του Ριχάρδου του Λεοντόκαρδου και της Βερεγγάριας, η οποία αργότερα στέφθηκε βασίλισσα της Αγγλίας, με τη στέψη να γίνεται επίσης στη Λεμεσό. Αργότερα, κατά την περίοδο των Σταυροφοριών, οι Σταυροφόροι ίδρυσαν το αρχηγείο τους στα δυτικά της Λεμεσού, γνωστό σήμερα ως Μεσαιωνικό Κάστρο Κολοσσίου. Αυτό αποτέλεσε και την αρχή της παραγωγής κρασιού στο νησί, κυρίως του γλυκού κρασιού, της Κουμανταρίας, η οποία φέρει το αρχαιότερο όνομα κρασιού στον κόσμο.

Στη Λεμεσό αποβιβάστηκε με τα στρατεύματά του ο βασιλιάς της Αγγλίας Ριχάρδος ο Λεοντόκαρδος, που κατέλαβε την Κύπρο το 1191. Το 1291 η πόλη δόθηκε από τον τότε Φράγκο βασιλιά της Κύπρου Ερρίκο Β' στους Ναΐτες και Ιωαννίτες ιππότες. Σύντομα όμως οι Ιωαννίτες κατέλαβαν τη Ρόδο και μετέφεραν εκεί την έδρα τους, ενώ το τάγμα των Ναϊτών διαλύθηκε με απόφαση του πάπα. Το 1426 η πόλη καταλήφθηκε και λεηλατήθηκε από τους Σαρακηνούς ενώ κατά καιρούς δέχτηκε και άλλες επιθέσεις από διάφορους εισβολείς.

Μεταξύ των μνημείων της που σώζονται, είναι το μεσαιωνικό φρούριο που είχε κτισθεί τον 12ο ή στις αρχές του 13ου αιώνα. Αν και η παράδοση αναφέρει ότι στο φρούριο αυτό τέλεσε τους γάμους του ο Ριχάρδος ο Λεοντόκαρδος με τη Βερεγγάρια της Ναβάρρας, αυτό είναι λάθος γιατί το φρούριο δεν είχε κτισθεί ακόμη το 1191, όταν ο Ριχάρδος

βρισκόταν στην Κύπρο. Αντίθετα, οι πηγές αναφέρουν ότι οι γάμοι του Άγγλου βασιλιά είχαν γίνει στη μικρή εκκλησία του Αγίου Γεωργίου, που δε σώζεται πλέον.

Σήμερα η Λεμεσός επεκτείνεται πέραν των δημοτικών της ορίων, το παλαιότερο κομμάτι της έχει διατηρηθεί ως το Ιστορικό Κέντρο, που ξεκινά από τα δρομάκια δίπλα από το Παλιό Λιμάνι και απλώνεται ανατολικότερα κατά μήκους της παραλίας. Ο πυρήνας αυτού του ιστορικού κέντρου είναι το Κάστρο της Λεμεσού, σήμα κατατεθέν της πόλης, στο παρεκκλήσι του οποίου λέγεται ότι παντρεύτηκε ο Ριχάρδος ο Λεοντόκαρδος. Σήμερα στο κάστρο στεγάζεται το Μεσαιωνικό Μουσείο Κύπρου, το οποίο φιλοξενεί εκθέματα από όλη την Κύπρο.

Η περιοχή γύρω από το Κάστρο έχει πεζόδρομους, με πολλά εστιατόρια, μπαρ, αλλά και εκθεσιακούς χώρους, αποτελώντας έτσι το κέντρο της πολιτιστικής αλλά και νυκτερινής ζωής της Λεμεσού. Ανατολικά του Κάστρου, δεσπόζει ο καθεδρικός ναός της Αγίας Νάπας, χτισμένος στα τέλη του 19ου αιώνα.

Η Λεμεσός διαθέτει το δικό της Αρχαιολογικό Μουσείο, ένα αξιόλογο Θεατρικό Μουσείο και ένα μικρό Μουσείο Λαϊκής Τέχνης. Επιπλέον, υπάρχει ένας μεγάλος δημοτικός κήπος ο οποίος διαθέτει ένα μικρό ζωολογικό κήπο καθώς και ένα μεγάλο αμφιθέατρο. Σε αυτόν τον κήπο διεξάγεται κάθε Σεπτέμβριο η Γιορτή του Κρασιού, πόλος έλξης τόσο για τους πολίτες όσο και για τουρίστες. Μέσα σε ένα από τα πιο όμορφα και γνωστά κτήρια της πόλης στεγάζεται και η Δημοτική Βιβλιοθήκη, η οποία έχει πια μετατραπεί σε μια από τις πανεπιστημιακές βιβλιοθήκες του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Στην επαρχία Λεμεσού υπάρχουν και άλλοι αρχαιολογικοί χώροι όπως το Μεσαιωνικό Κάστρο Κολοσσίου, το Κούριο, το Ιερό του Απόλλωνα Υλάτη, η αρχαία πόλη της Αμαθούντας καθώς και ιστορικά μοναστήρια όπως η Μονή Αγίου Γεωργίου Αλαμάνου. Σύμπλεγμα υδροβιότοπων παρατηρείται στην περιοχή Ακρωτηρίου "Αλυκή Λεμεσού", χαρακτηρίζεται δε από τη συνθήκη Ράμσαρ, την Ευρωπαϊκή ΖΕΠ και την αναγνώριση της περιοχής από τις Αγγλικές Βάσεις σαν "Ζώνη Ειδικής Προστασίας" για τη σημαντικότητα των υδροβιότοπων καθώς και της βιοποικιλότητας του νησιού.

Η Λεμεσός μπορεί να θεωρηθεί ως το βιομηχανικό κέντρο ολόκληρης της Κύπρου, με γύρω στις 350 βιομηχανικές μονάδες που κατασκευάζουν έπιπλα, υποδήματα, μεταλλικά είδη, ηλεκτρικές συσκευές και πλαστικά. Η ανάπτυξη του τουρισμού στη Λεμεσό πήρε μια νέα τροπή το 1974 όταν οι Τούρκοι εισβολείς κατέλαβαν την Αμμόχωστο και την Κερύνεια, τα κύρια τουριστικά θέρετρα του νησιού. Με μια πληθώρα παραλιών και πολυτελών ξενοδοχείων, η Λεμεσός μετατράπηκε σε σημαντικό τουριστικό κέντρο. Παράλληλα, η Λεμεσός αναπτύχθηκε ως το σημαντικότερο λιμάνι της Κύπρου, μετά την κατάληψη του λιμανιού της Αμμοχώστου το 1974.

Η Λεμεσός διαθέτει δύο λιμάνια, γνωστά ως το “Παλιό” και “Νέο” Λιμάνι. Το Νέο Λιμάνι Λεμεσού διαχειρίζεται το μεγαλύτερο αριθμό επιβατών και εμπορευμάτων. Έχει έντεκα μέτρα βάθος και μήκος 1300 μέτρων, μπορώντας έτσι να εξυπηρετήσει μέχρι και έντεκα πλοία ταυτόχρονα.

Μέσα από αυτά τα λιμάνια η Κύπρος εξάγει σταφύλι, κρασί, χαρούπια, και εισάγει δημητριακά, οχήματα, μηχανήματα, φάρμακα, και σίδηρο. Σήμερα, η Λεμεσός έχει γίνει το μεγαλύτερο κέντρο ναυτιλιακής διαχείρισης στην Ευρώπη, με περισσότερες από 60 ναυτιλιακές εταιρείες που διαθέτουν γραφεία στην πόλη, και λόγω του ευνοϊκού φορολογικού συστήματος της Κύπρου. Η Κύπρος σήμερα διαθέτει το δέκατο μεγαλύτερο στόλο στον κόσμο. Έργα για την καινούργια Μαρίνα έχουν ήδη αποπερατωθεί και τα εγκαίνια έγιναν τον Ιούνιο του 2014. Η Μαρίνα μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι και χίλια σκάφη.

Η Λεμεσός είναι επίσης η πρωτεύουσα της οινοπαραγωγικής περιοχής της Κύπρου, που βρίσκεται στις πλαγιές του Τροόδου, και είναι η έδρα σημαντικών οινοπαραγωγικών εταιριών. Τα κρασιά και κονιάκ που παράγονται σ'αυτές τις περιοχές, από τα οποία το πιο γνωστό είναι η Κουμανδαρία, είναι εξαιρετικής ποιότητας και έχουν κερδίσει πολλά βραβεία σε διεθνές εκθέσεις.

1.3 Σκοπός της Πτυχιακής εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, κατανοούμε ότι η Λεμεσός είναι μια αναπτυσσόμενη πόλη με μεγάλη σημασία στην Μεσόγειο. Είναι πολύ σημαντική η ύπαρξη κατακόρυφου δικτύου ώστε να κατασκευαστούν δημόσια έργα. Αξίζει να σημειωθεί πως η αποχή ανάμεσα στο ορθομετρικό και γεωμετρικό υψόμετρο ανέρχεται στα 13 με 14 μέτρα περίπου. Εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περιοχή γιατί κάτω από την Κύπρο βρίσκεται η Αφρικανική Πλάκα η οποία κινείται βαθύτερα από την Ευρασιατική με αποτέλεσμα να την μετακινεί προς τα πάνω και έτσι αυτή αλλάζει τα υψόμετρα του νησιού.

2 Βασικοί ορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα γίνει αναφορά σε βασικούς ορισμούς που η γνώση τους είναι απαραίτητη για την κατανόηση των αποτελεσμάτων της εργασίας. Αναφέρονται κυρίως στο σχήμα και στο μέγεθος της Γης, στις επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται και στο πως προσδιορίζεται η θέση ενός σημείου.

2.1 Σχήμα, μέγεθος της Γης και επιφάνειες αναφοράς

Το σχήμα και το μέγεθος της Γης στο πλαίσιο της επιστήμης της Γεωδαισίας, δεν περιλαμβάνει την περιγραφή της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας όπως βουνά, κοιλάδες, ρήγματα αλλά αναφέρεται σε μια φανταστική επιφάνεια που πλησιάζει τη μέση στάθμη της θάλασσας και τη νοητή προέκταση της κάτω από την στεριά. Η γη λόγω της βαρύτητας θα μπορούσε να έχει ένα απόλυτα σφαιρικό σχήμα αν θεωρούνταν ακίνητη και ομοιογενής.

Παρ' όλα αυτά λόγω της αυτοπεριστροφής της αναπτύσσεται φυγόκεντρη δύναμη λόγω αδράνειας, η οποία είναι μεγαλύτερη σε τόπους κοντά στον ισημερινό παρά σε τόπους με μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Η επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης δίνει στη γη ένα σχήμα διογκωμένο στον ισημερινό και πεπλατυσμένο στους πόλους, που μπορεί να προσεγγιστεί από ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Οι βασικοί παράμετροι που πρέπει να είναι γνωστοί για να περιγραφεί ένα ελλειψοειδές είναι οι διαστάσεις του που δίνονται συνήθως με το μέγεθος του μεγάλου ημιάξονα a και της επιπλάτυνσης f που ορίζεται από τη σχέση:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

όπου b ο μικρός ημιάξονας.

Έτσι λοιπόν οι βασικές επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στη γεωδαισία για να περιγραφεί το φυσικό και γεωμετρικό μοντέλο της γης και πάνω στις οποίες προβάλλονται τα σημεία της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας για να προσδιοριστεί η θέση τους, αλλά και οι μετρήσεις για να γίνουν οι υπολογισμοί, είναι οι εξής:

α) Το γεωειδές (φυσικό μοντέλο)

β) Το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (μαθηματικό- γεωμετρικό μοντέλο)

γ) Η σφαίρα (προσεγγιστικό μοντέλο)

και το οριζόντιο επίπεδο για πολύ μικρές εκτάσεις.

2.1.1 Γεωειδές

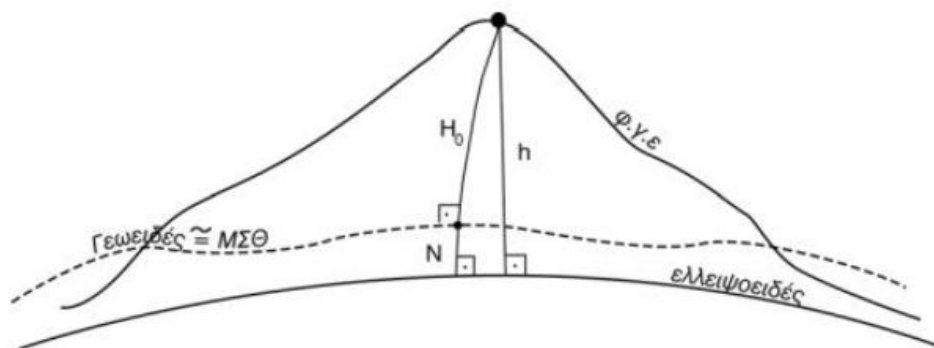
Γεωειδές ορίζεται ως εκείνη η ισοδυναμική επιφάνεια του πραγματικού γήινου πεδίου βαρύτητας, που προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στη μέση στάθμη των θαλασσών στο σύνολο της γης. Με προσέγγιση μέτρου, το γεωειδές ταυτίζεται με τη μέση στάθμη της θάλασσας, στους ωκεανούς, η οποία θεωρείται ότι «επεκτείνεται» και κάτω από τις ηπείρους. Η μη σύμπτωση της μέσης στάθμης της θάλασσας με ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας οφείλεται κυρίως στη διαφορετική θερμοκρασία και αλατότητα καθώς και στα θαλάσσια ρεύματα στους ωκεανούς.

Το γεωειδές είναι μια κλειστή επιφάνεια με τα κοίλα προς το εσωτερικό του και προσομοιάζει με ελλειψοειδές εκ περιστροφής, με μέγιστη αποχή (υψόμετρο του γεωειδούς N) από αυτό περίπου 100 μέτρα, δηλαδή μόλις 15 εκατομμυριοστά της μέσης ακτίνας καμπυλότητας του ενώ ο μέσος όρος αποχής σ' ολόκληρη τη γη είναι $\pm 30m$. Από τον ορισμό του γεωειδούς προκύπτει ότι η διεύθυνση της κατακόρυφου (η διεύθυνση του νήματος της στάθμης) είναι κάθετη στην επιφάνεια του σε κάθε σημείο του.

Το γεωειδές είναι η επιφάνεια αναφοράς στο αστρονομική σύστημα αναφοράς. Επίσης αποτελεί την επιφάνεια αναφοράς των ορθομετρικών υψομέτρων. Τα υψόμετρα αυτά, που συναρτώνται με το πεδίο βαρύτητας της γης είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στα έργα Μηχανικού («υψόμετρα μετρούνται από την μέση στάθμη της θάλασσας»).

Ο προσδιορισμός του γεωειδούς αποτελεί επίσης κύριο στόχο της Γεωδαισίας. Στηρίζεται σε μετρήσεις (γεωδαιτικές, αστρονομικές, ωκεανογραφικές, βαρύτητας κ.λ.π) και βελτιώνεται συνεχώς, όσο βελτιώνονται οι θεωρίες και τα όργανα μετρήσεων. Σε αυτό, μεγάλη είναι και η συμβολή των δορυφορικών μεθόδων.

