

Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα

Δ. - Δ. ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΣ, Ε. ΛΑΜΠΡΟΥ, Γ. ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιστήμη της γεωδαισίας στην Ελλάδα, όπως άλλωστε και σε όλο τον κόσμο, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χρήση κατάλληλων γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια ιστορική αναδρομή, καταγραφή των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης στην Ελλάδα, κυρίως στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα.

Η προσπάθεια αυτή στόχο έχει να καταγράψει συστηματικά τις βασικές αρχές λειτουργίας των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης μηκών, διευθύνσεων, γωνιών και υψομετρικών διαφορών, την εξέλιξή τους και τις συγκριτικές διαφοροποιήσεις τους στη διάρκεια ενός αιώνα.

Αναδεικνύονται οι ιδιαιτερότητες χρήσης τους, τα πλεονεκτήματα που προσέφερε η διαρκής βελτίωσή τους στον Τοπογράφο Μηχανικό στο χρόνο και στην ακρίβεια εκπόνησης των γεωδαιτικών εργασιών.

Τέλος καταγράφονται οι συνέπειες της εξέλιξης αυτής στην ανάπτυξης της έρευνας και στη διεύρυνση των πεδίων εφαρμογών της επιστήμης της Γεωδαισίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωδαισία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον προσδιορισμό του σχήματος της Γης καθώς και του μεγέθους τμημάτων της γήινης επιφάνειας. Ως επιστήμη άρχισε να αναπτύσσεται από τον 17^ο αιώνα από Ευρωπαίους μαθηματικούς, φυσικούς και αστρονόμους, χρησιμοποιώντας μετρήσεις μηκών, γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων) και υψομετρικών διαφορών. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με επίγεια συμβατικά γεωδαιτικά όργανα και με αντίστοιχες μεθόδους.

Η εξέλιξη της επιστήμης της Γεωδαισίας παγκόσμια πέρασε από διάφορα στάδια από τους αρχαίους Ασσύριους, Βαβυλώνιους και Αιγύπτιους. Πολλοί αρχαίοι Έλληνες συγκαταλέγονται σ' αυτούς που με τις μελέτες τους προήγαγαν την επιστήμη της Γεωδαισίας. Σ' αυτούς ανήκουν ο Θαλής ο Μιλήσιος (635 π.Χ - 546 π.Χ), ο Ευπαλίνος ο Μεγαρεύς (550 π.Χ) ο οποίος πραγματοποίησε τη χάραξη του υδραγωγείου στη Σάμο (Ευπαλίνειο όρυγμα), ο Πυθαγόρας ο Σάμιος (580 π.Χ - 500 π.Χ), ο Αριστοτέλης ο Σταγειρίτης (384 π.Χ - 322 π.Χ), ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος (287 π.Χ - 212 π.Χ), ο Ερατοσθένης ο Κυρηναίος (276 π.Χ - 195 π.Χ), ο οποίος ήταν ο πρώτος γεωδαίτης που ασχολήθηκε με τον προσδιορισμό των διαστάσεων της γης. Γύρω στα 120 π.Χ ο Ήρωνας ο Αλεξανδρέας ασχολήθηκε με πιο εφαρμοσμένα θέματα και έγραψε συγγράμματα στα οποία περιλαμβάνεται και η κατασκευή του πρώτου γεωδαιτικού οργάνου, της διόπτρας. Η διόπτρα, πρόδρομος του θεοδολίχου, μετρούσε οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, ορίζοντας μια μηχανική σκοπευτική διάταξη. Σημαντική ήταν και η προσφορά του Ποσειδώνιου του Απαμέα (135 π.Χ - 51 π.Χ), ο οποίος ασχολήθηκε με μετρήσεις των διαστάσεων της γης και κατασκεύασε την υδρόγειο σφαίρα (Γεωργακόπουλος Κ., 1995).

Μεταξύ των πρωτοπόρων που συνέβαλαν στην εξέλιξη της Γεωδαισίας παγκόσμια στα μέσα της 2^{ης} χιλιετίας ήταν οι αστρονόμοι Kopernicus (1473 – 1543) και Kepler (1571 –

1630), ο Γαλιλαίος (1564 – 1642) και ο Γάλλος γιατρός Fernel. Με την επινόηση της αεροστάθμης από το Γάλλο Thevenot γύρω στο 1600, του θεοδολίχου από τον Άγγλο Sisson το 1730, των λογαρίθμων και την ανάπτυξη της Τριγωνομετρίας, παρατηρείται συνεχής εξέλιξη της Γεωδαισίας. Μέχρι το 1950 η εξέλιξη των οργάνων μέτρησης δεν ήταν ραγδαία. Σταθμό αποτελεί τη δεκαετία του 1950 η χρησιμοποίηση των πρώτων ηλεκτρομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών (E.D.M). Οι μεταβολές αυτές όταν εμφανίστηκαν σε διάφορες χρονικές στιγμές επηρέασαν καθοριστικά την αναβάθμιση των γεωδαιτικών μεθοδολογιών.

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια καταγραφή της εξέλιξης των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων κατά τη διάρκεια κυρίως του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα. Σκοπός είναι αφενός η ιστορική καταγραφή των εξελίξεων των οργάνων μέτρησης και αφετέρου η αναζήτηση των επιδράσεων που είχαν αυτές στα γεωδαιτικά παράγωγα. Για τη σύνδεση της εξέλιξης αυτής τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα, είναι απαραίτητη μερικές φορές και η παράλληλη ιστορική αναδρομή σε όργανα που χρησιμοποιήθηκαν τον 18^ο, τον 19^ο, και τον 20^ο αιώνα στην Ευρώπη αλλά και παγκόσμια. Η καταγραφή αυτή αφορά στα γεωδαιτικά όργανα μέτρησης μηκών, διευθύνσεων, γωνιών και υψομετρικών διαφορών. Τα όργανα αυτά χρησιμοποιήθηκαν κυρίως από την "Χαρτογραφική Υπηρεσία" που αργότερα μετονομάστηκε σε Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) και η οποία ήταν υπεύθυνη για τη δημιουργία γεωδαιτικών δικτύων υποδομής. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης από την Υδρογραφική Υπηρεσία, διάφορες άλλες δημόσιες υπηρεσίες (Υπουργείο Συγκοινωνιών, Υπουργείο Γεωργίας), από πανεπιστήμια (Ε.Μ.Π, Α.Π.Θ) αλλά και από ιδιώτες μηχανικούς.

2. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΩΝ

Η μέτρηση του μήκους μεταξύ δύο σημείων της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας (Φ.Γ.Ε) ήταν πάντοτε μια επίπονη εργασία. Τα σημεία αυτά μπορεί να απέχουν μεταξύ τους από μερικά μέτρα έως μερικά Km. Τα συμβατικά γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις μηκών μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Απλά όργανα άμεσης μέτρησης μηκών.
- Οπτικομηχανικά όργανα έμμεσης μέτρησης μηκών.
- Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μεγάλου βεληνεκούς.
- Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μικρού βεληνεκούς.

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτών των οργάνων διαφοροποιείται ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται η μέτρηση του μήκους. Διαφοροποιείται όμως και η επιτυγχανόμενη ακρίβεια, ο χρόνος που διαρκεί η μέτρηση, ο απαιτούμενος εξοπλισμός αλλά και το κόστος του.

2.1 Απλά όργανα άμεσης μέτρησης μηκών.

Στην Ευρώπη στις αρχές του 18^{ου} αιώνα ως όργανα άμεσης μέτρησης ενός μήκους χρησιμοποιούνταν οι **ξύλινοι μετρητικοί κανόνες** (4 συνήθως), κατασκευασμένοι από έλατο και εμποτισμένοι σε λινέλαιο για την αποφυγή των επιδράσεων της υγρασίας, οι οποίοι τοποθετούντο διαδοχικά. Το 1739 οι ξύλινοι αυτοί κανόνες αντικαταστάθηκαν με άλλους από σίδηρο με γνωστό συντελεστή διαστολής. Η ακρίβεια της μέτρησης ήταν της τάξης 1:50000 – 1:100000. Το 1792 ο Borda κατασκεύασε συσκευή η οποία αποτελούνταν από δύο μετρητικούς κανόνες, ένα από λευκόχρυσο και ένα από ορείχαλκο, παράλληλα τοποθετημένους, οι οποίοι συνδέονταν μόνο στο ένα άκρο.

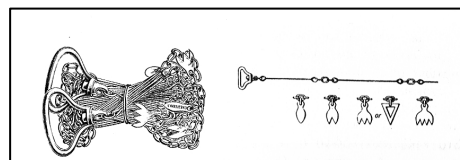
Αργότερα το 1827, ο Golby, κατασκεύασε συσκευή με σταθερό μήκος (4.00m), η οποία έφερε ενσωματωμένα θερμόμετρα και διατηρούσε σταθερή τη θερμοκρασία, ενώ παράλληλα έφερε και μικρομετρικό μικροσκόπιο. Η ακρίβεια μέτρησης του μήκους έτσι αυξήθηκε

φθάνοντας την τιμή του $1 \cdot 10^{-6}$, όμως η εκτέλεση της μέτρησης ήταν κοπιαστική και επίπονη, απαιτούσε ομαλό έδαφος και η απόδοση έφθανε τα 60 – 80m/ώρα (Βέης Γ., 1957).