Εφόσον το γεωειδές προσομοιάζει τόσο καλά ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής (σφαιροειδές), είναι λογικό να επιζητηθεί η εύρεση εκείνου του ελλειψοειδούς που προσαρμόζεται σε σχήμα και διαστάσεις, όσο το δυνατόν καλύτερα στο γεωειδές, έχει την ίδια μάζα με τη Γη και είναι συγχρόνως ισοδυναμική επιφάνεια του εαυτού του. Το ελλειψοειδές αυτό, επιτρέπει την αντικατάσταση του γεωειδούς (που είναι αρκετά πολύπλοκη επιφάνεια) και μπορεί να χρησιμεύει ως επιφάνεια αναφοράς ως προς την οποία είναι δυνατόν να εκφραστούν τόσο το ίδιο το γεωειδές, όσο και όλες οι άλλες γεωδαιτικές, τοπογραφικές και χαρτογραφικές εργασίες. Για το λόγο αυτό το ελλειψοειδές αυτό ονομάζεται και ελλειψοειδές αναφοράς ή γήινο ελλειψοειδές. Από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς αυτού μετρώνται επίσης και τα γεωμετρικά υψόμετρα (h). Οι σχετικές θέσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας του γεωειδούς και του ελλειψοειδούς αναφοράς φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1: Σχετική θέση μέσης στάθμης θάλασσας, γεωειδούς και ελλειψοειδούς αναφοράς

2.1.2 Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής μπορεί να δημιουργηθεί από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από τον μικρό άξονα της και ορίζεται από το μεγάλο ημιάξονα, a , και είτε από την επιπλάτυνση f , είτε από τον μικρό του ημιάξονα b , είτε από την εκκεντρότητα του e .

Γήινο ή γεωκεντρικό ελλειψοειδές θεωρείται εκείνο του οποίου το κέντρο ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της γης, ο άξονας συμμετρίας του ταυτίζεται με τον μέσο άξονα περιστροφής της, προσεγγίζει όσο το δυνατόν καλύτερα (σε διαστάσεις) το γεωειδές σε παγκόσμια κλίμακα και μπορεί να προσδιοριστεί από γεωδαιτικές μετρήσεις ή/και από

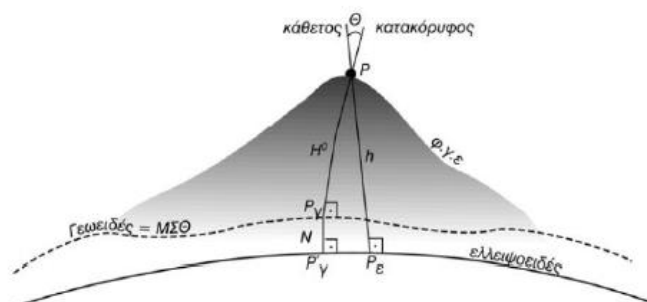
καθαρά δυναμικά στοιχεία που προσδιορίζονται από παρατηρήσεις σε τεχνητούς δορυφόρους. Οι μέγιστες αποχές από το γεωειδές είναι περίπου 100 m, με μέσο όρο ± 30 m.

2.1.3 Σφαίρα

Απλούστερη μαθηματική έκφραση μοντέλου που προσεγγίζει με μικρότερη ακρίβεια από όσο ένα ελλειψοειδές εκ περιστροφής στο σύνολο του το γεωειδές, είναι η επιφάνεια μιας σφαίρας, με κέντρο το κέντρο μάζας της γης και ακτίνα την μέση ακτίνα καμπυλότητας του ελλειψοειδούς. Τοπικά, για σχετικά μικρές εκτάσεις μπορεί η σφαίρα (εγγύτατη στο σημείο) να αντικαταστήσει το ελλειψοειδές με ικανοποιητική ακρίβεια, ενώ για εφαρμογές στη χαρτογραφία και ναυσιπλοΐα συχνά η επιφάνεια της σφαίρας αποτελεί την επιφάνεια αναφοράς της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας.

2.2 Προσδιορισμός της θέσης σημείου της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας ως προς τις επιφάνειες αναφοράς

Για να προσδιοριστεί η θέση ενός σημείου της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας ως προς την επιφάνεια αναφοράς του, που όπως ήδη αναφέρθηκε μπορεί να είναι: το γεωειδές, το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, η σφαίρα και για πολύ μικρές εκτάσεις, το οριζόντιο επίπεδο (κάθετο στην κατακόρυφο του τόπου), θα πρέπει να θεωρηθεί από το σημείο αυτό η προβολή του προς την επιφάνεια αναφοράς. Η διεύθυνση της καθέτου αυτής για την περίπτωση του γεωειδούς και του οριζοντίου επιπέδου είναι η διεύθυνση της κατακορύφου. Έτσι, αν θεωρηθεί η κατακόρυφη που περνά από το σημείο P μέχρι το γεωειδές και την κάθετη από το σημείο προς το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, τότε η πρώτη τέμνει το γεωειδές στο σημείο P_γ και η δεύτερη στο σημείο P_ϵ .



Σχήμα 2: Υψόμετρα σημείο P και απόκλιση της κατακορύφου

Η γωνία (θ) που σχηματίζεται στο P από την κατακόρυφη και την κάθετη στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής λέγεται απόκλιση της κατακορύφου και είναι μια γωνία στο χώρο η οποία δίνει και την κλίση μεταξύ των δύο επιφανειών (γεωειδούς και ελλειψοειδούς εκ περιστροφής). Η τιμή της κατά μέσο όρο σ' ολόκληρη την γη κυμαίνεται από $-10''$ έως $10''$. Η απόσταση PP_γ λέγεται ορθομετρικό υψόμετρο (H^o) του σημείου από το γεωειδές (πρακτικά από την μέση στάθμη της θάλασσας). Η απόσταση PP_ϵ λέγεται γεωμετρικό υψόμετρο (h) του σημείου, ενώ αν φέρουμε την κάθετη από το σημείο P_γ στο ελλειψοειδές η $P_\gamma P'_\gamma$ λέγεται υψόμετρο ή αποχή του γεωειδούς (N) από το ελλειψοειδές. Από το σχήμα φαίνεται ότι $H = H^o + N$ αφού η γωνία θ είναι πολύ μικρή. Η σχέση αυτή είναι πολύ σημαντική για την υψομετρία στη γεωδαισία.

Τα ορθομετρικά υψόμετρα που είναι τα συνηθισμένα υψόμετρα τα οποία χρησιμοποιούνται σε έργα Μηχανικού και στους χάρτες προσδιορίζονται κυρίως με γεωμετρική χωροστάθμηση, τα γεωμετρικά κυρίως με δορυφορικές μετρήσεις GPS, ενώ τα υψόμετρα του γεωειδούς μπορούν αν προκύψουν ως διαφορά των δυο προηγούμενων αλλά και με αστρογεωδαιτική χωροστάθμηση, όπου χρησιμοποιούνται γεωδαιτικές και αστρονομικές (απόκλιση της κατακορύφου) παρατηρήσεις.

Η θέση ενός σημείου στο χώρο μπορεί να περιγραφεί με τρεις παραμέτρους χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συντεταγμένων. Όταν χρησιμοποιείται μια επιφάνεια (αναφοράς) τότε η απόσταση του σημείου από την επιφάνεια αυτή (εκτός της σφαίρας είναι η (τρίτη συνήθως) παράμετρος που στη γεωδαισία λέγεται υψόμετρο.

3 Όργανα μέτρησης

Στις επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις τα μεγέθη που μετρούνται είναι μήκη, γωνίες (οριζόντιες ή κατακόρυφες) και υψομετρικές διαφορές. Για τη μέτρηση αυτών των μεγεθών χρησιμοποιούνται κατάλληλα γεωδαιτικά όργανα, που συνοδεύονται από τα παρελκόμενα τους. Είναι λοιπόν απαραίτητο να παρουσιαστούν αυτά τα όργανα μέτρησης καθώς και οι βασικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οπτικομηχανικά όργανα, αλλά δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα σύγχρονα ψηφιακά που χρησιμοποιούνται σήμερα. Βέβαια, οι αρχές και η βασική διαδικασία της λειτουργίας τους παραμένουν ίδιες.

Η μέτρηση ενός μεγέθους με ένα τέτοιο όργανο χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους. Την ανάγνωση ή μέτρηση του οργάνου και το σφάλμα ή αβεβαιότητα της μοναδιαίας μέτρησης ή ανάγνωσης.

Ανάγνωση ή απόδοση ή ένδειξη ενός οργάνου είναι η πληροφορία που σχετίζεται με τη μετρούμενη τιμή και γίνεται απευθείας αντιληπτή οπτικά, ακουστικά ή με άλλον τρόπο. Η ανάγνωση μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή. Αναλογική είναι η ένδειξη που παράγεται μέσω μια γραμμικής κλίμακας και η ανάγνωση της γίνεται από τον παρατηρητή, ενώ ψηφιακή είναι η ένδειξη υπό μορφή σειριακών ψηφίων (δεν απαιτούνται παρεμβολές), που παρέχεται αυτόματα από το όργανο.

Αβεβαιότητα ή σφάλμα της μοναδιαίας μέτρησης ή ανάγνωσης ενός οργάνου είναι ο βαθμός ταύτισης μεταξύ της ένδειξης της τιμής της μέτρησης και της αντίστοιχης πραγματικής. Το σφάλμα της μοναδιαίας μέτρησης ή ανάγνωσης που παρέχεται από κάθε όργανο προκύπτει από συγκεκριμένη διαδικασία μετρολογικού του ελέγχου. Εξαρτάται από τη διαδικασία που εφαρμόζεται για την παραγωγή της ανάγνωσης, την ποιότητα της κατασκευής του οργάνου και δίνεται από τον κατασκευαστή του.

Η μέτρηση υψομετρικών διαφορών επιτρέπει τον προσδιορισμό των υψομέτρων σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας. Για την απευθείας μέτρηση των υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα και παρελκόμενα που είναι:

- Χωροβάτες (οπτικομηχανικοί ή ψηφιακοί)

- Χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες (αναλογικές ή ψηφιακές)
- Χωροσταθμικές βάσεις (χελώνες)

3.1 Χωροβάτες

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.

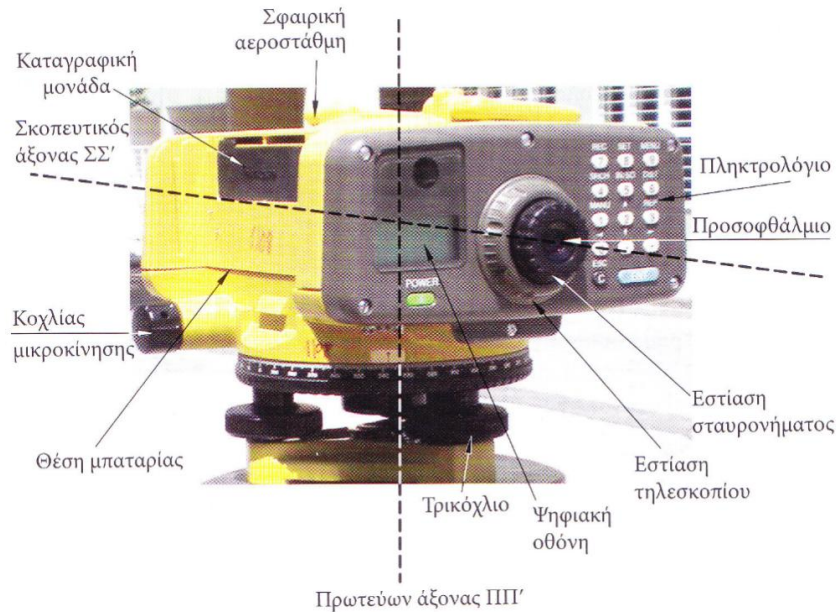
3.1.1 Περιγραφή Χωροβατών

Ο χωροβάτης (οπτικομηχανικός ή ψηφιακός) αποτελείται από το τηλεσκόπιο και το τρικόχλιο τα οποία αποτελούν ένα ενιαίο σώμα ενώ το τηλεσκόπιο μπορεί να περιστρέφεται μόνο γύρω από τον κατακόρυφο άξονα, ο οποίος ονομάζεται πρωτεύοντας άξονας (ΠΠ΄).

Οι βασικές συνθήκες λειτουργίας του χωροβάτη είναι:

- Ο σκοπευτικός άξονας $\Sigma\Sigma'$ ή σκοπευτική γραμμή πρέπει να είναι παράλληλος με την κανονική ευθεία $ΚΚ'$ της αεροστάθμης
- Η κανονική ευθεία $ΚΚ'$ της αεροστάθμης πρέπει να είναι κάθετη στον πρωτεύοντα άξονα ΠΠ΄.

Με τη βοήθεια του τηλεσκοπίου ορίζεται ένας σκοπευτικός άξονας ($\Sigma\Sigma'$), ο οποίος μπορεί να οριζοντιώνεται με ακρίβεια. Ο άξονας αυτός υλοποιείται από το κέντρο του σταυρονήματος που είναι χαραγμένο στο τηλεσκόπιο του οργάνου και το οπτικό κέντρο του αντικειμενικού φακού του τηλεσκοπίου. Η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γίνεται με σωληνωτή αεροστάθμη ή μηχανικό εκκρεμές που περιέχουν οι οπτικομηχανικοί χωροβάτες. Στους ψηφιακούς χωροβάτες η αντίστοιχη λειτουργία αποκαθίσταται με ειδικό ισοσταθμητή.



Εικόνα 3: Ψηφιακός χωροβάτης

Όταν αυτό επιτυγχάνεται τότε ο σκοπευτικός άξονας ΣΣ', είναι παράλληλος στο οριζόντιο επίπεδο, που ορίζει ο μηχανισμός οριζοντίωσης. Όταν περιστρέφεται το τηλεσκόπιο του χωροβάτη γύρω από τον άξονα ΠΠ', τότε η σκοπευτική γραμμή διαγράφει ένα οριζόντιο επίπεδο που είναι κάθετο στην κατακόρυφο του τόπου στο σημείο τοποθέτησης του χωροβάτη.

Η ανάγνωση της μέτρησης με τη χρήση των οπτικομηχανικών χωροβατών γίνεται απευθείας από τον παρατηρητή, μέσω του τηλεσκοπίου, πάνω στον αριθμημένο χωροσταθμικό πήχυ (σταδία).

Με τον ίδιο μηχανισμό λειτουργούν και οι ψηφιακοί χωροβάτες με διαφορά όμως στον τρόπο λήψης της ανάγνωσης στη σταδία και την καταγραφή της. Αυτή γίνεται ψηφιακά από το όργανο μέσω μιας CCD κάμερας που βρίσκεται ενσωματωμένη στο τηλεσκόπιο τους και αποθηκεύεται στην καταγραφική μονάδα του. Η ακρίβεια που λαμβάνουμε τις αναγνώσεις στη σταδία εξαρτάται από τη μεγέθυνση του τηλεσκοπίου. Αυτή κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 5X και 40X και η αύξηση της έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του οπτικού πεδίου και της λαμπρότητας της εικόνας. Επίσης, η λειτουργία του ψηφιακού χωροβάτη απαιτεί τροφοδοσία ρεύματος (μπαταρία).

Οι ψηφιακοί χωροβάτες με το λογισμικό που διαθέτουν μπορούν να εκτελούν διάφορα προγράμματα μετρήσεων σύμφωνα με την επιθυμία του χρήστη. Τα κυριότερα είναι τα εξής:

- λαμβάνουν μια απλή ανάγνωση πάνω στη σταδία την οποία εμφανίζουν στην οθόνη τους,
- λαμβάνουν n επαναλαμβανόμενες αναγνώσεις πάνω στη σταδία και στην οθόνη του οργάνου εμφανίζεται ο μέσος όρος τους, η τυπική του απόκλιση σ και ο αριθμός n των αναγνώσεων,
- λαμβάνουν αναγνώσεις μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη αβεβαιότητα για την εργασία που εκτελείται, όπως έχει καθοριστεί από τον χρήστη,
- λαμβάνουν πολλαπλές αναγνώσεις με προκαθορισμένη σειρά.

Η ποιότητα της εικόνας του οπτικού σήματος που λαμβάνουν, η ποιότητα της CCD κάμερας που έχουν ενσωματωμένη, η ρύθμιση της ακρίβειας του ισοσταθμητή, η σταθερότητα της σκοπευτικής γραμμής ως συνάρτηση της κλίσης του πρωτεύοντα άξονα, είναι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η αβεβαιότητα της μοναδιαίας ανάγνωσης.

Η χρήση των ψηφιακών χωροβατών έχει τα ακόλουθα **πλεονεκτήματα**:

- μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο πεδίο. Η ταχύτητα (απόδοση) ενός συνεργείου που εκτελεί μετρήσεις γεωμετρικής ισοστάθμισης βελτιώνεται 2.5-3 φορές, σε σχέση με την παλαιότερη κλασική διαδικασία,
- εξαλείφει το σφάλμα εκτίμησης της ανάγνωσης πάνω στη σταδία, από τον παρατηρητή,
- εξαλείφει το χονδροειδές σφάλμα ανάγνωσης του παρατηρητή και της καταγραφής των αναγνώσεων, αφού αυτή γίνεται αυτόματα σε ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα,
- χρησιμοποιώντας ψηφιακές σταδίες INVAR, είναι δυνατός ο προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών, με αβεβαιότητες που φτάνουν τα $\pm 0,2 \text{ mm/Km}$,
- η απόσταση μεταξύ χωροβάτη- σταδίας κατά τη μέτρηση μπορεί να ξεπεράσει τα 100 m,
- είναι δυνατή η λήψη ανάγνωσης ακόμη και αν αποκρύπτεται το τμήμα της σταδίας που βρίσκεται στο κεντρικό σταυρόνημα του χωροβάτη,
- είναι δυνατή η λήψη ανάγνωσης όταν καλύπτονται τα 2/3 του οπτικού πεδίου του τηλεσκοπίου, από σταδία.

Βέβαια, καταγράφονται και ορισμένα **μειονεκτήματα** όπως:

- Η αδυναμία μέτρησης σε περιβάλλον με περιορισμένο ή πολύ έντονο ή ανομοιόμορφο φωτισμό
- Το υψηλό κόστος αγοράς τους σε σχέση με τους αντίστοιχους οπτικομηχανικούς.

Οι ψηφιακοί χωροβάτες έχουν τη δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου της ορθής τους θέσης και ειδοποίησης του χρήστη όταν δεν πληρούνται οι συνθήκες λειτουργίας τους.

Ακόμη έχουν τη δυνατότητα μέσω ειδικού λογισμικού , ελέγχου της ορθής θέσης του σκοπευτικού τους άξονα (έλεγχος μέσου- άκρου), αποθήκευσης της τιμής της απόκλισης από την ορθή θέση και απευθείας διόρθωσης των μετρήσεων λόγω αυτού του σφάλματος.

Οι ψηφιακοί χωροβάτες μπορούν σε οποιαδήποτε περίπτωση (π.χ. έλλειψη μπαταρίας, ελλιπής ή έντονος φωτισμός, αδυναμία εστίασης) να χρησιμοποιηθούν και ως οπτικομηχανικοί. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένοι από τους ψηφιακούς χωροβάτες και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 1: Ψηφιακοί χωροβάτες

Τύπος Χωροβάτη	Κατασκευαστήρια Εταιρεία	Ηλεκτρονική Ανάγνωση (mm)	Αβεβαιότητα μέτρησης	min/max απόσταση μέτρησης (m)	Βάρος (Kg)
NA 2002	Leica (Ελβετία)	0.1	± 1.5 mm/Km (απλή σταδία) ± 1.2 mm/Km (invar σταδία)	± 1.8 m/100 (απλή σταδία) ± 1.8 m/60 (invar σταδία)	2.5
NA3003	Leica (Ελβετία)	0.01	± 1.2 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.4 mm/Km (invar σταδία)	± 1.8 m/100 (απλή σταδία) ± 1.8 m/60 (invar σταδία)	2.5
DNA03	Leica (Ελβετία)	0.01	± 1.0 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.3 mm/Km (invar σταδία)	± 1.8 m/110 (απλή σταδία) ± 1.8 m/110 (invar σταδία)	2.8
DNA10	Leica (Ελβετία)	0.1	± 1.5 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.9 mm/Km (invar σταδία)	± 1.8 m/110 (απλή σταδία) ± 1.8 m/110 (invar σταδία)	2.8
DL-101C	Topcon (Ιαπωνία)	0.01	± 1.2 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.4 mm/Km (invar σταδία)	± 2.0 m/100 (απλή σταδία) ± 2.0 m/60 (invar σταδία)	2.8
DL-102C	Topcon (Ιαπωνία)	0.01	± 1.0 mm/Km (απλή σταδία)	± 2.0 m/100 (απλή σταδία)	2.8
DiNi 12	Trimble (ΗΠΑ)	0.01	± 1.0 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.3 mm/Km (invar σταδία)	± 1.5 m/100 (απλή σταδία) ± 1.5 m/100 (invar σταδία)	3.5
DiNi 22	Trimble (ΗΠΑ)	0.01	± 1.3 mm/Km (απλή σταδία) ± 0.7 mm/Km (invar σταδία)	± 1.5 m/100 (απλή σταδία) ± 1.5 m/100 (invar σταδία)	3.2
SDL 30	Sokkia (Ιαπωνία)	0.01	± 1.0 mm/Km (απλή σταδία)	± 1.6 m/100 (απλή σταδία)	2.4

Ένας τύπος ψηφιακού χωροβάτη που ξεχωρίζουμε από τον Πίνακα είναι ο DNA03 ο οποίος κατασκευάζεται από την εταιρεία Leica με έδρα της την Ελβετία και ανήκει στους χωροβάτες πολύ υψηλής ακριβείας. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του είναι:

1. Η ηλεκτρονική ανάγνωση του είναι 0,01 mm.
2. Η αβεβαιότητα μέτρησης του είναι ±1,0 mm/Km με απλή σταδία και ±0,3 mm/Km με σταδία Invar.
3. Η min/max απόσταση μέτρησης του είναι 1,8 m/110 με απλή σταδία αλλά και με σταδία Invar.
4. Το βάρος του φτάνει τα 2,8 kg.

Για την παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης **Leica Sprinter 50/150/150M/250M**, ο οποίος εμφανίζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Αυτόματο υπολογισμό διαφοράς υψομέτρου (150, 150M, 250M)
2. Αυτόματο υπολογισμό χωροσταθμικής όδευσης και χάραξης υψομέτρων (150M, 250M)
3. Εσωτερική μνήμη 1000 σημείων (150M, 250M).
4. Θύρες USB και RS-232C (150M, 250M).
5. Ακρίβεια ηλεκτρονικής μέτρησης ± 0.7 mm/Km (250M), ± 1.5 mm/Km (150, 150M), ± 2.0 mm/Km (50).
6. Ακρίβεια οπτικής μέτρησης ± 2.5 mm/Km.
7. Ταχύτητα μέτρησης < 3 s και εμβέλεια μέτρησης 2-100m.
8. Μεγέθυνση 24x.
9. Μαγνητικός αντισταθμιστήρας (για άμεση απόσβεση των ταλαντώσεών του). Εύρος λειτουργίας $\pm 10'$.
10. Είναι ανθεκτικός, αξιόπιστος και αδιάβροχος με IP55.
11. Αλκαλική Μπαταρία AA (4xAA 1.5V).
12. Έχει βάρος 2.5 Kg.



Εικόνα 4: Ψηφιακός χωροβάτης Leica Sprinter 50/150/150M/250M

Τα προγράμματα που περιλαμβάνει είναι τα εξής:

- Delta Height (Υψομετρική διαφορά)

- Line Leveling (Χωροσταθμική όδευση)
- Cut & Fill (Χάραξη)
- Tracking & Monitoring

Ο χωροβάτης SPRINTER 150M πραγματοποιεί αυτόματη μέτρηση μόνο με το πάτημα ενός κουμπιού. Μετράει σε σταδία Bar Code και τα αποτελέσματα φαίνονται στην οθόνη LCD. Η διαδικασία της μέτρησης και καταγραφής είναι πάρα πολύ απλή, διαρκεί μόλις 3sec και αποτελείται μόνο από 3 βήματα:

Σκόπευση- Μέτρηση – Αποτέλεσμα & Καταγραφή

Οι ψηφιακοί χωροβάτες χρησιμοποιούν τη μέθοδο της συσχέτισης για την παραγωγή της μέτρησης. Η μέτρηση περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

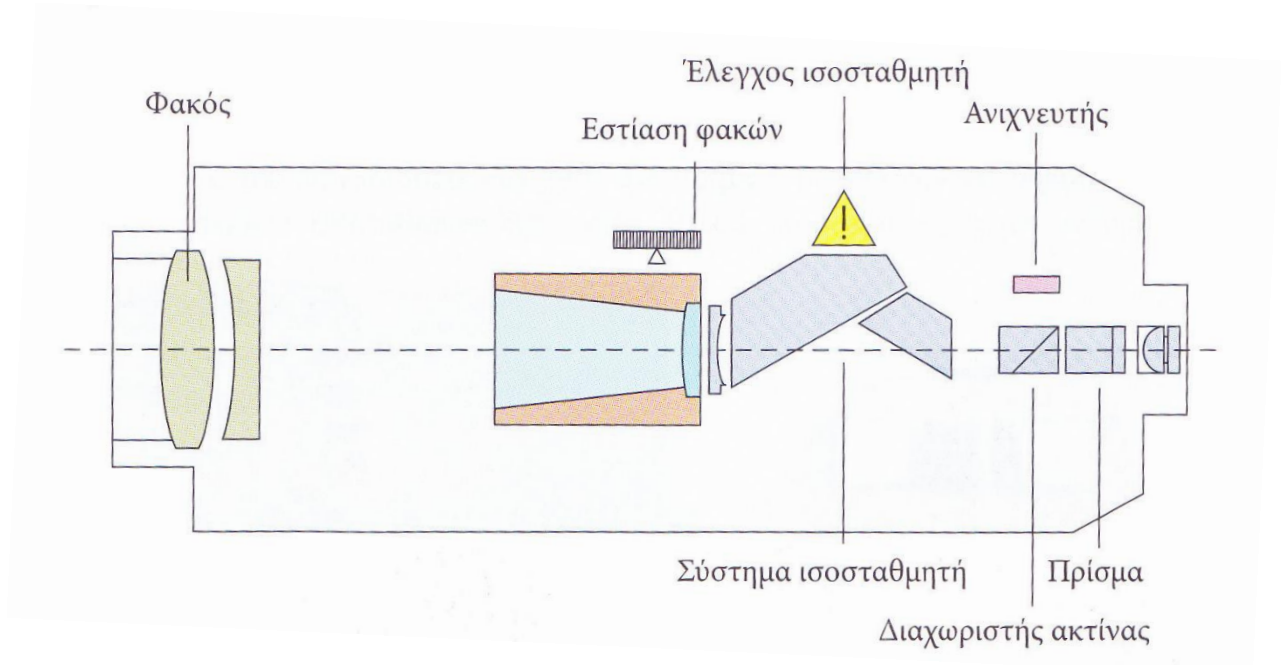
- Σκόπευση και εστίαση (παρατηρητής)
- Έναρξη ψηφιακής μέτρησης (ενεργοποίηση πλήκτρου από τον παρατηρητή)
- Προσεγγιστική συσχέτιση
- Αναλυτική συσχέτιση

Αρχικά σκοπεύεται η σταδία και με τη χρήση ειδικού κοχλία εστιάζεται η εικόνα. Με την έναρξη της ψηφιακής μέτρησης ο χωροβάτης, με τη CCD κάμερα που διαθέτει, λαμβάνει μια εικόνα του τμήματος της σταδίας που βρίσκεται στο οπτικό του πεδίο. Την εικόνα αυτή συγκρίνει με το πρότυπο που έχει αποθηκευμένο στη μνήμη του. Ακολούθως τη συσχετίζει (αρχικά προσεγγιστικά και στη συνέχεια αναλυτικά) με αυτό και υπολογίζει την ανάγνωση του κεντρικού σταυρονήματος.

Ο χρόνος που χρειάζεται για την αναλυτική συσχέτιση εξαρτάται από την απόσταση στην οποία τοποθετείται η σταδία και από την ποιότητα του μετρητικού σήματος, αλλά ποτέ δεν υπερβαίνει τα λίγα (2-3) sec. Όταν τα τέσσερα στάδια ολοκληρωθούν, η μέτρηση εμφανίζεται στην ψηφιακή οθόνη για λίγα sec και καταγράφεται, σύμφωνα με το λογισμικό που φέρει ο κάθε χωροβάτης.

Πιο αναλυτικά, στην ψηφιακή ανάγνωση η εικόνα του γραμμικού κώδικα (barcode) περνά μέσα από ένα διαχωριστή δέσμης φωτός σε μία διάταξη ανιχνευτών-διόδων.

Ο διαχωριστής δέσμης φωτός διαχωρίζει το φως που εισέρχεται στο οπτικό σύστημα σε δύο μέρη, στο υπέρυθρο και στο ορατό φως. Το υπέρυθρο εκτρέπεται στον ανιχνευτή και το ορατό φως περνά μέσα από το διαχωριστή δέσμης. Αυτό δεν μειώνει την ποιότητα του φωτός που είναι διαθέσιμο στον παρατηρητή. Επίσης, παρέχει αρκετό φως στη διάταξη του ανιχνευτή του οπίου η μέγιστη ευαισθησία είναι στο υπέρυθρο μέρος του φάσματος.



Εικόνα 5: Οπτικομηχανικά μέρη ενός ψηφιακού χωροβάτη

Συνήθως η γραμμή του ανιχνευτή στους ψηφιακούς χωροβάτες έχει μήκος 65 mm και περιέχει 256 φωτο-ευαίσθητες φωτοδιόδους (pixel-εικονοστοιχεία) διαστάσεων 25 μm . Ο ρυθμιζόμενος φωτοφράκτης των φωτοδιόδων είναι επίσης 25 μm . Το οπτικό σύστημα έχει ένα γωνιακό άνοιγμα 2 α .

Στους ψηφιακούς χωροβάτες ένας εστιακός κρυπτογράφος καθορίζει τη θέση της εστίασης των φακών και έτσι παρέχει προσεγγιστική πληροφορία και για την απόσταση μεταξύ χωροβάτη και σταδίας. Η κατά προσέγγιση απόσταση υπολογίζεται από τη θέση της εστίασης των φακών οι οποίοι κινούνται περίπου 14 mm.

Το εύρος εστίασης για τους περισσότερους ψηφιακούς χωροβάτες κυμαίνεται από 1.80 m έως 100 m (ουσιαστικά στο άπειρο).