Στην Ελλάδα για τις τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες, για την άμεση μέτρηση μικρών μηκών σε όλη τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα χρησιμοποιήθηκαν **μετροταινίες**. Οι μεταλλικές μετροταινίες είναι χαλύβδινες, λινές ή κατασκευασμένες από υλικό Fiberglass. Γύρω στο 1995 κυκλοφόρησαν στην αγορά και **ηλεκτρονικές μετροταινίες** (φωτ. 1), οι οποίες έχουν δυνατότητα μέτρησης μήκους μέχρι 50m με ακρίβεια $\pm 1\text{cm}$ και την εξαγωγή της σε ψηφιακή οθόνη.



Φωτ. 1 Τύπος ηλεκτρονική μετροταινίας

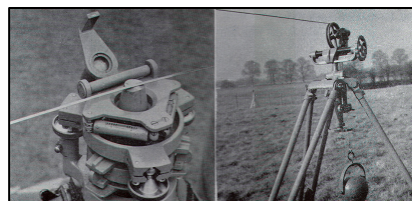
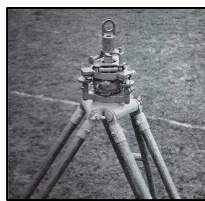
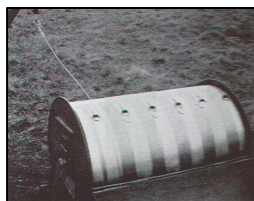


Φωτ. 2 Μεταλλική αλυσίδα

Σε εργασίες βυθομετρικών αποτυπώσεων για τη μέτρηση του βάθους ενός σημείου χρησιμοποιείται κυρίως η **μεταλλική αλυσίδα** που έχει μήκος 20m – 25m και αποτελείται από ραβδοειδή τμήματα μήκους 20cm, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με δύο ή τρεις κρίκους (φωτ. 2).

Για άμεσες μετρήσεις μεγαλύτερου μήκους, χρησιμοποιήθηκαν τα σύρματα **Invar**. Το 1896 οι Guillaume και Benoit, διευθυντές του Διεθνούς Γραφείου Μέτρων και Σταθμών πρότειναν τη χρήση του υλικού Invar για την κατασκευή συρμάτων, που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις μηκών με μεγάλες ακρίβειες. Για τις μετρήσεις των μηκών χρησιμοποιήθηκε κυρίως η **μέθοδος του Jäderin**, και απαιτούνταν:

- Σύρματα ή ταινίες invar μήκους που κυμαινόταν από 24m – 50m και οι οποίες στα άκρα τους έφεραν στελέχη μήκους 8 ή 10cm, με υποδιαίρέσεις mm.
- Συσκευή τάσης, η οποία αποτελείτο από τρίποδα που έφερε περιστρεφόμενη χωρίς τριβές τροχαλία η τρίποδα με δυναμόμετρο (φωτ. 3) .
- Τρίποδες μέτρησης, που έφεραν χαραγή, η οποία χρησιμοποιείτο ως δείκτης μέτρησης (φωτ. 3).
- Συσκευή ευθυγράμμισης των τριπόδων (φωτ. 3), η οποία έφερε κατάλληλο σκόπευτρο.
- Συσκευή οριζοντίωσης των τριπόδων.

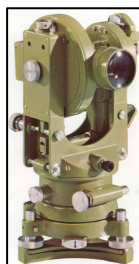


Φωτ. 3 Σύρματα Invar, τρίποδες

Με τη μέθοδο αυτή ήταν δυνατή η μέτρηση μηκών 2 – 3km με ακρίβεια της τάξης του 10^{-5} . Στην Ελλάδα η μέθοδος μέτρησης με σύρματα Invar, εφαρμόστηκε αρχικά για τη μέτρηση των γεωδαιτικών βάσεων Λάρισας (1927), Ελευσίνας (1929), Μυτιλήνης (1930), Κρήτης (1931), Δράμας (1932), Κέρκυρας (1935), του τριγωνομετρικού δικτύου της Ελλάδας (Πιερακέας Ν., 1967). Επίσης το 1957 με την ίδια μέθοδο μετρήθηκαν δύο βάσεις (βάση Καλοχωρίου και βάση Κρύας Βρύσης) στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, από το Εργαστήριο Γεωδαισίας του Ε.Μ.Π. (Βέης Γ., 1957).

2.2 Οπτικομηχανικά όργανα έμμεσης μέτρησης μηκών.

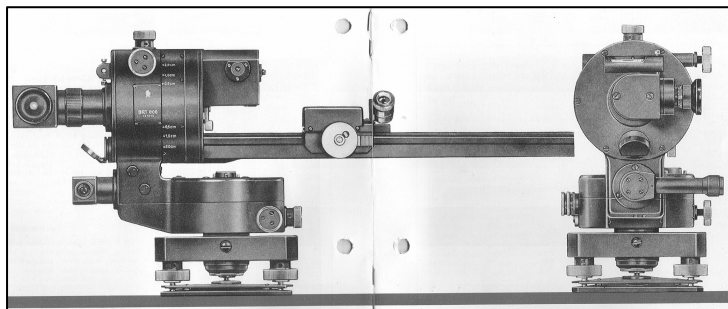
Για την έμμεση μέτρηση μηκών χρησιμοποιήθηκαν από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι και τη δεκαετία του '60 **οπτικομηχανικά θεοδόλιχα** Hilger Watts, Wild T16, Kern, Zeiss σε συνδυασμό με σταδίες. Επίσης η έμμεση μέτρηση μηκών γινόταν χρησιμοποιώντας τα **αυτοαναγωγικά ταχύμετρα**, με αναγνώσεις σε βαθμονομημένο μετρητικό πήχυ (σταδία). Εμπνευστής των αυτοαναγωγικών ταχυμέτρων ήταν ο Ελβετός Bosshardt το 1926. Αυτά διακρίνονταν σε αυτοαναγωγικά ταχύμετρα με οριζόντια σταδία (ακρίβεια 1/5000 – 1/10000) και αυτοαναγωγικά ταχύμετρα με κατακόρυφη σταδία (ακρίβεια 1/2000 – 1/3000). Χρησιμοποιήθηκαν στην Ελλάδα κυρίως σε κτηματογραφικές αποτυπώσεις έως και το 1985 και το βεληνεκές τους δεν ξεπερνούσε τις μερικές δεκάδες μέτρα. Τέτοιο όργανο ήταν το RDH της εταιρείας Wild (φωτ. 4).



Φωτ. 4 Το αυτοαναγωγικό ταχύμετρο RDH

Στις αρχές της δεκαετίας του '60, για μετρήσεις μηκών σε απρόσιτα σημεία με όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις ακρίβειας και σε περιορισμένες εφαρμογές, χρησιμοποιήθηκαν οι **ερευνητές αποστάσεων** και τα **οπτικά τηλέμετρα**. Η αρχή λειτουργίας αυτών των οργάνων βασιζόταν στο ότι μεταξύ του οργάνου και του στόχου δημιουργείται ένα ορθογώνιο τρίγωνο. Η βάση του τριγώνου βρίσκεται στο όργανο και η μικρότερη οξεία γωνία του έχει ως κορυφή το σκοπευόμενο σημείο. Στους ερευνητές αποστάσεων διατηρείται σταθερή η βάση του ορθογωνίου τριγώνου. Τέτοια όργανα κατασκευάστηκαν από τις εταιρείες Barr and Stroud και Wild. Ήταν δυνατή η μέτρηση μηκών από 35m – 500m με ακρίβειες που κυμαίνονταν από 1/600 έως 1/30.

Στα **μικρά τηλέμετρα** η ενσωματωμένη βάση του ορθογωνίου τριγώνου ήταν μεταβλητή ενώ παρέμενε σταθερή η οξεία γωνία που σχημάτιζε αυτή με το σκοπευόμενο σημείο. Το βεληνεκές των οργάνων αυτών μπορούσε να φθάσει και τα 200m με τη χρήση ειδικών στόχων ενώ η αντίστοιχη ακρίβεια με την οποία μετράτο το μήκος ήταν ανάλογη με το όργανο και την απόσταση και ήταν στην καλύτερη περίπτωση γύρω στο 1/1600. Τα πιο γνωστά τηλέμετρα ήταν το BRT 006 (φωτ. 5) και το Teletop της εταιρείας Zeiss Jena και το Todis της εταιρείας Breithaupt Kassel (φωτ. 6) (Μπαλοδήμος Δ. – Δ., 1977).

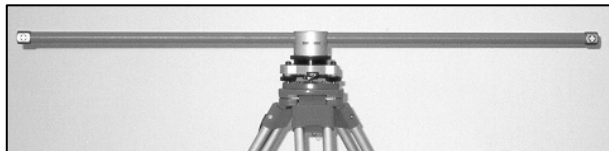


Φωτ. 5 Το τηλέμετρο BRT 006 της Zeiss Jena



Φωτ. 6 Το τηλέμετρο Todis (Αρχείο Δ.- Δ. Μπαλοδήμου)

Μια ακόμη μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού μήκους είναι η μέθοδος της **δίμμετρης βάσης** (φωτ. 7), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό της κλίμακας ενός μικρού γεωδαιτικού δικτύου αλλά και για τη μέτρηση πλευρών οδεύσεων. Ακόμη και σήμερα (2005) χρησιμοποιούνται ανάλογα συστήματα, κυρίως σε δίκτυα βιομηχανικής γεωδαισίας, επιτυγχάνοντας ακρίβειες στο προσδιοριζόμενο μήκος της τάξης του $\pm 10^{-5}$ m.