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μέσω ενός ηλεκτρονικού ανιχνευτή να εμφανίζεται η απόκλιση του ισοσταθμητή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

3.2 Χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, εκτός από τους ψηφιακούς χωροβάτες, απαραίτητα όργανα για την μέτρηση υψομετρικών διαφορών είναι και οι χωροσταθμικοί πήχεις ή σταδίες. Είναι ειδικοί πήχεις που φέρουν χαραγμένη σε όλο το μήκος τους αναλογική ή ψηφιακή κλίμακα. Χρησιμοποιούνται για τη λήψη της ανάγνωσης από τον παρατηρητή ή τον χωροβάτη.

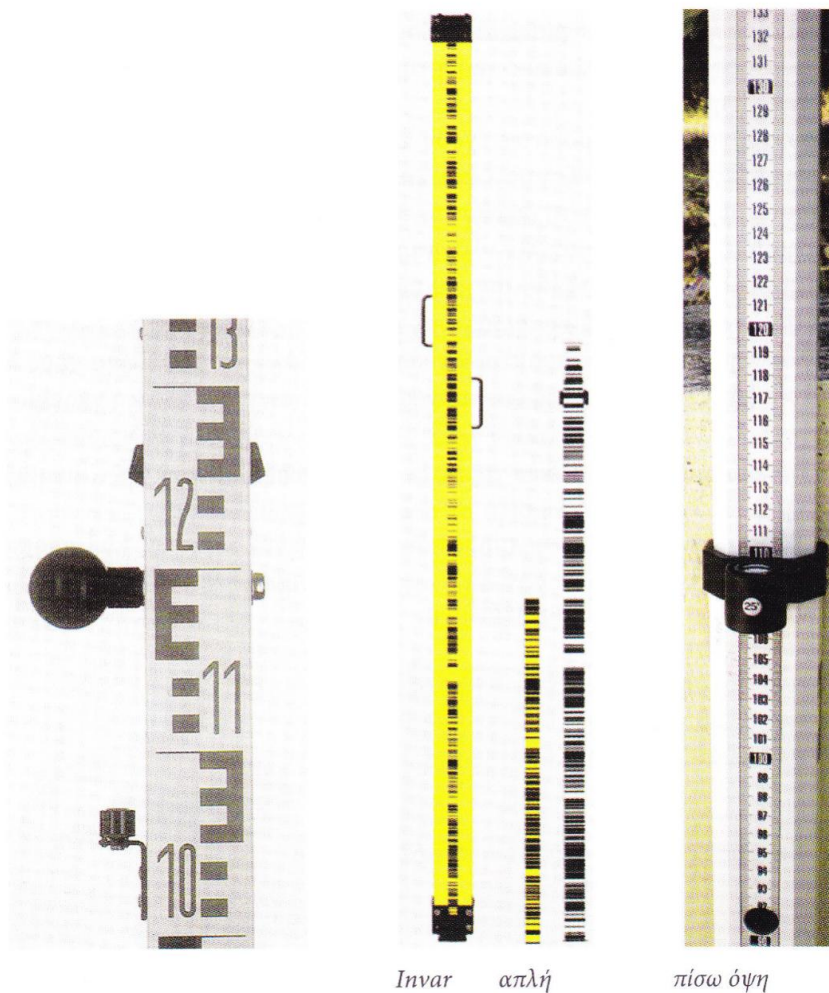
Οι αναλογικές σταδίες έχουν μήκος 3 m ή 4 m και είναι διηρημένες ανά 1 cm ή 1 mm. Είναι κατασκευασμένες από ξύλο ή αλουμίνιο και είναι αναδιπλούμενες (σπαστές) ή τηλεσκοπικές. Για να μεταφέρονται εύκολα, αναδιπλώνονται σε δύο ή περισσότερα κομμάτια, οπότε αποκτούν μήκος 1.5 ή 1.0 m.

Αντίστοιχα οι ψηφιακές σταδίες έχουν χαραγμένο ψηφιακό ραβδοκώδικα (barcode). Είναι κατασκευασμένες από συνθετικό υλικό fibre- glass ή αλουμίνιο, 3 m, 4 m ή 5 m και είναι τηλεσκοπικές. Φέρουν, στο πίσω μέρος τους και αναλογική κλίμακα με υποδιαιρέσεις ανά 1 mm, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αναλογικές.

Όλες οι σταδίες (αναλογικές και ψηφιακές) φέρουν σφαιρική αεροστάθμη για την τοποθέτηση τους σε κατακόρυφη θέση, αφού κατά τη διάρκεια της μέτρησης πρέπει η σταδία να είναι παράλληλη με τη διεύθυνση της κατακορύφου, στο σημείο τοποθέτησης της.

Οι αναλογικές και ψηφιακές σταδίες κατασκευάζονται και από υλικό invar (κράμα νικελίου 36% και σιδήρου 64%), το οποίο έχει την ιδιότητα να επηρεάζεται πολύ λίγο από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής). Οι σταδίες αυτές χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς και δεν έχουν την δυνατότητα αναδίπλωσης.

Για την ακριβή και σταθερή τοποθέτηση της σταδίας σε κατακόρυφη θέση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντηρίδες, ώστε να αποφεύγονται οι ταλαντώσεις τη στιγμή λήψης της ανάγνωσης.



Εικόνα 6: Αναλογική Σταδία

Εικόνα 7: Ψηφιακή σταδία

Όλα τα γεωδαιτικά όργανα που έχουν περιγραφεί είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα έτσι, ώστε να δίνουν σωστές μετρήσεις. Όταν τα όργανα έχουν την κατάλληλη μεταχείριση, μπορούν να μείνουν ρυθμισμένα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επειδή όμως η χρήση των οργάνων μπορεί να προκαλέσει απορυθμίσεις ή και βλάβες, πρέπει να ελέγχονται και να ρυθμίζονται περιοδικά, για να διατηρούν την ακρίβεια τους.

Όλοι οι μηχανικοί ή χειριστές γεωδαιτικών οργάνων πρέπει από τη μια να συνειδητοποιήσουν την αναγκαιότητα της συντήρησης των οργάνων και από την άλλη να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τις εργασίες που εξαρτώνται από την ακρίβεια ρύθμισης των οργάνων, να ελέγχουν το όργανο κατά τη διάρκεια της εργασίας και να μπορούν να το ρυθμίζουν χωρίς μεγάλη καθυστέρηση.

Ο έλεγχος και η ρύθμιση των γεωδαιτικών οργάνων είναι μια λεπτή και σοβαρή εργασία και τα περισσότερα γεωδαιτικά όργανα όπως οι χωροβάτες είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να επιδέχονται ρυθμίσεις στο πεδίο από τον Μηχανικό. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται κατά το δυνατό η αποστολή των οργάνων στον κατασκευαστή για ασήμαντες αιτίες , ενέργεια που προκαλεί καθυστερήσεις στην εργασία και είναι οικονομικά ασύμφορη.

Κάθε γεωδαιτικό όργανο συνοδεύεται από μια σειρά εντύπων οδηγιών σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του και τη συντήρηση του. Αυτές οι οδηγίες πρέπει να διαβάζονται προσεκτικά και να τηρούνται σχολαστικά κατά τη διάρκεια της χρησιμοποίησης του οργάνου στο πεδίο. Επίσης πρέπει να τηρούνται και οι οδηγίες για την αποθήκευση και τη μεταφορά του οργάνου.

Είναι πολύ σημαντικό κατά την αποθήκευση των οργάνων να λαμβάνονται υπόψη και οι συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, σκόνη, υγρασία) ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα και να αποφευχθεί η απορρύθμιση των οργάνων. Εξίσου σημαντική με τη φύλαξη των οργάνων είναι η μεταφορά τους στο πεδίο. Οι χωροβάτες μεταφέρονται πάντα σε όρθια θέση και όχι σε πλάγια ενώ οι σταδίες και οι τρίποδες πρέπει να προφυλάσσονται από το τράνταγμα για να αποφευχθούν μόνιμες παραμορφώσεις.

Επίσης κατά τη διάρκεια της χρήσης του οργάνου πρέπει να ληφθούν ορισμένοι παράγοντες υπόψη. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

α. Κάθε γεωδαιτικό όργανο πρέπει να προστατεύεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία με τη βοήθεια ομπρέλας.

β. Σε περίπτωση βροχής η εργασία πρέπει να σταματήσει και το όργανο να καλυφθεί με ένα κάλυμμα ή μια ομπρέλα και στη συνέχεια να σκουπιστεί με ένα στεγνό ύφασμα για να απομακρυνθεί κάθε είδους υγρασία.

γ. Αν το όργανο σκονιστεί, η σκόνη πρέπει να απομακρυνθεί με τη βοήθεια ενός υφάσματος και για τα δύσκολα σημεία με ένα μαλακό πινέλο.

δ. Οι κοχλίες των οργάνων πρέπει να χρησιμοποιούνται χωρίς υπερβολική δύναμη γιατί περισσότερο σφίξιμο μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα συστήματα.

Ακόμα και όταν η εργασία ολοκληρώνεται, τα όργανα πρέπει να τοποθετούνται στις θήκες και να ασφαρίζονται σύμφωνα με τις οδηγίες ενώ στην επόμενη χρήση τους θα πρέπει αν ελέγχονται και να επιδιορθώνονται οι πιθανές βλάβες.

Η μέτρηση ενός μεγέθους με ένα γεωδαιτικό όργανο υπόκειται σε σφάλματα που οφείλονται στο ίδιο το όργανο, στον παρατηρητή και στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Αυτές οι τρεις βασικές πηγές σφαλμάτων στις γεωδαιτικές μετρήσεις, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την τελικά επιτυγχανόμενη ακρίβεια σε οποιαδήποτε γεωδαιτική εργασία. Τα σφάλματα που οφείλονται στα όργανα με τα οποία εκτελούνται οι μετρήσεις μπορούν να περιοριστούν με τη βοήθεια κατάλληλου ελέγχου και ρύθμισης. Η διαδικασία ελέγχου και ρύθμισης οργάνων ονομάζεται βαθμονόμηση ή διακρίβωση (calibration). Ο όρος αυτός δηλώνει τη σύγκριση μεταξύ δύο οργάνων ή συσκευών μέτρησης, από τα οποία το ένα είναι πρότυπο, γνωστής ακρίβειας η οποία μεταφέρεται σε αυτό από εθνικά πρότυπα και με την οποία σύγκριση βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο ή διαπιστώνεται ή επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του. Ο συγκεκριμένος ορισμός θέτει το θέμα του προτύπου σύγκρισης, που για τα γεωδαιτικά όργανα θα μπορούσε να αντικατασταθεί με μια μετρητική και υπολογιστική μέθοδο ελέγχου και το θέμα των εθνικών προτύπων.

Η διακρίβωση των γεωδαιτικών οργάνων είναι μια απαραίτητη διαδικασία που πρέπει να ακολουθείται για τρεις βασικούς λόγους:

- Για τον έλεγχο της ακρίβειας ενός οργάνου περιοδικά.
- Για τη βελτίωση της ακρίβειας ενός οργάνου σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή ακρίβεια.
- Γιατί (πρέπει να) υπάρχουν και κανονισμοί που επιβάλλουν τον έλεγχο και ζητούν ειδικό πιστοποιητικό εργαστηρίου για την καταλληλότητα των οργάνων.

Οι χωροβάτες στην πλειοψηφία τους είναι οπτικομηχανικά όργανα που η καλή τους λειτουργία εξαρτάται από την πλήρωση συγκεκριμένων γεωμετρικών συνθηκών. Ο έλεγχος αυτών των συνθηκών μπορεί να γίνει στο πεδίο. Πρέπει να τονιστεί ότι πριν γίνει κάποια ρύθμιση γεωδαιτικού οργάνου, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι το εντοπισμένο σφάλμα που πρόκειται να διορθωθεί, οφείλεται στην κατάσταση του οργάνου και όχι στην ανεπάρκεια του συγκεκριμένου ελέγχου που ασκείται.

Κατάλληλες μέθοδοι, όπως η διπλή κέντρωση, ίσες εμπροσθοσκοπεύσεις και οπισθοσκοπεύσεις, επανοριζοντίωση, όταν η αεροστάθμη μετακινείται καθώς περιστρέφεται το τηλεσκόπιο γύρω από τον πρωτεύοντα άξονα, προσφέρουν ακριβή αποτελέσματα ακόμα και με ένα μη ρυθμισμένο όργανο. Συχνά όμως τα λίγα λεπτά της

ώρας που θα χρησιμοποιηθούν για τις ρυθμίσεις θα ελαττώσουν το χρόνο και την απαιτούμενη προσπάθεια για την επαρκή χρησιμοποίηση ενός οργάνου.

Πριν αποφασίσουμε ότι κάποιο μέρος ενός χωροβάτη χρειάζεται ρύθμιση, θα πρέπει να επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή ελέγχου τουλάχιστον τρεις φορές. Αν το εμφανιζόμενο σφάλμα δεν είναι το ίδιο κάθε φορά που γίνεται ο έλεγχος, τότε ο ίδιος τρόπος ελέγχου θα πρέπει να θεωρηθεί προβληματικός.

Οι ακριβείς ρυθμίσεις των χωροβατών στο πεδίο γίνονται ευκολότερες, εάν υπάρχουν οι παρακάτω συνθήκες:

(1) Επιλογή ημέρας με νεφοκάλυψη και άπνοια, χωρίς υψηλές θερμοκρασίες. Το όργανο πρέπει να είναι προφυλαγμένο από τις ηλιακές ακτίνες και πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε ρύθμιση θα πρέπει να παραμείνει στο πεδίο ρυθμίσεων τουλάχιστον 30 min προκειμένου να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του.

(2) Το γήπεδο θα πρέπει να επιτρέπει τη σταθερή τοποθέτηση του οργάνου, τις οριζόντιες σκοπεύσεις σε απόσταση τουλάχιστον 100 m, και τη μέτρηση των κατακόρυφων γωνιών 50 gon ή περισσότερο.

(3) Ο τρίποδας θα πρέπει να είναι σταθερά τοποθετημένος ώστε να μη μετακινηθεί λόγω του βάρους το οργάνου που φέρει. Γενικά, αποφεύγονται σκληρές επιφάνειες για την τοποθέτηση του τρίποδα.

(4) Τρία μόνιμα σημεία, που απέχουν μεταξύ τους περίπου 100 m σε μια ευθυγραμμία, σε επίπεδο ή σχεδόν επίπεδο έδαφος και κατά προτίμηση στο ίδιο υψόμετρο, διευκολύνουν τις ρυθμίσεις.

(5) Στις ρυθμίσεις θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ασφαλείς μέθοδοι και να ακολουθείται μια προκαθορισμένη σειρά. Σωστή τοποθέτηση των διαφόρων τμημάτων πετυχαίνεται με το χαλάρωμα ή το σφίξιμο των κατάλληλων βιδών και κοχλιών ρύθμισης με ειδικά εργαλεία.

(6) Για τις ρυθμίσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται ευθύγραμμα, σταθερά εργαλεία (κατσαβίδια) που εφαρμόζουν ακριβώς για να αποφεύγεται η φθορά του μαλακού μετάλλου. Το υπερβολικό σφίξιμο ή το χαλάρωμα των βιδών καταστρέφει πολλές φορές τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει.

(7) Πριν και μετά τις ρυθμίσεις, το όργανο πρέπει να χρησιμοποιείται προσεκτικά γιατί βίαιοι χειρισμοί μπορεί να καταστρέψουν τις ρυθμίσεις.

(8) Είναι σπατάλη χρόνου να προσπαθούμε να ολοκληρώσουμε κάθε ρύθμιση με την πρώτη προσπάθεια, γιατί μερικές ρυθμίσεις επηρεάζουν τις άλλες. Η πλήρης σειρά των ελέγχων μπορεί να χρειάζεται πολλές φορές επανάληψη, αν το όργανο είναι πολύ απορυθμισμένο. Στο τέλος θα πρέπει να γίνεται έλεγχος όλων των ρυθμίσεων, για να είναι βέβαιο ότι καμία δεν έχει διαταραχθεί.

(9) Ειδικά για λεπτές επεμβάσεις οι αναφορές στο βιβλίο του κατασκευαστή θεωρούνται επιβεβλημένες.

(10) Το κάθε όργανο πρέπει να συνοδεύεται από κάποιο «βιβλίο συντήρησης» που το ενημερώνει ο χρήστης με τις ημερομηνίες και το είδος των εκάστοτε ρυθμίσεων.

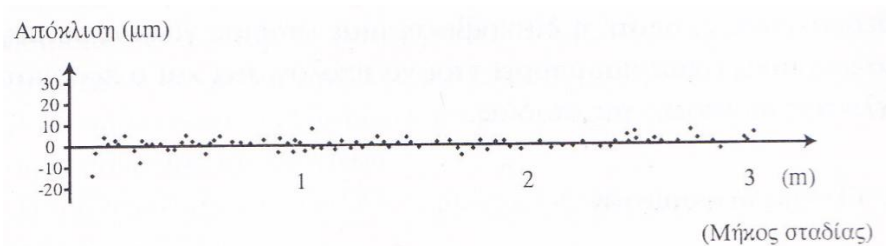
Για τη σωστή μέτρηση των υψομετρικών διαφορών εκτός από την ρύθμιση του χωροβάτη είναι σημαντικός ο έλεγχος και η ρύθμιση των σταδίων και συγκεκριμένα μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει για την διακρίβωση των σταδίων Invar που χρησιμοποιούνται για τις χωροσταθμίσεις των κρατικών χωροσταθμικών δικτύων, καθώς και για μετρήσεις ακριβείας. Αρχικά θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η χρησιμοποίηση σταδίων Invar αποτελεί πάγια προδιαγραφή κατά την εγκατάσταση νέων δικτύων ή κατά την πυκνωση παλαιών δικτύων. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται κοινές σταδίες, σαφώς ακατάλληλες για μετρήσεις ακριβείας, οι οποίες πολλές φορές είναι σε κακή κατάσταση με συνέπεια την εισαγωγή συστηματικών σφαλμάτων στις μετρήσεις.

Ο έλεγχος των σταδίων γίνεται με τη βοήθεια συμβολόμετρου Laser, στο εργαστήριο. Η σταδία τοποθετείται σε ειδικό οριζόντιο πάγκο και στην αρχή της τοποθετείται το πρίσμα του συμβολόμετρου. Η ανάγνωση των ενδείξεων της σταδίας γίνεται με μεγάλη ακρίβεια με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Η πρώτη ανάγνωση λαμβάνεται στο άκρο της σταδίας. Η θέση αυτή αποτελεί και την έναρξη λειτουργίας του συμβολόμετρου.

Στη συνέχεια ο παρατηρητής διαβάσει με τη σειρά όλες τις αναγνώσεις της σταδίας (π.χ. 0.01, 0.02, ..., 1.00, 1.01, ... 2.00, 2.02,) μετακινώντας τη σταδία κάτω από το ακίνητο μικροσκόπιο και ενεργοποιώντας κάθε φορά το συμβολόμετρο. Η μετακίνηση αυτή, που γίνεται εύκολα με τη βοήθεια ειδικών τροχιών, ελέγχεται κάθε φορά από το

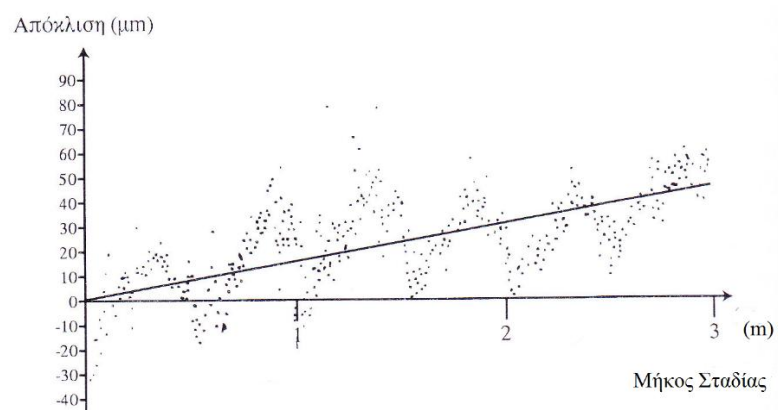
συμβολόμετρο που μετρά την πραγματική μετακίνηση (δηλαδή το μέγεθος της πραγματικής υποδιαίρεσης κάθε φορά). Η εργασία αυτή γίνεται με μετάβαση και επιστροφή.

Για κάθε σταδία που ελέγχεται, γίνεται συνήθων ένα διάγραμμα των αποκλίσεων των τιμών των αναγνώσεων της σταδίας από τις αντίστοιχες τιμές του συμβολόμετρου. Στο διάγραμμα φαίνεται η ύπαρξη (ή όχι) συστηματικών σφαλμάτων στη βαθμονόμηση της σταδίας.



Εικόνα 8: Τυπικό Διάγραμμα σταδίας με ελάχιστα σφάλματα

Σήμερα η διαδικασία αυτή, σε εργαστήρια ελέγχου γεωδαιτικών οργάνων, έχει αυτοματοποιηθεί πλήρως με τη βοήθεια φωτοδιόδων αντί για μικροσκόπιο. Πιο συγκεκριμένα, καθώς ένας κινητήρας κινεί αργά τη σταδία, η εναλλαγή λευκού – μαύρου (ή λευκού – κόκκινου) των ενδείξεων της ανιχνεύεται από τις φωτοδιόδους και σε κάθε τέτοια εναλλαγή ενεργοποιείται το συμβολόμετρο. Οι αντίστοιχες μετρήσεις μεταβιβάζονται αυτόματα σε συνδεδεμένο υπολογιστή που on-line παρακολουθεί τη διαδικασία. Ο χρόνος για ένα πλήρη έλεγχο μιας σταδίας με ένα τέτοιο σύστημα είναι λιγότερος από 10 min.



Εικόνα 9: Τυπικό Διάγραμμα σταδίας με συστηματικό σφάλμα διαιρέσεων

Συμπληρωματικά, συνηθίζεται να γίνεται μια παρόμοια διαδικασία ελέγχου με τη σταδία όμως σε κατακόρυφη θέση (όπως δηλαδή χρησιμοποιείται στην πράξη) και ανάλογη διάταξη βοηθητικών συστημάτων και συμβολόμετρου Laser. Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται γενικά σε χώρο με ελεγχόμενη θερμοκρασία (π.χ. 20°C) ή σε θάλαμο με δυνατότητα αυξομείωσης της θερμοκρασίας, οπότε η διακρίβωση μιας σταδίας γίνεται σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος και μπορεί έτσι να υπολογιστεί και ο πραγματικός συντελεστής διαστολής της σταδίας.

4 Γεωμετρική Χωροστάθμιση

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μέθοδος της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης, οι διαδικασίες των μετρήσεων που απαιτούνται, η ακρίβεια της μεθόδου καθώς και οι πηγές σφαλμάτων.

4.1 Γενικά

Η Γεωμετρική Χωροστάθμιση (Geometric/Spirit Leveling) με χρήση «χωροβάτη» που οριζοντιώνει τον σκοπευτικό του άξονα με τη βοήθεια σωληνωτής αεροστάθμης εμφανίστηκε περίπου το 1850 και είχε πλεονέκτημα να μειώνει στο ελάχιστο την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στις μετρήσεις.

Μετά από 100 χρόνια χρήσης οργάνων με σωληνωτή αεροστάθμη, τη δεκαετία του 1950 εμφανίστηκαν οι πρώτοι αυτόματοι χωροβάτες (Zeiss N12-1951) στους οποίους η οριζοντίωση του σκοπευτικού άξονα γινόταν με ένα σύστημα εκκρεμούς («ισοσταθμητής»-compensator). Το 1982 για πρώτη φορά παρουσιάστηκε η Αυτοκίνητη Γεωμετρική Χωροστάθμιση, μια μεθοδολογία που παρέχοντας ακρίβειες της τάξης 0,3-0,5 mm/ $\sqrt{\text{km}}$, ταυτόχρονα αύξανε την παραγωγικότητα και βελτιώνει τις συνθήκες εργασίας στο ύπαιθρο.

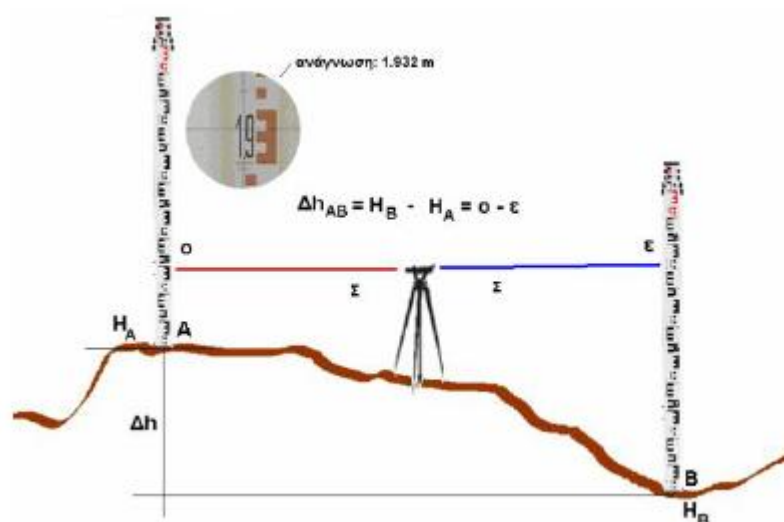
Τα επόμενα σαράντα χρόνια, συνεχείς βελτιώσεις σε όργανα και σταδίες οδήγησαν την κλασική μεθοδολογία της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης στην επίτευξη των πολύ υψηλών ακριβειών που παρέχει με όλο και ευκολότερη και ταχύτερη διαδικασία, με αποκορύφωμα την εμφάνιση στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και των ψηφιακών χωροβατών (Wild NA 2000-1990). Η νέα αυτή γενιά χωροβατών έδωσε νέα ώθηση στη Γεωμετρική Χωροστάθμιση, βελτιώνοντας κατά πολύ την ταχύτητα εκτέλεσης των μετρήσεων στο ύπαιθρο, μειώνοντας ταυτόχρονα την πιθανότητα χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις, όσο και στη καταγραφή και επεξεργασίας τους.

4.2 Διαδικασία Μετρήσεων

Η γεωμετρική χωροστάθμηση (Γ.Χ.) είναι μέθοδος άμεσου προσδιορισμού των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα όργανο που ονομάζεται χωροβάτης όπως έχει ήδη αναφερθεί, καθώς και δύο τουλάχιστον αριθμημένοι πήχεις, τοποθετημένοι κατακόρυφα στα σημεία όπου χρειάζεται να προσδιοριστεί η υψομετρική διαφορά, που ονομάζονται σταδίες ή χωροσταθμικοί πήχεις.

Ο χωροβάτης αποτελείται βασικά από ένα μετρητικό τηλεσκόπιο, ικανό να περιστρέφεται γύρω από το κατακόρυφο άξονα του. Η οπτική ακτίνα οριζοντιώνεται με τη βοήθεια μιας σωληνωτής αεροστάθμης συνδεδεμένης με ένα κοχλία οριζοντίωσης ή αυτόματα, μέσω ενός ισοσταθμητή (compensator) (οπτικομηχανικού ή ηλεκτρονικού μηχανισμού με βασικό εξάρτημα ένα μικρό εκκρεμές).

Η διαδικασία μιας απλής χωροστάθμησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3: Η αρχή της γεωμετρικής χωροστάθμησης

Στα σημεία A και B, όπου ζητείται να προσδιοριστεί η υψομετρική τους διαφορά ΔH_{AB} , τοποθετούνται κατακόρυφα δύο σταδίες.

Τα σημεία A και B δεν πρέπει να απέχουν περισσότερο από 50-60 m. Σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο (που συνήθως λαμβάνεται στη μεσοκάθετο της απόστασης AB) τοποθετείται χωροβάτης που σκοπεύει πρώτα τη σταδία στο σημείο A και έπειτα τη σταδία στο σημείο B. Αφού οριζοντιωθεί λοιπόν ο χωροβάτης, μέσω του τηλεσκοπίου ή αυτόματα πλέον με το πάτημα ενός κουμπιού στους ηλεκτρονικούς χωροβάτες, γίνεται ανάγνωση της οριζόντιας σκόπευσης.

Αν θεωρηθεί ότι από κάθε σημείο A και B περνάει μια χωροσταθμική επιφάνεια (οριζόντιο επίπεδο για μικρές αποστάσεις), τότε η διαφορά των αναγνώσεων που έγιναν στις σταδίες θα δώσει άμεσα την υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} .

Χωροσταθμική επιφάνεια που περνάει από το σημείο A της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας είναι μια επιφάνεια που είναι κάθετη στην διεύθυνση της βαρύτητας στο σημείο αυτό. Οι χωροσταθμικές επιφάνειες δεν είναι παράλληλες μεταξύ τους καθώς και με το γεωειδές. Όταν όμως η περιοχή που γίνεται μια εργασία είναι περιορισμένη, τότε μπορούν να θεωρηθούν περίπου παράλληλες μεταξύ τους καθώς και με το γεωειδές, ενώ για εκτάσεις ακτίνας μερικών δεκάδων μέτρων μπορούν να θεωρηθούν οριζόντια επίπεδα.

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

Δηλαδή, αν:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \text{υψομετρική διαφορά μεταξύ των A και B}$$

H_A = υψόμετρο του A, δηλαδή υψόμετρο της χωροσταθμικής επιφάνειας που περνάει από το σημείο A

H_B = υψόμετρο του B, δηλαδή υψόμετρο της χωροσταθμικής επιφάνειας που περνάει από το σημείο B

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

τότε:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = O - E = \alpha - \beta$$

Αν όμως οι χωροσταθμικές επιφάνειες θεωρηθεί ότι είναι καμπύλες που ακολουθούν περίπου την μορφή καμπυλότητας της Γης, τότε για τον προσδιορισμό της ΔH_{AB} θα πρέπει ο χωροβάτης να τοποθετείται στη μεσοκάθετο της απόστασης AB, για να εξαλείφεται (σε πρώτο βαθμό) το σφάλμα που προέρχεται από την καμπυλότητα των χωροσταθμικών επιφανειών ($e_A=e_B$)

Για να υπάρξουν καλύτερα αποτελέσματα, οι σταδίες πρέπει να τοποθετούνται κατά τη χρήση τους πάνω σε κατάλληλες βάσεις (χελώνες) σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Γενικά, οι χελώνες είναι κατασκευασμένες από σίδηρο ή αλουμίνιο και πιέζονται με το πόδι πάνω στο έδαφος από το στοχοφόρο προτού τοποθετηθούν πάνω σε αυτές οι σταδίες.