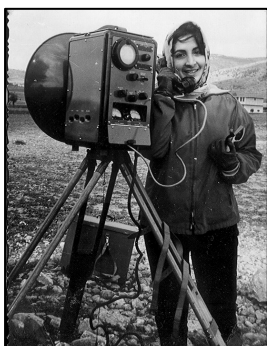


Φωτ. 7 Τύπος δίμμετρης βάσης

2.3 Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών μεγάλου βεληνεκούς.

Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια προσδιορισμού του μήκους με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έγινε κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όταν ο Hart παρουσίασε τη συσκευή Radar. Με την συσκευή αυτή προσδιορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένας μεμονωμένος παλμός για να διατρέξει το ζητούμενο μήκος, ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπεται σε μήκος. Η ακρίβεια που παρέχει το **Radar** (Loran, Shoran, Decca, κ.λ.π) καλύπτει τις στρατιωτικές ανάγκες ή τις ανάγκες της Ναυτιλίας και της Αεροπλοΐας δεν επαρκεί όμως για τις απαιτήσεις της Τοπογραφίας. Μια τελειοποίηση του συστήματος Shoran, είναι το σύστημα Hiran, το οποίο χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην Ελλάδα το 1953, για τη γεωδαιτική σύνδεση μεταξύ Ελλάδας – Λιβύης. Με το σύστημα αυτό προέκυψαν αποστάσεις της τάξης των 400 Km (Λιβιεράτος Ε., 1972) .

Το 1957 κατασκευάστηκε στη Νότιο Αφρική από τον Wadley το **Τελλουρόμετρο**. Αυτό ήταν ένα μικροκυματικό τηλέμετρο. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην εκπομπή συνεχών μικροκυμάτων μήκους κύματος $\lambda = 3 - 10\text{cm}$ και διαμορφωμένης συχνότητας 10MHz, που παράγεται από ταλαντώμενο κρύσταλλο χαλαζία. Αποτελείται από δύο ανεξάρτητες συσκευές, οι οποίες λειτουργούν ταυτόχρονα και ως πομπός και ως δέκτης (φωτ. 8). Εκπέμπονται μικροκύματα από τη μία συσκευή φθάνουν στη δεύτερη και επανεκπέμπονται στην πρώτη. Μετράται η διαφορά φάσης και στη συνέχεια προκύπτει το μήκος. Το βεληνεκές του φθάνει τα 150km και η αβεβαιότητα μέτρησης είναι $\pm 3\text{cm} \pm 3 \cdot 10^{-6} \cdot d / 10$. Το όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1960.



Φωτ. 8 Το τελλουρόμετρο MRI
(Αρχείο Δ.- Δ. Μπαλοδήμου)

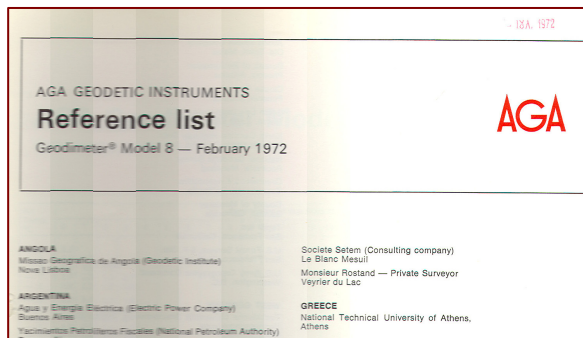
Το 1965 χρησιμοποιήθηκε σε μετρήσεις μηκών μεγάλου βεληνεκούς το **γεωδίμετρο** AGA 6 (φωτ. 9). Η αρχή λειτουργίας του γεωδιμέτρου βασιζόταν στη συνεχή εκπομπή ορατού φωτός, κοινής ή ειδικής λυχνίας, διαμορφωμένου μέσω κυττάρου – Kerr, που

ελεγχόταν από ταλαντωτή συχνότητας πάνω από 10MHz. Η εμβέλεια του εξαρτάτο από τη χρησιμοποιούμενη λυχνία. Όταν χρησιμοποιείτο κοινή λυχνία τότε το βεληνεκές του κυμαινόταν από 5km (την ημέρα) έως 15km (την νύκτα), ενώ αν χρησιμοποιείτο λυχνία υδραργύρου αυτό κυμαινόταν από 10km (την ημέρα) έως 25km (την νύκτα). Η ακρίβεια μέτρησης ήταν ίση με $\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ και ο χρόνος μιας πλήρους μέτρησης ήταν 5 – 10 min.

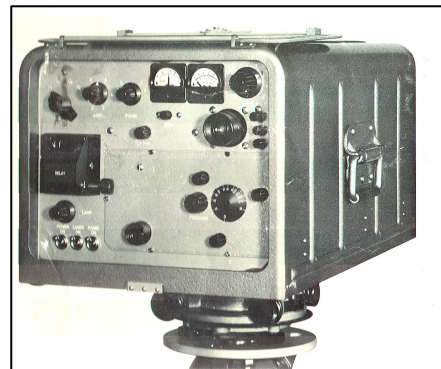


Φωτ. 9 Το γεωδίμετρο AGA 6, σε λειτουργία
(Αρχείο Δ.- Δ. Μπαλοδήμου)

Το 1972 ήρθε στην Ελλάδα στο Εργαστήριο Γεωδαισίας του Ε.Μ.Π, το γεωδίμετρο AGA 8 (φωτ. 10, 11) και χρησιμοποιήθηκε για τη γεωδαιτική σύνδεση Ελλάδας – Ιταλίας και τη μέτρηση της πλευράς Οθωνοί – Παντοκράτωρ. Το μήκος μεταξύ των δύο σημείων μετρήθηκε κατά τη διάρκεια δυο βραδιών τον Οκτώβριο του 1973 και προέκυψε ίσο με 44024.526 m με αβεβαιότητα $\pm 0.016\text{m}$. Η μέτρηση της πλευράς Οθωνοί Specchia – Cristi, έγινε χρησιμοποιώντας για πρώτη φορά στην Ελλάδα το σύστημα παλμών laser, του Κέντρου Δορυφόρων Διονύσου (φωτ. 12). Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων μετρήθηκε 81967.80 m με αβεβαιότητα $\pm 0.55\text{m}$ (Balodimos D., 1977).



Φωτ. 10 Η αναφορά αγοράς του γεωδιμέτρου AGA 8



Φωτ. 11 Το γεωδίμετρο AGA 8



Φωτ. 12 Το σύστημα Laser, σε λειτουργία στη μέτρηση στους Οθωνούς
(Αρχείο Δ.- Δ. Μπαλοδήμου)



Φωτ. 13 Το γεωδίμετρο AGA 8, σε λειτουργία στη μέτρηση στο Δίαυλο Ωρεών
(Αρχείο Δ.- Δ. Μπαλοδήμου)

Ενδεικτικά αξίζει να αναφερθεί ότι το AGA 8 χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις μηκών, για τη μελέτη μικρομετακινήσεων κυρίως στο πρόγραμμα του Φράγματος του Μόρνου (1976) και του στερεού φλοιού της γης στην περιοχή του Διαύλου Ωρεών (φωτ. 13). Επίσης η ΓΥΣ χρησιμοποίησε το ίδιο όργανο για τη μέτρηση μηκών στο τριγωνομετρικό δίκτυο της Ελλάδας.

2.4 Ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μήκων μικρού βεληνεκούς.

Στα τέλη της δεκαετίας του '60 κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα τα πρώτα όργανα που μετρούν μήκη με τη εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα γνωστά **EDM**. Τα όργανα αυτά προσαρμόζονταν σε θεοδόλιχα και το βεληνεκές τους (ανάλογα με τους χρησιμοποιούμενους ανακλαστήρες) έφθανε τα 3Km με ακρίβειες της τάξης $\pm 1\text{cm}$. Το μικρό βάρος τους (9kg – 12kg), η ευκολία στη χρήση τους (λιγότερο προσωπικό), η ταχύτητα εξαγωγής της μέτρησης, η ποικιλία στο εμπόριο και οι προσιτές τιμές κόστους, έκαναν τα όργανα αυτά εύχρηστα σε πολλές γεωδαιτικές εργασίες όπως τριγωνισμούς, πολυγωνομετρία, ταχυμετρία και βοηθούσαν στην εκτέλεση τοπογραφικών εργασιών όπως κτηματογραφικές αποτυπώσεις, αναδασμούς, κατασκευή τεχνικών έργων, οδοποιίας, φωτογραμμετρίας κ.α.

Ενδεικτικά τα κυριότερα όργανα αυτής της κατηγορίας ήταν:

- Το *Distomat DI 10* της εταιρείας Wild (φωτ. 14). Το όργανο αυτό κυκλοφόρησε στην αγορά το 1968 και προσαρτάτο σε οπτικομηχανικό θεοδόλιχο (T16, T2), ώστε να μετρούνται ταυτόχρονα και οι γωνίες. Η μέγιστη διαμορφωμένη συχνότητα ήταν 15MHz, είχε βάρος 15kg και παρείχε το κεκλιμένο μήκος σε συσκευή που συνδεόταν κατάλληλα με αυτό (Laurila S., 1976).
- Το *Distomat DI3S* της εταιρείας Wild (φωτ. 15). Αποτελείτο από ένα οπτικό σύστημα και μία μονάδα χειρισμού. Το οπτικό σύστημα συνδυαζόταν με οπτικομηχανικό θεοδόλιχο. Στη μονάδα χειρισμού υπήρχε μικρός ηλεκτρονικός υπολογιστής, που διόρθωνε τα μετρούμενα μεγέθη, υπολόγιζε και εμφάνιζε σε μικρή οθόνη το μετρούμενο μήκος. Χρησιμοποιούσε υπέρυθρη ακτινοβολία που εξέπεμπε μια δίοδος Ga – As με μήκος κύματος $0.885\mu\text{m}$, η ακρίβεια μέτρησης ήταν $\pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ και το βεληνεκές του κυμαινόταν από 1000m (με ένα κατάφωτο) μέχρι 2000m (με 9 κατάφωτα) (Βλάχος Α, 1981).



Φωτ.14 Το *Distomat DI 10*
(Wild)



Φωτ. 15 Το *Distomat DI3S*
(Wild)



Φωτ. 16 Το *Mecometer ME 3000*
(Kern)

- Το *Mecometer ME 3000* των εργοστασίων Kern (φωτ. 16). Θεωρείτο ένα από τα ακριβέστερα όργανα. Μπορούσε να μετρήσει μήκη από μερικά m μέχρι 1500m με ένα κατάφωτο και μέχρι 3000m με τρία κατάφωτα, με ακρίβεια $\pm 0.2\text{mm} \pm 1\text{ppm}$. Η πηγή της φέρουσας ακτινοβολίας ήταν μια λυχνία εκλάμψεων xenon με μήκος κύματος $0.48\mu\text{m}$. Η μέτρηση του μήκους διαρκούσε περίπου 2 – 3 min και το όργανο έφερε

σύστημα αυτόματης διόρθωσης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών (Laurila S., 1976). Χρησιμοποιήθηκε σε μετρήσεις μηκών στο πρόγραμμα του φράγματος του Μόρνου.

- Το γεωδύμετρο AGA 12 της εταιρείας AGA. Μπορούσε να μετρά μήκη από 0.20m έως 700m με ένα απλό κατάφωτο και 1700m με ένα τριπλό κατάφωτο. Χαρακτηριστικό του στοιχείο ήταν η ευκολία χρήσης αλλά και το γεγονός ότι μπορούσε να προσαρμοστεί σε οπτικομηχανικά θεοδόλιχα όπως το Wild T2, τα Kern DKM2 και DKM2A, τα Zeiss Th2 και Th3 και τα Zeiss Jena 010A και 020A, εφόσον υπήρχε στο θεοδόλιχο το κατάλληλο σύστημα σύνδεσης.
- Το MA 100 της εταιρείας Tellurometer (φωτ. 17). Κυκλοφόρησε στην αγορά το 1968. Η διαμορφωμένη συχνότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας ήταν υψηλή (75MHz), παρείχε το μήκος σε μικρό χρονικό διάστημα (20sec), με ακρίβεια $\pm 2\text{mm}$ και είχε δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε ειδική διάτρητη ταινία.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90, κυκλοφόρησε στην αγορά το πρώτο EDM που είχε τη δυνατότητα **μέτρησης μήκους με ή χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα**. Ήταν το DIOR 3002S της εταιρείας Wild (φωτ. 18), το οποίο προσαρμοζόταν επιβατικά σε οπτικομηχανικό ή ψηφιακό θεοδόλιχο. Η μέτρηση του μήκους γινόταν παράλληλα με το σκοπευτικό άξονα του θεοδολίχου για αυτό και ήταν απαραίτητη η γεωμετρική αναγωγή της μετρούμενης απόστασης ή της κατακόρυφης γωνίας. Η αρχή λειτουργίας αυτού του οργάνου βασιζόταν στην εκπομπή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (laser) η οποία όταν προσέπιπτε σε οποιαδήποτε επιφάνεια, ανακλάτο και επέστρεφε στο όργανο. Η εμβέλεια αυτού του οργάνου στη μέτρηση μηκών, έφθανε τα 100m, χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα και 2Km με χρήση ανακλαστήρα, με ακρίβεια $\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$. Η τεχνολογία αυτών των EDM αποτέλεσε ακόμη μια επανάσταση και βοήθησε κυρίως σε αποτυπώσεις μεγάλης κλίμακας (αποτυπώσεις μνημείων, κατασκευών, κ.α). Στην Ελλάδα το όργανο αυτό χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη γεωμετρική τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων (γεωμετρική – σχεδιαστική τεκμηρίωση του Κάστρου της Μυτιλήνης), ιστορικών μνημείων (Πανίερος Ναός της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα, Ιερά Μονή Δοχειαρίου στο Άγιο Όρος), αλλά και σε ειδικές γεωδαιτικές εργασίες ακριβείας βιομηχανικής γεωδαισίας (πλοία, υποβρύχια).



Φωτ. 17 Το MA 100 της Tellurometer



Φωτ. 18 Το αποστασιόμετρο Dior3002S προσαρμοζόμενο στο ψηφιακό θεοδόλιχο T1610

3. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΓΩΝΙΩΝ

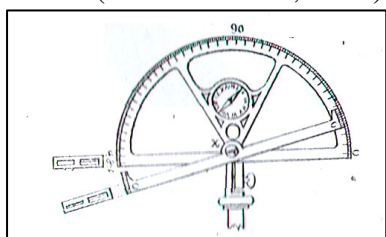
Ο προσδιορισμός της θέσης σημείων που βρίσκονται πάνω ή κοντά στη Φ.Γ.Ε αλλά και ο προσανατολισμός διευθύνσεων και κατασκευών βασίζεται σε μετρήσεις διευθύνσεων και γωνιών και με επίγεια συμβατικά γεωδαιτικά όργανα. Η χρησιμοποίηση και η εξέλιξη των συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης γωνιών καθορίζει τόσο την ορθότητα πραγματοποίησης Τοπογραφικών – Γεωδαιτικών εργασιών όσο και την ακρίβεια τους. Τα όργανα μέτρησης διευθύνσεων και γωνιών στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, μπορούν να χωριστούν σε:

- α) Απλά γωνιομετρικά όργανα
- β) Μηχανικά θεοδόλιχα
- γ) Οπτικομηχανικά θεοδόλιχα
- δ) Ψηφιακά θεοδόλιχα.

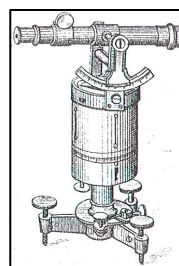
3.1 Απλά γωνιομετρικά όργανα

Στην αρχή του 20^{ου} αιώνα τα κυριότερα απλά γωνιομετρικά συμβατικά όργανα που χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα ήταν:

- Το **γραφόμετρο** (φωτ. 19) ήταν όργανο που χρησιμοποιείτο για τη μέτρηση οριζόντιας γωνίας που οριζόταν μεταξύ δύο διευθύνσεων με ακρίβεια της τάξης $\pm 10^\circ$ (Αποστόλου Α., 1885).



Φωτ. 19 Το γραφόμετρο

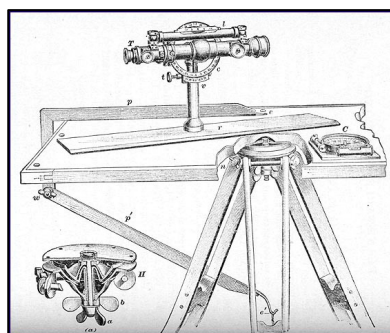


Φωτ. 20 Το παντόμετρο

- Το **παντόμετρο** (φωτ. 20) ήταν όργανο που χρησιμοποιείτο για τη μέτρηση οριζόντιας γωνίας που οριζόταν μεταξύ δύο διευθύνσεων με ακρίβεια της τάξης $\pm 30^\circ$. Αποτελείτο από κυκλικά χάλκινα τύμπανα διαμέτρου 5cm – 6cm (Αποστόλου Α., 1885).
- Ο **εξάντας** (φωτ. 21) ήταν γωνιομετρικό όργανο που κατασκευάστηκε το 1759 από τον Jonh Bird. Χρησιμοποιείτο κυρίως στην Αστρονομία και στη Ναυσιπλοΐα για τη μέτρηση οριζόντιων γωνιών με ακρίβεια της τάξης $\pm 60^\circ$.
- Η **μετροτράπεζα** (φωτ. 22) ήταν όργανο που κατασκευάστηκε το 1699 και χρησιμοποιήθηκε πολύ αργότερα στο πεδίο για τη συμπλήρωση κυρίως τοπογραφικών διαγραμμάτων μικρών κλιμάκων από 1:10000 έως 1: 250000. Με αυτή οι γωνίες ή οι διευθύνσεις σχεδιάζονταν αμέσως στο ύπαιθρο.



Φωτ. 21 Ο εξάντας



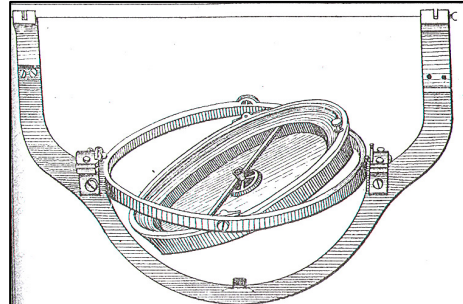
Φωτ. 22 Η μετροτράπεζα

- Η **γωνιομετρική πυξίδα** είναι όργανο που χρησιμοποιείτο για τη μέτρηση οριζόντιων γωνιών, με αφετηρία τη διεύθυνση του μαγνητικού βορρά. Υπάρχουν δύο είδη πυξίδων: η τοπογραφική και η πρισματική. Η τοπογραφική πυξίδα (φωτ. 23) είναι ακριβέστερη, τοποθετείται πάνω σε τρίποδα ή αναρτημένη από σύρμα ή νήμα (φωτ. 24) και με κατάλληλες διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη λήψη της ανάγνωσης έχει ακρίβεια της τάξης των $\pm 10^\circ$. Η διάμετρός της ποικίλει από 50mm – 200mm.