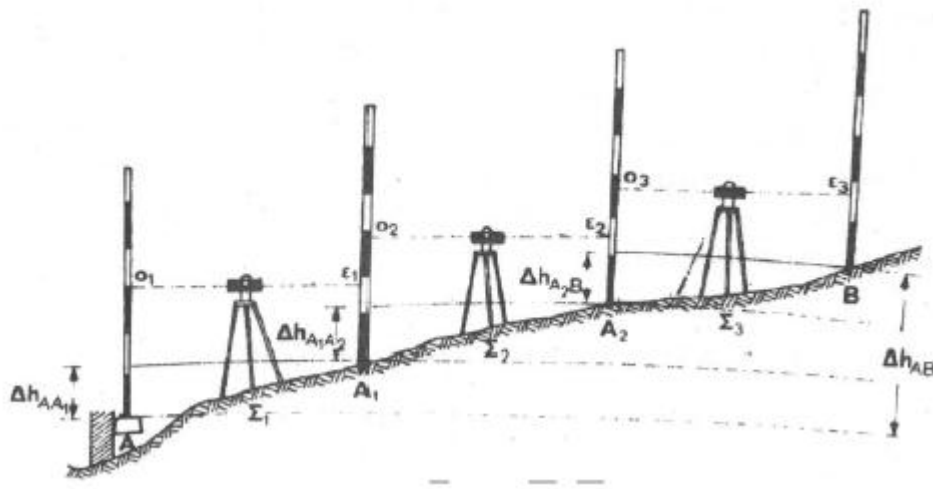
Στην περίπτωση που η απόσταση μεταξύ των σημείων A και B είναι μεγάλη και η υψομετρική διαφορά μεταξύ τους δεν μπορεί να προσδιοριστεί με μια μόνο στάση του οργάνου, εκτελείται χωροστάθμηση «σε όδευση». Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία:

Έστω δύο σημεία A και B πάνω στην επιφάνεια του εδάφους που απέχουν μεταξύ τους μεγάλη απόσταση και ζητείται να προσδιοριστεί, με τη βοήθεια της γεωμετρικής χωροστάθμησης, η υψομετρική διαφορά ΔH_{AB} . Έστω ότι η χωροστάθμηση αρχίζει από το A προς το B. Η διαδρομή αυτή ονομάζεται μετάβαση. Για το σκοπό αυτό τοποθετείται κατακόρυφα η πρώτη σταδία πάνω από το σημείο A και ο χωροβάτης πάνω από το σημείο Σ_1 που βρίσκεται ενδιάμεσα των σημείων A και B. Στην συνέχεια οριζοντιώνεται ο χωροβάτης και λαμβάνεται η ένδειξη στη σταδία που βρίσκεται στο σημείο A, που τη συμβολίζουμε με το O_1 (οπισθοσκόπευση). Η απόσταση σταδίας-χωροβάτη εξαρτάται από την κλίση του εδάφους και την ακρίβεια που επιδιώκεται, προσδιορίζεται δε συνήθως με βήματα. Για χωροσταθμίσεις μεγάλης ακριβείας και σε ομαλό έδαφος δεν υπερβαίνει τα 20 με 30 m. Μετά στρέφεται το τηλεσκόπιο του χωροβάτη προς το σημείο A_1 όπου σε απόσταση ίση περίπου με την προηγούμενη τοποθετείται η δεύτερη σταδία κατακόρυφα. Αφού ελεγχθεί και πάλι η οριζοντιότητα του χωροβάτη, που μπορεί να έχει διαταραχθεί λόγω της στροφής του τηλεσκοπίου, λαμβάνεται η ένδειξη E_1 (εμπροσθοσκόπευση) πάνω στη σταδία που αντιστοιχεί στο οριζόντιο νήμα του σταυρονήματος. Η υψομετρική διαφορά των σημείων A και A_1 είναι:

$$\Delta H_{AA_1} = O_1 - E_1$$

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται ακριβώς η ίδια διαδικασία σε όδευση μέχρι το τελικό σημείο B. Αν O_i και E_i ($i=1,2,3, \dots, n$) είναι οι διαδοχικές τιμές των οπισθοσκοπεύσεων και εμπροσθοσκοπεύσεων και $\Delta H_{A_i A_{i+1}}$ είναι οι μερικές υψομετρικές διαφορές, τότε η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων A και B υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_{AA_1} + \Delta H_{A_1 A_2} + \dots = \sum_{i=1}^n \Delta H_i = \sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n E_i$$



Σχήμα 4: Χωροστάθμηση «σε όδευση»

Αν H_A είναι το απόλυτο υψόμετρο του σημείου A, τότε το απόλυτο υψόμετρο H_B του σημείου B θα υπολογίζεται από τη σχέση:

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

Τα σημεία $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n$ είναι οι διαδοχικές στάσεις του χωροβάτη κατά τη μετάβαση και ονομάζονται σημεία στάσης. Τα σημεία A_1, A_2, \dots, A_n είναι οι διαδοχικές θέσεις των ενδιάμεσων σταδίων και ονομάζονται σημεία αλλαγής. Κατά την αλλαγή των σημείων στάσης ο χωροβάτης μεταφέρεται πάνω στον τρίποδα του και δεν αποσυνδέεται. Αυτό γίνεται για να αποφεύγεται η απώλεια χρόνου. Μετά επαναλαμβάνεται η

χωροστάθμιση κατά τον ίδιο τρόπο από το Β προς το Α. Η διαδρομή αυτή, που ονομάζεται επιστροφή, γίνεται από διαφορετικά σημεία στάσης και αλλαγής.

Έτσι λαμβάνεται μια νέα τιμή ΔH_{AB} για την υψομετρική διαφορά των Α και Β. Η τιμή αυτή θα έχει αντίθετο πρόσημο και δεν πρέπει να διαφέρει από την προηγούμενη κατά ποσότητα μεγαλύτερη από εκείνη που δίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο κλείσιμο διπλής γεωμετρικής χωροστάθμισης που υπολογίζεται με την ανάλυση σφαλμάτων των μετρήσεων, σε διαφορετική περίπτωση η χωροστάθμιση πρέπει να επαναλαμβάνεται από την αρχή και σε μετάβαση και σε επιστροφή. Όταν το κλείσιμο είναι αποδεκτό, λαμβάνεται ως τελική τιμή της υψομετρικής διαφοράς των σημείων Α και Β ο μέσος όρος των δύο τιμών που αντιστοιχούν στη χωροστάθμιση σε μετάβαση και σε επιστροφή.

Άλλη μια κατηγορία Γεωμετρικής Χωροστάθμισης η οποία δεν διαφέρει ουσιαστικά από την απλή Χωροστάθμιση είναι η Γεωμετρική Χωροστάθμιση Ακριβείας. Μια βασική διαφορά είναι ότι στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται όργανα ακριβείας (ψηφιακά ή οπτικομηχανικά) με ειδικές σταδίες invar και απαιτείται πολύ μεγαλύτερη σχολαστικότητα και προσοχή στις διαδοχικές ενέργειες που απαιτούνται για να γίνει μια Χωροστάθμιση.

Η Γεωμετρική Χωροστάθμιση έχει ουσιαστική εφαρμογή σε εργασίες όπως στη λήψη διατομών σε κάθε είδους Τεχνικά Έργα και στη λήψη κατά μήκος τομών σε κάθε είδους Τεχνικά Έργα ενώ μια ακόμα κατηγορία Γεωμετρικής Χωροστάθμισης είναι αυτή της Χωροστάθμισης Επιφανείας που χρησιμοποιείται όταν οι επιφάνειες που θα πρέπει να χωροσταθμισθούν είναι μεγάλες. Σ' αυτή την περίπτωση πάλι δημιουργούνται χωροσταθμικές οδεύσεις, έτσι ώστε από κάθε στάση της χωροσταθμικής όδευσης να προσδιορίζονται τα σημεία ενός τμήματος μίας επιφάνειας με τη Μέθοδο του Καννάβου, της Χωροστάθμισης επιφανείας κατά τομές και την Ακτινική Μέθοδο Χωροστάθμισης.

4.3 Σφάλματα κατά τη μέθοδο

Η ακρίβεια μιας Γεωμετρικής Χωροστάθμισης εξαρτάται από επιδράσεις που αφορούν στα όργανα που χρησιμοποιούνται, στην τοπογραφία του εδάφους και στις συνθήκες του περιβάλλοντος καθώς και σε μη συντονισμένες ενέργειες, απροσεξίες και παραλήψεις του παρατηρητή ή των σταδιοφόρων. Κατά τη γεωμετρική χωροστάθμιση υπεισέρχονται τόσο συστηματικά όσο και τυχαία σφάλματα.

4.3.1 Συστηματικά σφάλματα

Αυτού του είδους τα σφάλματα εμφανίζονται εξαιτίας:

- Της καμπυλότητας της Γης
- Της μη συμμετρικής, ως προς την κατακόρυφο του σημείου στάσης, διάθλασης των ακτίνων
- Των τυχόντων συστηματικών σφαλμάτων του χωροβάτη. Τα σφάλματα αυτά μπορούν να εξουδετερωθούν, όταν το σημείο στάσης του οργάνου βρίσκεται ακριβώς στη μέση της απόστασης των δύο διαδοχικών σημείων αλλαγής.
- Της βαρύτητας της Γης. Σε περίπτωση εργασιών μεγάλης ακρίβειας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά τις χωροσταθμίσεις κλειστών χωροσταθμικών οδεύσεων, οι λεγόμενες βαρυτικές διορθώσεις, διότι ανάλογα εάν είναι γνωστή ή όχι η πραγματική βαρύτητα, οι υψομετρικές διαφορές γίνονται εξαρτώμενες από τη διαδρομή της χωροστάθμησης.
- Της ασύμμετρης διάθλασης των ακτίνων σε εδάφη κεκλιμένα κατά μια διεύθυνση. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμοκρασιακές στρωματώσεις (κυρίως κοντά στο έδαφος) έχουν ανωμαλίες.
- Κατά κανόνα το σφάλμα λόγω ασύμμετρης διάθλασης των ακτίνων περιορίζεται, όταν αποφεύγουμε να κάνουμε σκοπεύσεις κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Έτσι πρέπει να αποφεύγονται σκοπεύσεις σε ύψος μικρότερο από 0.50 m από την επιφάνεια του εδάφους.
- Της καθίζησης των σταδίων και του χωροβάτη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Είναι δυνατό κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να γίνει καθίζηση είτε της σταδίας είτε του χωροβάτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται συστηματικά σφάλματα κατά τη χωροστάθμηση. Για να αποφύγουμε τα σφάλματα αυτά πρέπει αφενός να στερεώνεται σωστά ο τρίποδας του χωροβάτη μέσα στο έδαφος κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι δεν υπάρχει κίνδυνος να μετακινηθεί όσο διαρκεί η εκτέλεση των μετρήσεων, αφετέρου οι σταδίες να τοποθετούνται πάντοτε πάνω σε σταθερό έδαφος. Αυτό πετυχαίνεται και με τη βοήθεια των χελωνών.
- Των συστηματικών σφαλμάτων των υποδιαίρέσεων της σταδίας.
- Της μη κατακόρυφης τοποθέτησης της σταδίας.

4.3.2 Τυχαία σφάλματα

Αυτά οφείλονται κατά κύριο λόγο στα παρακάτω αίτια:

- Στην ατέλεια του παρατηρητή.
- Σε τυχαία σφάλματα των υποδιαίρεσεων της σταδίας καθώς και στην θερμοκρασιακή μεταβολή τους.
- Σε τυχαία σφάλματα κατά τη λήψη αναγνώσεων στις σταδίες.
- Στην ατελή οριζοντίωση της αεροστάθμης.
- Στις τυχαίες διαφορές μεταξύ των αποστάσεων του χωροβάτη από τις σταδίες (οπισθοσκοπέυσης, εμπροσθοσκοπέυσης).
- Σε επιδράσεις των παλιρροιών και σε μικρομετακινήσεις του στερεού φλοιού της Γης.

Τα τυχαία σφάλματα είναι αναπόφευκτα σε κάθε παρατήρηση. Οι τιμές των παρατηρήσεων είναι άλλοτε μικρότερες και άλλοτε μεγαλύτερες της πραγματικής τιμής του μεγέθους που μετράται και είναι μικρές κατά απόλυτη τιμή. Προσπάθεια επομένως της όποιας διαδικασίας ακολουθηθεί είναι να εκτιμηθεί η επίδραση των σφαλμάτων αυτών και να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση τους στο τελικό εξαγόμενο αποτέλεσμα.

Η αριθμητική τιμή της ανάγνωσης ενός μεγέθους από ένα όργανο, είναι πάντοτε καλύτερης ανάλυσης από την αβεβαιότητα της ανάγνωσης που πραγματικά παρέχει το όργανο. Για το λόγο αυτό δεν πρέπει να συγχέονται οι δύο έννοιες. Στα σύγχρονα ψηφιακά όργανα (total stations, ψηφιακοί χωροβάτες) η ανάγνωση μπορεί να είναι και 10-20 φορές μικρότερη από την αβεβαιότητα της μέτρησης του οργάνου, ενώ μπορεί ο χρήστης να μεταβάλλει την ανάλυση της αριθμητικής τιμής της ανάγνωσης με κατάλληλες ρυθμίσεις.

Έτσι για παράδειγμα ένα όργανο μπορεί να παρέχει αναγνώσεις γωνιών με ανάλυση μέχρι 1^{cc}, ενώ το σφάλμα της μοναδιαίας ανάγνωσης είναι $\pm 10^{cc}$. Το ίδιο όργανο μπορεί να παρέχει αναγνώσεις με προσέγγιση (στρογγυλοποίηση) στα 2^{cc} ή τα 5^{cc}.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι για να εξαλειφθούν ή να μειωθούν κατά το δυνατόν τα συστηματικά σφάλματα που προέρχονται από διάφορες πηγές, η γεωμετρική χωροστάθμηση ακριβείας πρέπει να εκτελείται δύο φορές σε αντίθετες διευθύνσεις (μετάβαση και επιστροφή) και κάτω από διαφορετικές μετεωρολογικές συνθήκες, με χρήση σχολαστικού ελεγμένου και βαθμονομημένου εξοπλισμού.

4.4 Η ακρίβεια της μεθόδου

Η Γεωμετρική Χωροστάθμιση παραμένει μέχρι και σήμερα η πλέον ακριβής μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών, αφού τα περισσότερα σφάλματα εξαλείφονται η ελαχιστοποιούνται αν ακολουθηθεί μια σχολαστική διαδικασία μετρήσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι η Γεωμετρική Χωροστάθμιση αποτελεί την ακριβέστερη μέθοδο προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με ακρίβεια που μπορεί να φτάσει με την εφαρμογή ειδικών τεχνικών έως και $\pm 0,2-0,5 \text{ mm/Km}$. Τα υψόμετρα και κυρίως οι υψομετρικές διαφορές που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι περίπου ορθομετρικά, που μπορούν να μετατραπούν σε αυστηρά ορθομετρικά αν στα αποτελέσματα της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης προστεθεί αυστηρά η ορθομετρική διόρθωση. Για τη διόρθωση αυτή απαιτείται ο υπολογισμός των τιμών του \bar{g} . Στην πράξη, το g_i δεν είναι απαραίτητο να μετριέται σε κάθε στάση χωροβάτη. Είναι αρκετό να μετριέται κάθε μερικά Km (ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια) και να γίνεται παρεμβολή στα ενδιάμεσα σημεία.