Χρησιμοποιείται συνήθως σε απλές οριζοντιογραφικές αποτυπώσεις, στην υλοποίηση διευθύνσεων ως προς το μαγνητικό βορρά και στον προσανατολισμό απλών κεραιών τηλεπικοινωνίας. Αντίθετα η πρισματική πυξίδα χρησιμοποιείται σε απλές τοπογραφικές εργασίες (αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας). Είναι φορητή, με διάμετρο που κυμαίνεται από 4cm έως 10cm (Μπαλοδήμος Δ. – Δ., 1977).



Φωτ. 23 Τοπογραφική πυξίδα Wild B3



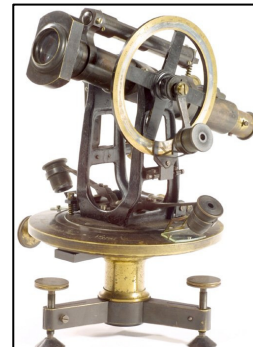
Φωτ. 24 Τοπογραφική πυξίδα αναρτήσεως

3.2 Μηχανικά θεοδόλια

Το 1730 ο Άγγλος μηχανικός Sisson κατασκεύασε το πρώτο γωνιομετρικό όργανο στο οποίο έδωσε το όνομα **"Theodolitus"** (φωτ. 25) και η λειτουργία του βασιζόταν στην αρχή λειτουργίας της διόπτρας. Η λέξη είναι ελληνική και προέρχεται από το "θεώμαι" (παρατηρώ, εξετάζω με προσοχή) και το "δολιχόν" (μακρύ, επίμηκες).



Φωτ. 25 Το θεοδόλιχο Sisson



Φωτ. 26 Το μηχανικό θεοδόλιχο Starke & Kammerer

Στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (μέχρι το 1925), τα γωνιομετρικά αυτά όργανα (**θεοδολίδια**) εξελίχθηκαν και χρησιμοποιούνταν και στην Ελλάδα για τις μετρήσεις γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων). Αποτελούνταν από δύο άντυγες σχήματος κυκλικού από μέταλλο, που ήταν αρχικά διηρημένες σε μοίρες και αργότερα σε βαθμούς. Χρησιμοποιούσαν το σύστημα βερνιέρου για τις αναγνώσεις μικρών τόξων. Έφεραν σωληνωτή αεροστάθμη για την αποκατάσταση της οριζοντίωσης και της κατακορύφωσης. Η Χαρτογραφική υπηρεσία, γύρω στα τέλη του 19^{ου} αιώνα χρησιμοποίησε το θεοδόλιχο Starke & Kammerer (φωτ. 26) για τις γωνιομετρήσεις κατά την ανάπτυξη του δικτύου 1^{ης} τάξης της Ελλάδας. Για κατώτερης τάξης δίκτυα ή τοπογραφικές εργασίες χρησιμοποιούντο αντίστοιχα θεοδόλια με μικρότερη μεγέθυνση. Το ίδιο όργανο χρησιμοποιήθηκε το 1890 από τον συνταγματάρχη Hartl για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους βάθρου στο λόφο των Νυμφών (όπου βρίσκεται το Αστεροσκοπείο) αλλά και του αστρονομικού αζιμουθίου μεταξύ αυτού και του τριγωνομετρικού σημείου "Πάρνηθα" (Κατσιμήδης Α. 1907).

3.3 Οπτικομηχανικά θεοδόλιχα

Το 1926 ο Ελβετός Γεωδαίτης Heinrich Wild κατασκεύασε το παγκόσμια γνωστό **οπτικομηχανικό θεοδόλιχο Wild T2 Universal Theodolite** (φωτ. 27). Το θεοδόλιχο T2 είναι γωνιομετρικό όργανο απόδοσης $1''$ και ακρίβειας $\pm 2.5''$ κατά DIN '18723 και χρησιμοποιήθηκε έως και την τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα σε μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών σε εργασίες τριγωνισμού 2^{ης} τάξης, οδεύσεων ακριβείας, μικρομετακινήσεων σε φράγματα και τεχνικά έργα αλλά και Γεωδαιτικής Αστρονομίας. Οι δίσκοι του (οριζόντιος, κατακόρυφος) ήταν γυάλινοι σε αντίθεση με τους μηχανικούς δίσκους που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε στα γωνιομετρικά όργανα, ενώ διέθετε και οπτικό σύστημα ανάγνωσης.



Φωτ. 27 Το οπτικομηχανικό θεοδόλιχο T2 Wild

Η περίοδος αυτή εξελίσσεται σε επανάσταση στο χώρο των γεωδαιτικών μετρήσεων στην Ελλάδα. Τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα που εισάγονται στην Ελλάδα στο διάστημα 1926 – 1975 ανάλογα με την απόδοσή τους και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά διακρίνονται στις εξής κατηγορίες (Μπαλοδήμος Δ. – Δ., 1977):

- ❑ Θεοδόλιχα ακριβείας. Τα θεοδόλιχα αυτά είχαν απευθείας ανάγνωση $0.5''$ (ανάλογα με τη βαθμονόμηση τους), διέθεταν ισχυρά τηλεσκόπια, χρησιμοποιούσαν διπλό οπτικό μικρόμετρο για τις αναγνώσεις γωνιών και χρησιμοποιούνταν κυρίως σε μετρήσεις Τριγωνισμού 1^{ης} και 2^{ης} τάξης και σε αστρογεωδαιτικές μετρήσεις. Στην Ελλάδα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως το Wild T3 (1927) και το Kern DKM3 (1956).
- ❑ Θεοδόλιχα απόδοσης $1''$. Τα θεοδόλιχα αυτά είχαν απευθείας ανάγνωση $1''$ (ανάλογα με τη βαθμονόμηση τους), διέθεταν μικρότερα τηλεσκόπια, χρησιμοποιούσαν και αυτά διπλό οπτικό μικρόμετρο. Τα πιο διαδεδομένα σε χρήση τέτοια θεοδόλιχα ήταν το Wild T2, τα Kern DKM2 (1956) και DKM2A (1956), το Zeiss Zena 010A (1970). Τα θεοδόλιχα αυτά χρησιμοποιούνταν για Τριγωνισμούς 2^{ης} τάξης και μικρότερους, σε μετρήσεις οδεύσεων ακριβείας, σε εργασίες παρακολούθησης μικρομετακινήσεων τεχνικών έργων, σε χαράξεις ακριβείας.
- ❑ Θεοδόλιχα για γενική χρήση. Τα θεοδόλιχα αυτά είχαν απευθείας ανάγνωση $20''$ - $1''$ (ανάλογα με τη βαθμονόμηση τους), χρησιμοποιούσαν απλό μικρόμετρο ή απλή κλίμακα για τις αναγνώσεις και χρησιμοποιούνταν σε Τριγωνισμούς 3^{ης} τάξης, για τοπογραφικές αποτυπώσεις. Τα πιο γνωστά όργανα σε αυτή την κατηγορία ήταν τα Wild T16 (1956 – 1972), Wild T1A (1957 – 1972), Kern DKM1 (1960-1980), Kern K1-A, Zeiss Theo 020 (1975).
- ❑ Θεοδόλιχα για ειδική χρήση. Τα θεοδόλιχα αυτά χρησιμοποιούνται για απευθείας μετρήσεις διευθύνσεων σε ειδικές εφαρμογές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το

θεοδόλιχο πυξίδα Wild T0 (φωτ. 28) (1932 – 1972), το γυροσκοπικό θεοδόλιχο (φωτ. 29) και τα μαγνητικά θεοδόλικα (φωτ. 30).



Φωτ. 28 Το θεοδόλιχο πυξίδα Wild T0



Φωτ. 29 Τύπος γυροσκοπικού θεοδολίχου



Φωτ. 30 Τύπος μαγνητικού θεοδολίχου

- Θεοδόλικα για κατασκευές. Τα θεοδόλικα αυτά είχαν απευθείας ανάγνωση 15° (ανάλογα με τη βαθμονόμηση τους), χρησιμοποιούσαν απλό μικρόμετρο ή απλή κλίμακα για τις αναγνώσεις και διέθεταν τηλεσκόπια μικρότερα από τα θεοδόλικα γενικής χρήσης. Χρησιμοποιούνταν σε απλές τοπογραφικές εργασίες και κυρίως σε κατασκευές και απλές χαράξεις. Τα πιο χαρακτηριστικά θεοδόλικα αυτής της κατηγορίας στην Ελλάδα ήταν: το Wild T05(1974 – 1981) και το Zeiss Jena Theo 120.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80, κυρίως σε εργασίες χάραξης περιορισμένης έκτασης, για τη χάραξη μιας ορθής γωνίας ή την αποτύπωση λεπτομερειών της επιφάνειας του εδάφους με ορθογώνιες συντεταγμένες, χρησιμοποιείτο το **ορθόγωνο**. Το ορθόγωνο ήταν ένα απλό οπτικό όργανο, εύκολο στη χρήση και πρακτικό στη χάραξη ορθών γωνιών με ακρίβεια της τάξης $\pm 2^\circ - \pm 5^\circ$. Ήταν πολύ χρήσιμο σε εργασίες χάραξης τεχνικών έργων σε επίπεδο έδαφος και αποτελεσματικό στην αποτύπωση σημείων λεπτομερειών. Μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επίσης για πυκνώσεις ευθυγραμμίων και να συμβάλλει έμμεσα στη μέτρηση μηκών με μετροταινίες.

3.4 Ψηφιακά θεοδόλικα

Τη δεκαετία του '70 κάνουν την εμφάνισή τους τα πρώτα ηλεκτρονικά (ψηφιακά) θεοδόλικα. Τα θεοδόλικα αυτά διατηρούν την αρχή λειτουργίας των μηχανικών αλλά διαφοροποιείται πια ο τρόπος ανάγνωσης των οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών που παρέχουν. Ο οπτικός τρόπος ανάγνωσης αντικαθίσταται με ψηφιακό και έτσι η ανάγνωση δεν προκύπτει από τον παρατηρητή αλλά εμφανίζεται απευθείας σε ειδική οθόνη που φέρουν. Τα ψηφιακά θεοδόλικα έχουν οπτικό σύστημα σκόπευσης, αεροστάθμες οριζοντίωσης, αλλά οι κύκλοι τους δεν είναι πια γυάλινοι αλλά κωδικοποιημένοι, που φέρουν πάνω τους σήματα που αντιστοιχούν σε τιμές γωνιών. Πρόκειται για τη δεύτερη επανάσταση που συντελείται στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα στις γεωδαιτικές μετρήσεις. Στην Ελλάδα στο χρονικό διάστημα από το 1975 – 1990 εισάγονται τέτοια ψηφιακά θεοδόλικα από διάφορες εταιρείες (Leica, Topcon, Aga, Sokkisha, Nikon), με ακρίβειες κατά DIN' 18723 στις μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών που κυμαίνονται από $\pm 3'' - \pm 50''$ και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μετρήσεις τρισδιάστατων τοπικών δικτύων, σε ελέγχους μικρομετακινήσεων, σε μετρήσεις βιομηχανικής γεωδαισίας κ.α.

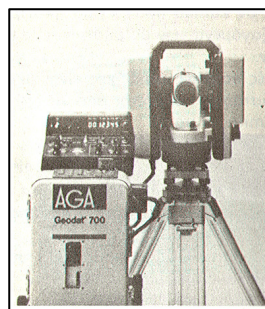
4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΩΝ ΚΑΙ ΓΩΝΙΩΝ

Στις αρχές τις δεκαετίας του '70 γίνεται η πρώτη εμφάνιση των γεωδαιτικών οργάνων που λειτουργούν και ως θεοδολίχα αλλά και ως E.D.M. Τα όργανα αυτά έχουν βέβαια μεγάλο βάρος και όγκο και αποτελούν τον πρόδρομο των σημερινών **ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών**. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όργανα όπως:

- Το *Reg Elta 14* (φωτ. 31) της εταιρείας Zeiss, το οποίο ήταν ταυτόχρονα και ταχύμετρο και εμφανίστηκε στην αγορά το 1968. Οι μετρήσεις στο όργανο αυτό λαμβάνονταν σε ειδική διάτρητη ταινία, αφού προηγουμένως συνδεόταν με κατάλληλη διατρητική μονάδα. Είχε ακρίβεια στη μέτρηση μηκών $\pm 1\text{cm}$ και $\pm 10''$ στις μετρήσεις γωνιών, ενώ το βάρος του δεν ξεπερνούσε τα 9kg (Laurila S., 1976).
- Το *γεωδόμετρο 700* της AGA (φωτ. 32). Το όργανο αυτό κατασκευάστηκε το 1971 και αποτελείτο από δύο μετρητικές μονάδες, μια μετρητική σε μορφή θεοδολίχου και μια που τοποθετείτο δίπλα στο όργανο και περιελάμβανε ένα μικρό υπολογιστή, ένα χειριστήριο με τις μονάδες ελέγχου και αναγνώσεων και ένα διατρητή. Παρείχε μετρήσεις μηκών (μέχρι τα 3km) με ακρίβεια $\pm 5\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ και μετρήσεις γωνιών με ακρίβεια $\pm 5''$. Η λειτουργία του ήταν μερικώς αυτοματοποιημένη και τα αποτελέσματα παρουσιάζονταν ψηφιακά σε ειδική οθόνη, διορθωμένα από την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών (Laurila S., 1976).

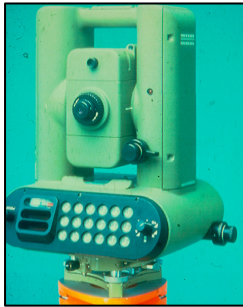


Φωτ. 31 Το ηλεκτρονικό ταχύμετρο *Reg Elta 14* της Zeiss



Φωτ. 32 Το γεωδόμετρο 700 της AGA

Στην αρχή της δεκαετίας του '80 κάνουν την εμφάνισή τους οι **ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με ψηφιακό θεοδολίχο**. Τα όργανα αυτά είναι η εξέλιξη των συστημάτων μηχανικών θεοδολίχων + E.D.M., που έχουν πλέον το αποστασιόμετρο ενσωματωμένο σε ψηφιακό θεοδολίχο. Στα πλεονεκτήματα των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών εκτός από τη μείωση του βάρους και του όγκου τους σημαντικό στοιχείο αποτελεί η αύξηση της εμβέλειάς τους (με ένα κατάφωτο) και η ταυτόχρονη μέτρηση και η καταγραφή μηκών αλλά και γωνιών (οριζόντιων και κατακόρυφων) σε εξωτερική κυρίως καταγραφική μονάδα. Η ανάγνωση των μετρήσεων και η μεταφορά τους σε Η/Υ γίνεται συνήθως με χρήση ειδικής συσκευής (αναγνώστης). Το κύριο χαρακτηριστικό των οργάνων αυτών είναι ότι οι κύκλοι τους (οριζόντιος και κατακόρυφος) είναι ψηφιακοί, παρέχουν ψηφιακά κάθε μέτρηση σε ειδική οθόνη (display) με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να είναι απαλλαγμένες από το σφάλμα ανάγνωσης – εκτίμησης του παρατηρητή. Έτσι οι μετρήσεις γίνονται συντομότερα ενώ παράλληλα με τη δυνατότητα αυτόματης αποθήκευσής τους στην καταγραφική μονάδα, αποφεύγονται και τα χονδροειδή σφάλματα που πιθανόν γίνονταν κατά την διαδικασία ανάγνωσης – γραφής τους. Έχουν δυνατότητα μέτρησης μηκών από μερικά μέτρα έως μερικά Km (ανάλογα με τους χρησιμοποιούμενους ανακλαστήρες) με ακρίβεια της τάξης των $\pm 5\text{ mm}$. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το Tachymat TC1 της Wild (φωτ. 33), το CTS1 της εταιρείας Topcon (φωτ. 34), τα TC500 και TC1600 της εταιρείας Leica (φωτ. 35, φωτ.36), κ.α.



Φωτ. 33 Ο γεωδαιτικός σταθμός TC1



Φωτ. 34 Ο γεωδαιτικός σταθμός CTS1



Φωτ. 35 Ο γεωδαιτικός σταθμός TC500



Φωτ.36 Ο γεωδαιτικός σταθμός TC1600

Στα μέσα της δεκαετίας του '90, οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί εξελίσσονται σε θέματα που αφορούν στην ακρίβεια μέτρησης της απόστασης (μπορεί να φθάσει τα $\pm 1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$), στο βεληνεκές (πλησιάζει τα 10km με χρήση κατάλληλων ανακλαστήρων), στην ακρίβεια μέτρησης των γωνιακών μεγεθών ($\pm 1''$) αλλά κυρίως στη δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων σε ενσωματωμένη καταγραφική μονάδα. Η εξαγωγή των μετρήσεων γίνεται με τη σύνδεση του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού με ηλεκτρονικό υπολογιστή και τη χρήση κατάλληλου προγράμματος επικοινωνίας. Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης αποτελεί ο τρόπος και η ψηφιακή διαδικασία αποκατάστασης της ορθής λειτουργίας τους (κέντρωση, οριζοντίωση). Διαθέτουν αυτόματο σύστημα αναγνώρισης και διόρθωσης των τιμών των μετρούμενων γωνιών, ενώ παράλληλα έχουν τη δυνατότητα ρομποτικής παρακολούθησης στόχου. Αυτή η εξέλιξη καθιστά τις εργασίες πυκνώσης τριγωνομετρικών δικτύων, πολυγωνομετρίας, ταχυμετρικής αποτύπωσης απλές, σύντομες και ακριβείς. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο γεωδαιτικός σταθμός 600 της εταιρείας Aga (φωτ. 37), ο γεωδαιτικός σταθμός TC702 της εταιρείας Leica (φωτ. 38), ο γεωδαιτικός σταθμός GTS600 της εταιρείας Topcon (φωτ. 39) κ.α.