5 Ίδρυση Κατακόρυφου Δικτύου

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί η διαδικασία ίδρυσης του δικτύου στο κέντρο της πόλης της Λεμεσού. Το κεφάλαιο περιέχει κάποια γενικά στοιχεία σχετικά με τα δίκτυα, το πώς επιλέχθηκαν οι θέσεις των κορυφών και ποια είναι τελικά η γεωμετρία του δικτύου. Τέλος, αναφέρεται διεξοδικά στα όργανα που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις και στα χαρακτηριστικά τους.

5.1 Γενικά

Το γεωδαιτικό δίκτυο είναι ένα σύνολο σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας (Φ.Γ.Ε) που συνδέονται μεταξύ τους με απ' ευθείας παρατηρήσεις ή και με παρατηρήσεις σε σημεία έξω από την Φ.Γ.Ε, με σκοπό να προσδιοριστούν συντεταγμένες ή άλλου είδους τιμές ώστε να χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς για μελλοντικές εργασίας.

Τα δίκτυα χωρίζονται σε:

- Δίκτυα οριζοντίου ελέγχου, όπου προσδιορίζονται οι θέσεις των προβολών των κορυφών σε μια επιφάνεια αναφοράς (ελλειψοειδές, σφαίρα, επίπεδο). Στα δίκτυα αυτά οι συντεταγμένες υπολογίζονται σε δισδιάστατο χώρο.
- Δίκτυα κατακόρυφου ελέγχου ή χωροσταθμικά, όπου προσδιορίζονται οι αποστάσεις των σημείων (υψόμετρα) από μια επιφάνεια αναφοράς. Τα δίκτυα αυτά υπολογίζονται σε μονοδιάστατο χώρο.
- Τρισδιάστατα δίκτυα, όπου προσδιορίζονται με ενιαία διαδικασία οι τρεις συντεταγμένες που δίνουν τις θέσεις των κορυφών στο χώρο ως προς κάποιο τρισσορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς (γεωκεντρικό ή τοποκεντρικό).

Το δίκτυο το οποίο μετρήθηκε στην εργασία αυτή είναι ένα δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου σε αστική περιοχή και είναι το πρώτο δίκτυο που δημιουργείται. Η ίδρυση του αστικού κατακόρυφου δικτύου στην περιοχή της Λεμεσού πραγματοποιήθηκε με σκοπό την μελλοντική εξυπηρέτηση σε έργα οδοποιίας, ύδρευσης και αποχέτευσης, οικοδομικών έργων και γενικά σε τοπογραφικές εργασίας.

5.2 Σχεδιασμός δικτύου

Σύμφωνα με τη Γεωδαιτική Μεθοδολογία, κατά τη φάση σχεδιασμού επιδιώκεται η κατασκευή ενός βέλτιστου, ποιοτικά, δικτύου, δηλαδή η καλύτερη δυνατή προσαρμογή του σε αρχές όπως η ακρίβεια, η αξιοπιστία και η οικονομία. Ειδικότερα, η διαδικασία της ίδρυσης περιλαμβάνει την εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού γεωμετρίας δικτύου- παρατηρήσεων- οργάνων και παρελκόμενων, που θα έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερά προσαρμοζόμενη στις απαιτήσεις ακρίβεια με το μικρότερο οικονομικό κόστος.

5.3 Επιλογή της θέσης των σημείων του δικτύου

Για την ίδρυση υψομετρικού δικτύου επιλέχθηκε το κέντρο της Λεμεσού όπου τοποθετήθηκαν υψόμετρα 1ης, 2ης και 3ης τάξης σε απόσταση περίπου 500 m το καθένα. Πριν την τοποθέτηση των υψομέτρων ήταν απαραίτητη η επίσκεψη στην περιοχή προκειμένου να μελετηθούν οι υποψήφιες θέσεις των υψομέτρων. Η αναγνώριση της περιοχής είναι απαραίτητη για τη σωστή επιλογή της θέσης των κορυφών του δικτύου, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος για τον οποίο πρόκειται να ιδρυθεί το δίκτυο με το μικρότερο δυνατό κόστος και τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Μερικά από τα κριτήρια επιλογής των θέσεων ήταν να μην βρίσκονται κοντά σε ψηλά κτίρια και κάτω από πασσάλους (καλώδια) της Ηλεκτρικής και να μην είναι σε σημεία όπου η διέλευση περαστικών είναι αυξημένη. Οι θέσεις των κορυφών στη περιοχή μελέτης φαίνονται στον χάρτη 1 στο Παράρτημα Ι.

Η υλοποίηση των κορυφών έγινε έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μονιμότητα τους και η εύκολη προσβασιμότητα για τοπογραφικές εργασίες. Οι κορυφές της περιοχής μελέτης υλοποιήθηκαν με ορειχάλκινα μπουλόνια αμερικάνικου τύπου, που μας διασφαλίζουν την τοποθέτηση χωροσταθμικού πήχη (σταδία) και πακτώθηκαν με εποξειδική ρητίνη.

Οι σημάνσεις που χρησιμοποιήθηκαν περιορίστηκαν στα ορειχάλκινα μπουλόνια 1ης και 2ης τάξης ενώ στην 3η τάξη χρησιμοποιήθηκε καρφί. Πάνω σε όλα τα μπουλόνια αναγράφεται η οδηγία «Μην ενοχλείτε» για την αποφυγή της απομάκρυνσης τους, όπως επίσης και το όνομα τους. Στο μπουλόνι 1ης τάξης είναι σημειωμένος ο φορέας στον οποίο οφείλεται η Ίδρυση του δικτύου. Οι λεπτομέρειες φαίνονται και στις εικόνες που δίνονται παρακάτω.



Πρώτης Τάξης



Δεύτερης Τάξης



Τρίτης Τάξης

Εικόνα 10: Μπουλόνια

Για την τοποθέτηση των σημάνσεων, ήταν αναγκαία η χρήση ασύρματης περιστροφικής σφύρας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το τρυπάνι HILTI TE 6-A36 το οποίο εμφανίζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Έχει βάρος, σύμφωνα με τη διαδικασία ΕΡΤΑ 01/2003 8,8 lb
2. Η βέλτιστη διάμετρος τρυπήματος σε μπετόν είναι 1/4- 5/8 in.
3. Έχει πλήρη συχνότητα τρυπήματος 5283 συγκρούσεις το λεπτό.
4. Η κατάσταση λειτουργίας του μπορεί να είναι διάτρηση με σφύρα και διάτρηση μόνο.
5. Οι διαστάσεις του είναι 13.5 x 3.7 x 8.5 in.
6. Ο τύπος μπαταρίας που δέχεται είναι Li-Ion.

Το όργανο αυτό είναι εργονομικά σχεδιασμένο για άνετη χρήση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, έχει εξαιρετική απόδοση και μειώνει τους κραδασμούς.

Για την σταθεροποίηση τους χρησιμοποιήθηκε ρητίνη τύπου HILTI HIT-RE 500-SD η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Βασικά υλικά: σκυρόδεμα (ραγισμένο), σκυρόδεμα (μη ραγισμένο)
2. Βασική κατάσταση υλικού: Ξηρό, Υγρό, Βυθισμένο, Γεμάτο με υγρό
3. Διαδικασία καθαρισμού: με πεπιεσμένο αέρα
4. Έχει σεισμική φόρτωση
5. Ελάχιστη θερμοκρασία αποθήκευσης και μεταφοράς: 41° F
6. Μέγιστη θερμοκρασία αποθήκευσης και μεταφοράς: 77° F

Η ρητίνη αυτού του τύπου είναι κατάλληλη για ραγισμένο και μη τσιμέντο, για να αντέχει σε σεισμικές δονήσεις και γενικά, για μεγάλο χρόνο εργασίας επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στην εγκατάσταση της.



Εικόνα 11: Ασύρματο Τρυπάνι και Ρητίνη

5.4 Εργασίες πεδίου

Στην ενότητα αυτή της πτυχιακής εργασίας θα περιγραφούν τα στάδια που ακολουθήθηκαν προκειμένου να ολοκληρωθούν οι εργασίες στο πεδίο. Αρχικά, έγινε αναγνώριση της περιοχής μελέτης, όπως αναφέρθηκε ιδρύθηκαν οι κορυφές. Κατόπιν, επιλέχτηκε ο συνολικός αριθμός των χωροσταθμικών οδεύσεων και των μετρήσεων που έγιναν με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης. Στη συνέχεια, έγιναν οι εξασφαλίσεις των κορυφών με μετροταινία και σκαριφήματα και μετρήθηκαν με γεωδαιτικό δορυφορικό δέκτη, μάρκας Leica viva GS15, με τη μέθοδο RTK (Real time Kinematic). Έπειτα, συμπληρώθηκαν τα αντίστοιχα έντυπα. Στο Παράρτημα II, δίνονται τα συμπληρωμένα έντυπα των εξασφαλίσεων. Τέλος, δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και περιγράφονται αναλυτικά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων καθώς και οι λύσεις που δόθηκαν, προκειμένου να αποτελέσουν υπόδειγμα για ανάλογες εργασίες στο μέλλον.

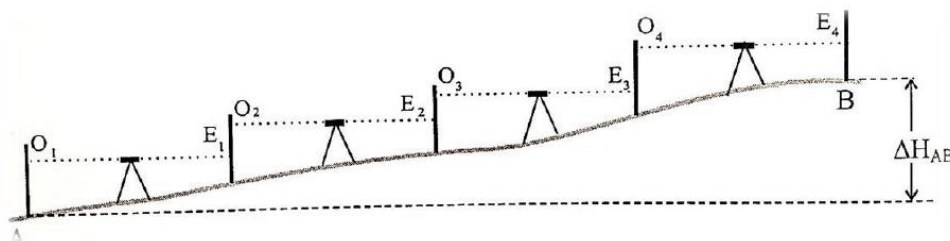
Για τον προσδιορισμό των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου κατακόρυφου ελέγχου, εφαρμόστηκε αρχικά η μέθοδος της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης. Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης Leica Sprinter 150M και τα αντίστοιχα παρελκόμενα που τον συνοδεύουν όπως τρίποδας αλουμινίου και σταδίες, ενώ το συνεργείο αποτελούνταν από τρία άτομα.

Πριν από την εκτέλεση των μετρήσεων, κάθε μέρα γινόταν ο έλεγχος πλήρωσης της κύριας συνθήκης του ψηφιακού χωροβάτη (Check & Adjust) έτσι, ώστε να εξασφαλιστεί η ορθότητα των μετρήσεων. Στη συνέχεια, ακολουθούσε η διαδικασία της Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου αποθηκεύονταν αυτόματα στην καταγραφική μονάδα του οργάνου. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων γινόταν επίσης, ο έλεγχος του κλεισίματος κάθε Διπλής Γεωμετρικής Χωροστάθμησης.

Στις γεωμετρικές χωροσταθμίσεις απαιτείται πολύ μεγάλη σχολαστικότητα και προσοχή στις διαδοχικές ενέργειες που απαιτούνται για να γίνει μια χωροστάθμηση. Σε επόμενη ενότητα, αναφέρονται ειδικές προφυλάξεις που ακολουθήθηκαν προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν συστηματικά σφάλματα στις μετρήσεις.

5.5 Μετρήσεις Γεωμετρικής Χωροστάθμησης

Ο προσδιορισμός των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των κορυφών του δικτύου πραγματοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Χωροστάθμησης σε Διπλή Γεωμετρική Χωροσταθμική όδευση.



Σχήμα 5: Μετρήσεις Χωροσταθμικής όδευσης

Η τελική υψομετρική διαφορά προκύπτει ως το αλγεβρικό άθροισμα των επιμέρους υψομετρικών διαφορών:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = \sum \Delta H_{ij} = \sum (O - E) = \sum O - \sum E$$

Οι μετρήσεις στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν στα τέλη Φεβρουαρίου με τέλη του Μαρτίου. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών, παρουσιάστηκαν ορισμένες δυσκολίες, οι οποίες επιλύθηκαν στο ύπαιθρο. Πιο αναλυτικά αντιμετωπίστηκαν προβλήματα:

(α) Λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν:

- Η έντονη ηλιοφάνεια οδηγούσε σε αδυναμία του οργάνου να μετρήσει, κυρίως όταν σκοπεύονταν η σταδία με κατεύθυνση προς τον ήλιο ή όταν η σταδία ήταν σε σκιερό μέρος.
- Ο ισχυρός άνεμος κάποιες μέρες, ιδιαίτερα σε παραλιακές περιοχές εμπόδιζε την ορθή τοποθέτηση της σταδίας σε κάποια σημεία.

(β) Λόγω μη σταθερότητας του εδάφους σε κάποιες θέσεις όπου ο τρίποδας έπρεπε να στηθεί είτε σε χωμάτινες επιφάνειες. Επομένως έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή να μην

υπάρχει περαιτέρω βύθιση του τρίποδα μετά την οριζοντίωση. Αλλά και σε περιπτώσεις όπου ο τρίποδας έπρεπε να στηθεί σε πεζοδρόμια, οι ακίδες του τρίποδα έπρεπε να στερεώνονται σε αρμούς μεταξύ των πλακιδίων ώστε να αποφευχθεί ανεπιθύμητη μετακίνηση του.

(γ) Επιπρόσθετα λόγω του αστικού χαρακτήρα αλλά και του λιμανιού της περιοχής μελέτης, δημιουργούσε πρόβλημα η έντονη και συνεχόμενη κυκλοφορία οχημάτων και πεζών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης, τα σταθμευμένα οχήματα εμπόδιζαν κάποιες φορές την ορατότητα μεταξύ του ψηφιακού χωροβάτη και της σταδίας επομένως η επικοινωνία μεταξύ παρατηρητή και σταδιοφόρου ήταν περιορισμένη.

Ακόμη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δόθηκε προσοχή στα παρακάτω, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα συστηματικά σφάλματα στις μετρήσεις:

- Επιθυμητή απόσταση μεταξύ οργάνου και σταδίας 60-70m, εφ' όσον το επέτρεπε η κλίση του εδάφους.
- Επιδιώχθηκε ολόκληρο το οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου να καλύπτεται από τη σταδία και εκεί όπου ήταν δυνατό αυτό, κάλυψη της σταδίας από εμπόδια στο οπτικό πεδίο του οργάνου 30% για αποστάσεις μεγαλύτερες των 5m.
- Τοποθέτηση του χωροβάτη κατά το δυνατόν στη μεσοκάθετη της απόστασης μεταξύ των δύο σταδίων.
- Αποφυγή χαμηλών σκοπεύσεων κοντά στο έδαφος (μικρότερες των 0,5 m), καθώς και ψηλών σκοπεύσεων στο επάνω τμήμα της σταδίας.
- Κατά την περιστροφή της σταδίας σε μία στάση αλλαγής του χωροβάτη, η σταδία παρέμενε στο ίδιο σημείο.

Για να μπορέσουμε να καλύψουμε την περιοχή μελέτης της εργασίας χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν εννέα γεωμετρικές χωροσταθμικές οδεύσεις συνολικού μήκους 29 χιλιομέτρων και να καλυφθεί μία έκταση που ανέρχεται στα 21 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Η πρώτη, δεύτερη και τρίτη χωροσταθμική όδευση αποτέλεσαν τη βάση στην παρούσα εργασία γιατί είχαν ως κύριο μέλημα τη μετακίνηση του αρχικού υψομέτρου (OLL 126 = 2.7460μ) από το νέο λιμάνι της Λεμεσού, όπου και βρίσκεται, στο κέντρο της πόλης. Συνολικά, καλύφθηκε μία απόσταση 6528 μέτρα.

Από τα υψομετρικά σημεία που τοποθετήθηκαν στις τρεις πρώτες χωροσταθμίσεις, τα πέντε ήταν τρίτης τάξης, τα οποία ονομάζονται Cheek Point και ήταν τα Chk 000 με υψόμετρο 2.1913μ, Chk 001 = 6.9418μ, Chk 002 = 7.3928μ, Chk 004 = 2.3022μ και Chk 005 = 1.4952μ. Ακόμη, τοποθετήθηκαν τρία σημεία δεύτερης τάξης με όνομα Limassol Vertical Datum και ήταν το LVD 001 = 2.6360μ, LVD 002 = 6.6068μ και LVD 003 = 5.8739μ ενώ το τελευταίο που τοποθετήθηκε ήταν πρώτης τάξης και ήταν το CUT 001 = 1.7839μ. Συνολικά τοποθετήθηκαν εννέα μπουλόνια. Αφού μετρήθηκαν όλα τα μπουλόνια, καταλήξαμε σε μία υψομετρική διαφορά από την αρχική τιμή στα -0,9621 και το σφάλμα με το οποίο ολοκληρώθηκε η χωροσταθμική όδευση ήταν -0,0001 μέτρα.

Στην πιο κάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε επακριβώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στην πρώτη στήλη περιλαμβάνονται οι χωροσταθμίσεις, στη δεύτερη το ορθομετρικό υψόμετρο για κάθε μπουλόνι, στη τρίτη το σφάλμα της κάθε χωροστάθμησης και στη τέταρτη το ολικό σφάλμα το οποίο υπολογίζεται από το υψόμετρο που ξεκινήσαμε.

Χωροσταθμηση	Ορθομετρικό	Σφάλμα	Ολικό σφάλμα	
4	LVD_4	7.13725μ	-0.0002	-0.0003
	CHK_6	15.48165μ		
	LVD_5	29.31705μ		
	CHK_7	44.50305μ		
	LVD_6	56.5433μ		
	CHK_8	62.0995μ		
	LVD_7	73.9789μ		
5	CHK_11	8.9878	0.0001	4.44089E-16
	LVD_10	18.9674		
	CHK_10	29.84385		
	LVD_9	42.38785		
	CHK_9	54.67785		
	LVD_8	72.34905		
6	CHK_3	9.66095	0.0008	0.0007
	LVD_19	13.72085		
	CHK_17	16.40365		
	LVD_18	22.75205		
	CHK_15	27.47495		
	LVD_16	36.85945		
	CHK_14	42.90535		
LVD_15	48.26595			
7	CUT_3	1.7777	0.0003	0.0002
	CUT_2	1.8769		
8	LVD_17	31.1805	0.0004	0.0011
	CHK_16	32.0273		
9	LVD_11	5.3025	0.0004	0.0003
	CHK_12	14.8601		
	LVD_12	20.131		
	CHK_13	30.6957		
	LVD_13	41.9266		
	LVD_14	50.52825		

Εικόνα 12: Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφηκαν αυτόματα από το όργανο. Για το λόγο αυτό είχε επιλεγεί από τα προγράμματα του ψηφιακού χωροβάτη ακριβείας Leica Sprinter 150M το πρόγραμμα Line Leveling (Χωροσταθμική όδευση) και από αυτό το πρόγραμμα BFFB line leveling (όπου B=back και F=front), το οποίο αποθήκευε σε κάθε στάση την μέτρηση όπισθεν με το συμβολισμό B και την μέτρηση εμπροσθεν με τον συμβολισμό F. Χρησιμοποιώντας μετά το πρόγραμμα Sprinter Data Loader της ίδιας εταιρείας κατέβαιναν τα αρχεία στον υπολογιστή.

Για κάθε χωροσταθμική όδευση, τα αρχεία που αποθήκευε το όργανο είχαν τη μορφή:

BFFB												
ArrayNo	PtNo	Height	Distance	StaffType	ReferNo	MeasType	IsReferNo	Elevation	D.Elv	Cut	Fill	Delta Height dH
		[m]	[m]					[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	1	1.3299	56.049	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
2	2	1.6444	51.569	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
3	2	1.6447	51.583	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
4	1	1.3298	56.042	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
5	2	1.3298	56.042	Upright	-	BFFB-Mean	1	-0.3147	0	0	0	-0.3147
6	2	1.2418	55.925	Upright	-	B	1	-0.3147	0	0	0	0
7	3	1.8112	55.933	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
8	3	1.8112	55.914	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
9	2	1.2421	55.928	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
10	3	1.2421	55.928	Upright	-	BFFB-Mean	1	-0.884	0	0	0	-0.5693
11	3	1.8597	56.368	Upright	-	B	1	-0.884	0	0	0	0
12	4	1.2128	53.396	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
13	4	1.2128	53.397	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
14	3	1.8595	56.39	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
15	4	1.8595	56.39	Upright	-	BFFB-Mean	1	-0.2372	0	0	0	0.6468
16	4	1.7622	55.533	Upright	-	B	1	-0.2372	0	0	0	0
17	5	1.5164	61.926	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
18	5	1.516	61.978	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
19	4	1.762	55.568	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
20	5	1.762	55.568	Upright	-	BFFB-Mean	1	0.0087	0	0	0	0.2459
21	5	1.1416	67.308	Upright	-	B	1	0.0087	0	0	0	0
22	6	1.7051	71.206	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
23	6	1.705	71.188	Upright	-	F	1	0	0	0	0	0
24	5	1.1416	67.313	Upright	-	B	1	0	0	0	0	0
CHK_0	6	1.1416	67.313	Upright	-	BFFB-Mean	1	-0.55475	0	0	0	-0.56345

Εικόνα 13: Μορφή αρχείου που αποθηκεύεται στο χωροβάτη

6 Συμπεράσματα

Στα έργα και τις μελέτες αρμοδιότητας ενός Μηχανικού, ο προσδιορισμός της τρίτης διάστασης (κατακόρυφης), αφορά στον προσδιορισμό της θέσης του σημείου πάνω από μια «φυσική» επιφάνεια- αφετηρία μέτρησης υψομέτρων, η οποία να συνδέεται με το πεδίο βαρύτητας της γης. Ως τέτοια επιφάνεια συνηθίζεται να λαμβάνεται η επιφάνεια του γεωειδούς, η ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου έλξης και περιστροφής της γης που πλησιάζει περισσότερο τη μέση στάθμη της θάλασσας και την νοητή προέκταση της κάτω από την ξηρά.

Το μέγεθος ωστόσο που εμπλέκεται στις μελέτες τεχνικών έργων δεν είναι η απόλυτη τιμή του ορθομετρικού υψομέτρου ενός σημείου, αλλά οι υψομετρικές διαφορές κατά την κατακόρυφο μεταξύ σημείων και η διαχρονική μεταβολή τους (σχετικά υψόμετρα).

Για τον προσδιορισμό υψομέτρων και κυρίως υψομετρικών διαφορών, οι σύγχρονες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι τόσο επίγειες (Γεωμετρική Χωροστάθμιση), όσο και δορυφορικές (GPS). Οι μέθοδοι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα αλλά και σε συνδυασμό παρέχοντας τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα με κριτήρια τεχνικοοικονομικά (ακρίβεια, κόστος, ταχύτητα).

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των υψομετρικών διαφορών και κατ' επέκταση των ορθομετρικών υψομέτρων χρησιμοποιήθηκε η επίγεια μέθοδος της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης.

Όσον αφορά την Γεωμετρική Χωροστάθμιση, τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε είναι ότι αποτελεί μέχρι και σήμερα την πλέον ακριβή μέθοδο προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών, ενώ η ανάπτυξη των ψηφιακών χωροβατών τα τελευταία 5 χρόνια, έχει οδηγήσει σε πιο γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα υψόμετρα και οι υψομετρικές διαφορές που προκύπτουν για περιοχές όπως η εξεταζόμενη σ' αυτή την εργασία είναι ορθομετρικά, ενώ η δυσκολία εφαρμογής της σε πεδία με έντονες κλίσεις αποτελεί το σημαντικότερο μειονέκτημα της.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι, με την χρήση της Γεωμετρικής Χωροστάθμισης ως επίγεια μέθοδο προσδιορισμού υψομέτρου, μπορούμε να σχεδιάσουμε και να υλοποιήσουμε εύκολα και σε σύντομο χρονικό διάστημα ένα δίκτυο κατακόρυφου ελέγχου αστικής

χρήσης με την απαιτούμενη ακρίβεια. Όσον αφορά την ακρίβεια που έπρεπε να επιτευχθεί για την ολοκλήρωση της εργασίας, καλύφθηκε η περιοχή μελέτης έκτασης 21 τετραγωνικών χιλιομέτρων με τη βοήθεια εννέα γεωμετρικών χωροσταθμικών οδεύσεων συνολικού μήκους 29 χιλιομέτρων. Κύριος στόχος των τριών πρώτων χωροσταθμικών οδεύσεων ήταν η μετακίνηση του αρχικού υψομέτρου (OLL 126 = 2.7460μ) από το νέο λιμάνι της Λεμεσού, όπου και βρίσκεται, στο κέντρο της πόλης. Μετά την τοποθέτηση εννέα μπουλονιών. Τέλος καταλήξαμε σε μία υψομετρική διαφορά από την αρχική τιμή στα -0,9621 και το σφάλμα με το οποίο ολοκληρώθηκε η χωροσταθμική όδευση ήταν -0,0001 μέτρα. Εκτός από τις τρεις πρώτες χωροσταθμίσεις όδευσης που αποτέλεσαν τον βασικό κορμό, έτσι και στις υπόλοιπες είχαμε:

- Τέταρτη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: -0.0002
- Πέμπτη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: 0.0001
- Έκτη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: 0.0008
- Έβδομη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: 0.0003
- Όγδοη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: 0.0004
- Ένατη Χωροστάθμιση → Σφάλμα: 0.0004

Αν προσθέσουμε στα σφάλματα αυτά και το μεταφερόμενο σφάλμα από τις πρώτες τρεις χωροσταθμίσεις (-0.0001), οι τιμές αυτές αποδεικνύουν ότι το σφάλμα που προκύπτει σε όλες τις χωροσταθμίσεις όδευσης είναι πολύ καλό.

Έτσι, η Γεωμετρική Χωροστάθμιση είχε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση της εργασίας η οποία βασίστηκε στην ανάγκη ίδρυσης κατακόρυφου δικτύου σε μια πόλη που δεν είχε ξαναγίνει κάτι παρόμοιο στο παρελθόν. Με την αρχή που έγινε στην ίδρυση δικτύου στο κέντρο της Λεμεσού δίνεται το ερέθισμα για περαιτέρω επέκταση ή/και πύκνωση του δικτύου σε όλη την πόλη της Λεμεσού η οποία θα αποτελέσει τη βάση για την κατασκευή και χάραξη δημοσίων έργων, έργων οδοποιίας, κατοικιών, επαγγελματικών χώρων κ.α.

7 Βιβλιογραφία

1. Αγάτζα- Μπαλοδήμου, Α. Μ. (2009). *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι*, Ε.Μ.Π, Σ.Α.Τ.Μ, Αθήνα
2. Αγατζά-Μπαλοδήμου, Α. Μ.& Μπαλοδήμος, Δ.Δ. (1988). *Εισαγωγή στη γεωδαισία*, Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Αθήνα
3. Αγησιλάου, Ν. & Νομικού, Ε. (1990). «Ανάλυση- Εφαρμογή- Σύγκριση Υψομετρικών μεθόδων ακριβείας», Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Ε.Γ.Γ, Αθήνα
4. Allan, A.L. et al, (1980). «Practical Field Surveying and Computations», Heinemann
5. Anderson, J.M., & Mikhail, E.M. (1981). *Introduction to surveying*. McGraw-Hill
6. Αραμπατζή, Ο.Α., (2007). «Διερεύνηση των Μεθοδολογιών Προσδιορισμού Κατακόρυφης Θέσης Σημείου σε Έργα Μηχανικού- Εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο», Ε.Μ.Π, Σ.Α.Τ.Μ, Αθήνα
7. Bannister, A. et al. (1998). *Surveying- 7th edition*, Longman
8. Βέης, Γ. et al. (1992). *Ανώτερη Γεωδαισία*, Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Αθήνα
9. Βλάχος, Δ. (1979). *Μαθήματα Τοπογραφίας- Τόμος Α'.* Θεσσαλονίκη
10. Bomford, G. (1980). *Geodesy- 4th edition*. Oxford Science Publications
11. Clendinning, J. & Olliver, J.G. (1971). *Principles and use of Surveying Instruments*. Van Nostrand Reinhold
12. Deumlich, F. (1982). «Surveying Instruments» de Gruyter.
13. Esri products. «Basemaps». <http://www.esri.com/data/basemaps>, (Απρίλιος 4, 2016)
14. Fialovskzy, L. (1991). *Surveying Instruments and their operational principles*. Elsevier
15. Καλτσίκης, Χ.Ι. & Φωτίου., Α. (1990). *Γενική Τοπογραφία*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
16. Kavanagh, B.E. & Glenn Bird, S.J. (2000). «Surveying: Principles and Applications- 5th edition», Prentice Hall
17. Λάμπρου, Ε. & Πανταζής, Γ., (2010). *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Εκδόσεις Ζήτη

18. Λάμπρου, Ε. (2007). «Ακριβής προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών με χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών». Τεχνικά Χρονικά, Τόμος Ι, Τεύχος 1-2
19. Leica Geosystems AG. (2016). «Products», <http://leica-geosystems.com/products>, (Μάρτιος 24, 2016)
20. Metrica A.E, (2016). «Τοπογραφικά Όργανα», <http://www.metrice.gr/>, (Μάρτιος 26, 2016)
21. Μπαλοδήμος, Δ.Δ & Αραμπατζή, Ο., (2004). *Υψομετρία*, Αθήνα
22. Μπαλοδήμος, Δ.Δ & Αραμπατζή, Ο., (2005). «Η χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων στις παραδοσιακές μεθόδους προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών», Θεσσαλονίκη
23. Μπαλοδήμος, Δ.Δ. & Σταθάς Δ, (1993). *Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών*, Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Αθήνα
24. Μπαλοδήμος, Δ.Δ. et al. (1993). «Συμπληρωματικές Σημειώσεις Υψομετρίας». Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ., Ε.Γ.Γ., Αθήνα
25. Mueller, I. & Ramsayer, K. (1979). *Introduction to Surveying*. Ungar
26. Παναγιωτόπουλος, Ε. et al., (2010). *Εφαρμοσμένη Τοπογραφία- Τόμος Β΄*, Εκδόσεις Δίσιγμα, Θεσσαλονίκη
27. Σαββαΐδης, Π., et al., (2007). *Τοπογραφία και θεματική χαρτογραφία*. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
28. Σιγανάκης, Α. et al, (1999). «Ίδρυση αστικού δικτύου κατακόρυφου ελέγχου στο Δήμο Μετσόβου». Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Ε.Γ.Γ, Αθήνα
29. Wikipedia, (2016). «Λεμεσός».
<<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CE%BC%CE%B5%CF%83%CF%8C%CF%82>>, (Μάρτιος 31, 2016)
30. Φωτίου Α., (2007). *Γεωμετρική Γεωδαισία, Θεωρία και πράξη*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
31. Φωτίου Α. & Λιβιεράτος Ε., (2000). *Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
32. Χατζόπουλος Ι., (2006). *Τοπογραφία*. Εκδόσεις Β. Γκιούρδας, Αθήνα