Φωτ. 37 Ο γεωδαιτικός σταθμός 600 (Aga)



Φωτ.38 Ο γεωδαιτικός σταθμός TC702 (Leica)



Φωτ.39 Ο γεωδαιτικός σταθμός GTS600 (Topcon)

Η περίοδος 1995 – 2004 εξελίσσεται σε επανάσταση στο χώρο των γεωδαιτικών σταθμών στην Ελλάδα. Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που εισάγονται στην Ελλάδα την περίοδο αυτή ανάλογα με την απόδοσή τους και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί ακριβείας. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα όργανα που δίνουν ακρίβεια στις γωνιομετρήσεις από $\pm 1''$ – $\pm 10''$, μετρούν μήκη από 1200m – 5000m (ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα κατάφωτα) με ακρίβεια $\pm 1\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μετρήσεις ακριβείας για τον έλεγχο μικρομετακινήσεων και σε αστρογεωδαιτικές μετρήσεις. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν

το TDM 5005 της Leica (1998), το GPT 8201A της Topcon (2004), το 5601 της Trimble (2001).

- Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί κοινής χρήσεις. Οι σταθμοί αυτοί παρέχουν ακρίβεια στη μέτρηση γωνιών που κυμαίνεται από $\pm 10''$ – $\pm 30''$ μετρούν μήκη μέχρι 3000m (με ένα κατάφωτο) με ακρίβεια $\pm 1\text{mm} \pm 2\text{ppm}$. Χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις οδεύσεων ακριβείας, σε χαράξεις ακριβείας, σε τοπογραφικές αποτυπώσεις. Οι πιο διαδεδομένοι σε χρήση τέτοιοι σταθμοί στην Ελλάδα είναι το TC 407 της Leica (2003), το GTS226 της Topcon (1998), το 5A της Sokkia (1993), 3305 της Trimble (2003).

Στη συνέχεια η εξέλιξη ήταν αναμενόμενη. Κατασκευάζονται πια ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που έχουν δυνατότητα **μέτρησης του μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα** (Reflectorless). Δίνεται έτσι η δυνατότητα στους χρήστες για μέτρηση μήκους μέχρι και 1600m, ανάλογα με την υφή της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία, με ακρίβεια που κυμαίνεται από $\pm 2\text{mm}$ έως $\pm 10\text{mm}$.

Σήμερα (2005) η τεχνολογία των ψηφιακών γεωδαιτικών σταθμών που μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα βρίσκεται σε εξέλιξη, κυρίως σε ότι αφορά στο βεληνεκές τους αλλά και στην αντίστοιχη ακρίβεια που επιτυγχάνεται κατά τις μετρήσεις. Ενδεικτικά στον πίνακα 1 παρουσιάζονται όργανα που ανήκουν στην κατηγορία αυτή και τα αντίστοιχα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Τύπος γεωδαιτικού σταθμού	Κατασκευάστρια εταιρεία	Ανάγνωση γωνιών (°)	Ακρίβεια μέτρησης γωνιών (°)	Ακρίβεια μέτρησης μηκών	Βεληνεκές (m)	Χρόνος μέτρησης μήκους	Βάρος (Kgr)
TCR 1101XR	Leica (Ελβετία)	1	± 5	$\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	200	< 1 sec	4.7
TCR 702	Leica (Ελβετία)	2	± 6	$\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	80	< 1 sec	4.4
TCR 801	Leica (Ελβετία)	3	± 10	$\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	250	< 1 sec	4.2
GTP 3000	Topcon (Ιαπωνία)	1	± 3	$\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	250	1.2 sec	5.1
GTP 8201	Topcon (Ιαπωνία)	1	± 3	$\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ ($\pm 10\text{mm} \pm 10\text{ppm}$)	120 (1200)	1.2 sec	7.6
5600 DR200+	Trimble (ΗΠΑ)	1	± 3	$\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	800	5 - 10 sec 0.4 sec (Fast Tracking)	6.3
S6	Trimble (ΗΠΑ)	1	± 3	$\pm 3\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ ($\pm 5\text{mm} \pm 2\text{ppm}$)	300 (1600)	1.2 sec	5.2

Πίνακας 1 : Ενδεικτική παρουσίαση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, μέτρησης μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα.

Εξέλιξη των οργάνων αυτών αποτελεί σήμερα η **ενσωμάτωση ψηφιακής κάμερας** στο τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού και η εμφάνιση στην οθόνη του της εικόνας που αυτός "βλέπει". Έτσι η σκόπευση ενός σημείου μπορεί να γίνει και από την οθόνη, εστιάζοντας στο κατάλληλο σημείο και όχι μόνον από το τηλεσκόπιο (Topcon GPT 7001, 2004).

Τέλος μια μορφή εξέλιξης των οργάνων αυτών αποτελούν και οι **σαρωτές επιφανειών** (laser Scanner), οι οποίοι μετρούν αδιακρίτως εκατομμύρια σημεία το λεπτό τα οποία βρίσκονται στο οπτικό τους πεδίο. Η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτή των γεωδαιτικών σταθμών. Βέβαια τόσο η ακρίβεια όσο και η εμβέλειά τους είναι μειωμένη, ενώ δεν είναι δυνατή η επιλογή των σημείων μέτρησης. Μειονεκτήματα αυτών των οργάνων αποτελούν σήμερα (2005) το μεγάλο βάρος, ο όγκος και το υψηλό κόστος τους. Υπάρχουν πολλοί τύποι σαρωτών που διαφέρουν ως προς την εμβέλεια, την ακρίβεια, τη διακριτική ικανότητα, την ταχύτητα και την πληρότητα του παραγόμενου τρισδιάστατου αναγλύφου. Στην Ελλάδα κυκλοφορούν κυρίως οι σαρωτές Cyrax 2500 (Leica), Callidus (Trimble) Mensi (Topcon) και δοκιμάζονται οι αποδόσεις τους κυρίως στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων.

5. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

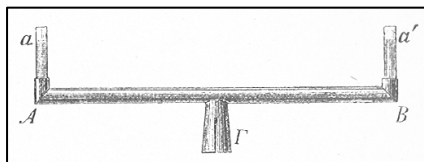
Είναι γνωστό ότι ο προσδιορισμός του υψομέτρου ενός σημείου (η τρίτη διάσταση) είναι απαραίτητος σε όλες σχεδόν τις εργασίες του Τοπογράφου Μηχανικού όπως, γεωδαιτικές, φωτογραμμετρικές, χαρτογραφικές, κτηματολογικές κ.α. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα οι κυριότερες μέθοδοι προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών είναι: η γεωμετρική χωροστάθμιση, η τριγωνομετρική υψομετρία, η βαρομετρική υψομετρία, η υδροστατική ή υδραυλική χωροστάθμιση. Οι μέθοδοι αυτές εξελίχθηκαν στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα τόσο στην επιτυγχανόμενη ακρίβεια όσο και στο απαιτούμενο κόστος – χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων. Αυτό συνδυάστηκε κυρίως με την εξέλιξη των οργάνων και των παρελκομένων που χρησιμοποιούνται. Τα όργανα αυτά διακρίνονται σε:

- α) Απλά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών
- β) Οπτικομηχανικά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών
- γ) Ψηφιακά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών .

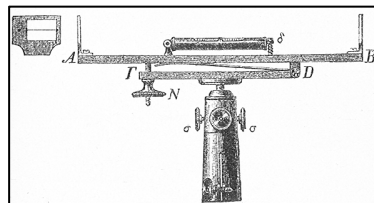
5.1 Απλά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών.

Στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα για την εκτέλεση των μετρήσεων υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιούνταν απλά όργανα όπως:

- **Ο υδροστάτης** (φωτ. 40). Αυτός αποτελείτο από μεταλλικό σωλήνα μήκους 0.6m – 1m και διαμέτρου 3cm, ενώ στα άκρα του προσαρμόζονταν γυάλινοι κυλινδρικοί σωλήνες. Τοποθετείτο σε τρίποδα και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων που απέιχαν 25 – 30m (Κατσιμήδης Α., 1907).



Φωτ. 40 Ο υδροστάτης

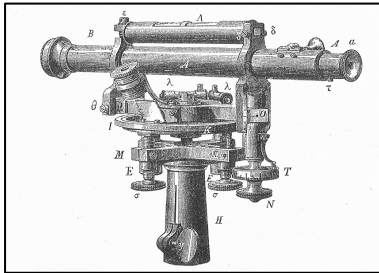


Φωτ. 41 Η χωροσταθμική διόπτρα

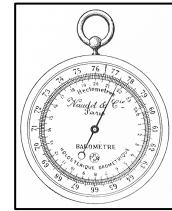
- **Η χωροσταθμική διόπτρα** (φωτ. 41). Το όργανο αυτό παρείχε μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών, αφού ο προσδιορισμός της οριζόντιας σκοπευτικής γραμμής επιτυγχανόταν με τη χρήση αεροστάθμης. Αποτελείτο από ένα μεταλλικό κανόνα, μήκους 0.30m – 0.50m, που έφερε στα άκρα του ειδικά σκόπευτρα για την εκτέλεση των όπισθεν και έμπροσθεν σκοπεύσεων (Κατσιμήδης Α., 1907).

- **Χωροσταθμικό όργανο Stampfer και Starke με σταθερή τηλεσκοπική διόπτρα** (φωτ. 42). Ήταν μια μορφή χωροβάτη, τοποθετείτο σε τρίποδα και μπορούσε να οριζοντιώνεται με τη χρήση τριών κοχλιών. Έφερε τηλεσκοπική διόπτρα (τηλεσκόπιο) από το οποίο γίνονταν οι αναγνώσεις πάνω σε ειδικούς διηρημένους μετρητικούς πηχείς, ενώ είχε και οριζόντιο δίσκο για τη μέτρηση οριζόντιων γωνιών με προσέγγιση 1'.

Εκτός όμως από την κλασσική γεωμετρική χωροστάθμηση χρησιμοποιείται και η μέθοδος της τριγωνομετρικής υψομέτρησης (τριγωνομετρική υψομετρία), όπου η υψομετρική διαφορά προκύπτει έμμεσα με τη μέτρηση της ζενίθιας απόστασης (με χρήση γωνιομετρικού οργάνου) και τη γνώση της οριζόντιας απόστασης μεταξύ των σημείων.



Φωτ. 42 Χωροσταθμικό όργανο Stampfer και Starke



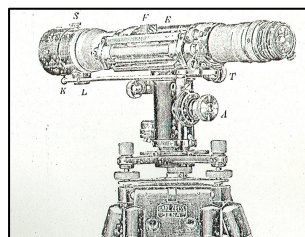
Φωτ. 43 Το βαρόμετρο Naudet

Όταν όμως επρόκειτο να προσδιοριστούν υψομετρικές διαφορές σε δασώδεις περιοχές, σε διακλαδώσεις δρόμων, σε πυθμένες κοιλοτήτων, τότε χρησιμοποιείτο η μέθοδος της βαρομετρικής υψομέτρησης, η οποία ήταν ταχύτερη και απλούστερη. Χρησιμοποιούντο **υδραργυρικά** (σπανιότερα) ή τα **ανεροειδή βαρόμετρα** ή **αλτίμετρα** (πιο εύχρηστα). Ένα τέτοιο βαρόμετρο ήταν το βαρόμετρο του Naudet (φωτ. 43), το οποίο είχε μορφή ρολογιού και εκτός της εξωτερικής κλίμακας που παρείχε την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε mmHg έφερε και εσωτερική κλίμακα η οποία παρείχε τους αριθμούς των βαρομετρικών παρατηρήσεων σε δεκάδες μέτρα. (Κατσιμήδης Α., 1907).

Για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιούνταν επίσης κατάλληλες συσκευές εφαρμόζοντας τη μέθοδο της υδραυλικής χωροστάθμησης. (Δ.- Δ. Μπαλοδήμος, 1982).

5.2 Οπτικομηχανικά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών

Το 1920, και για τη μέτρηση του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών, προαστείων και Περιχώρων, η οποία εκτελέστηκε από την Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Συγκοινωνιών, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γεωμετρικής χωροστάθμησης ακριβείας. Το χωροσταθμικό αυτό δίκτυο αποτελείτο από 320 υψομετρικές αφετηρίες, αναπτυσσόταν σε μήκος 165km και για τη μέτρησή του απαιτήθηκε χρόνος 245 ημερών.



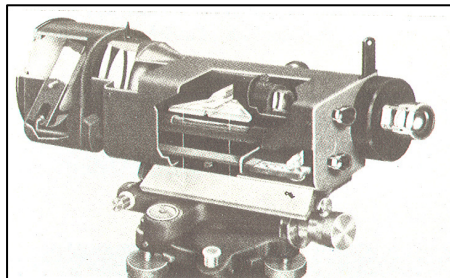
Φωτ. 44 Ο χωροβάτης τύπου III

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείτο από ένα μεγάλο **χωροβάτη τύπου III**, κατασκευής Wild – Zeiss (φωτ. 44), με παράλληλες πλάκες και από χωροσταθμικούς πηχείς Invar, οι οποίοι αποτελούνταν από τρεις βραχίονες, με μήκος 1.70m ο καθένας

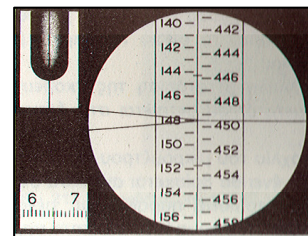
(Λαμπαδάριος Δ., 1921). Αργότερα το 1957, με το ίδιο όργανο, μετρήθηκε το χωροσταθμικό δίκτυο της Θεσσαλονίκης, από το Τοπογραφικό τμήμα της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου (Δήμος Θεσσαλονίκης, 1959).

Στις επόμενες δεκαετίες μέχρι το 1985 εξελισσόταν διαρκώς η τεχνολογία των οπτικομηχανικών χωροβατών και των χωροσταθμικών πύχτων που τους συνοδεύουν. Οι χωροβάτες που κυκλοφόρησαν στην Ελλάδα το χρονικό αυτό διάστημα διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο οριζοντίωσης του σκοπευτικού άξονα σε απλούς (με σωληνωτή αεροστάθμη) και σε αυτόματους (με μικρό εκκρεμές). Ανάλογα με την ακρίβεια που επιτυγχανόταν οι χωροβάτες διακρίνονταν σε:

- Χωροβάτες Ακριβείας. Στην κατηγορία αυτή ανήκαν χωροβάτες που έφεραν ευαίσθητες αεροστάθμες, είχαν μικρόμετρα με πλάκα με παράλληλες έδρες για τις αναγνώσεις, διέθεταν τηλεσκόπια με μεγάλη μεγέθυνση και με μεγάλο άνοιγμα αντικειμενικού φακού και ειδικά σταυρονήματα. Χρησιμοποιούνταν σε χωροσταθμικές οδεύσεις 1^{ης} τάξης, σε έλεγχο παραμορφώσεων φραγμάτων, κατασκευών και επιτυγχανόταν ακρίβεια της τάξης των $\pm 0.2 - \pm 0.5$ mm/Km. Στην κατηγορία αυτή ανήκε ο χωροβάτης N3 της Wild (φωτ. 45), ο οποίος κυκλοφόρησε στην Ελλάδα το 1965 και ο οποίος συνδυαζόταν με ειδικές σταδίες Invar (φωτ. 46).



Φωτ. 45 Ο χωροβάτης N3 της Wild



Φωτ. 46 Σταδία Invar όπως φαίνεται στο οπτικό πεδίο του Wild N3

- Χωροβάτες γενικής χρήσης. Ήταν όργανα μέσης ακρίβειας και χρησιμοποιούνταν σε γεωδαιτικές χωροσταθμίσεις 2^{ης} τάξης και σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες. Η ακρίβεια προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών με ένα τέτοιο χωροβάτη κυμαινόταν από $\pm 2 - \pm 5$ mm/Km. Στην κατηγορία αυτή ανήκε ο χωροβάτης N2 της Wild, ο οποίος κυκλοφόρησε στην Ελλάδα το 1972 και ο χωροβάτης Ni2 της Zeiss (φωτ. 47).
- Χωροβάτες για κατασκευές. Στην κατηγορία αυτή ανήκαν χωροβάτες που είχαν περιορισμένο βεληνεκές, ήταν εύχρηστοι και ο έλεγχος της αεροστάθμης (όταν υπήρχε) γινόταν από κάτοπτρο. Χρησιμοποιούνταν σε απλές τοπογραφικές και κατασκευαστικές εργασίες και συνήθως έφεραν οριζόντιο κύκλο χρήσιμο για υψομετρικές αποτυπώσεις σε επίπεδα εδάφη. Στην κατηγορία αυτή ανήκε ο χωροβάτης NAK1 της Wild (φωτ. 48), ο οποίος κυκλοφόρησε στην Ελλάδα το 1973.

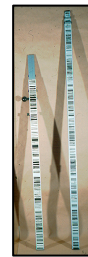
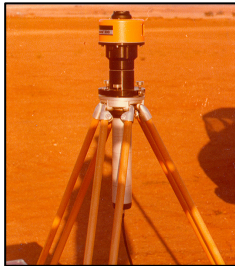


Φωτ. 47 Ο χωροβάτης Ni2 της Zeiss



Φωτ. 48 Ο χωροβάτης NAK1 της Wild

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 εισήχθη στην Ελλάδα ένας χωροβάτης που ο σκοπευτικός του άξονας υλοποιείτο εκπέμποντας μια δέσμη laser. Πρόκειται για το όργανο Georplane 330 της εταιρείας AGA (φωτ. 49), το οποίο αποτελείτο από το τρικόχλιο, το κυρίως σώμα που περιείχε το σύστημα laser και το μηχανισμό εκπομπής καθώς και την κεφαλή απ' όπου εκπέμπεται η δέσμη και στην οποία υπήρχε πρίσμα που είχε τη δυνατότητα περιστροφής. Έτσι τοποθετώντας το όργανο σε κάποιο σημείο με γνωστό υψόμετρο ήταν δυνατός ο προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών με άλλα σημεία γύρω από αυτό με ακρίβεια $\pm 2\text{mm}$ στα 60m (Μπαλοδήμος Δ.-Δ., 1982). Χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε προσδιορισμούς υψομετρικών διαφορών σε χωματουργικά έργα, σε έργα οδοποιίας, σε μετακινήσεις γαιών κ.α.



Φωτ. 49 Το Georplane 300 της AGA Φωτ. 50 Ειδική κωδικοποιημένη σταδία(Barcode)

Η εξέλιξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών βοήθησε σημαντικά την εφαρμογή της μεθόδου της Τριγωνομετρικής υψομετρίας στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών και βελτίωσε την ακρίβεια προσδιορισμού τους η οποία σήμερα (2005) φθάνει τα μερικά εκατοστά. Η εξέλιξη αυτή επίσης αποτέλεσε την αφετηρία δημιουργίας μιας νέας μεθόδου προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών, της Ειδικής Τριγωνομετρικής Υψομετρίας (Δ. – Δ. Μπαλοδήμος, 1979) την δεκαετία του 1970, η οποία αξιοποιεί τις δυνατότητες των EDM ή των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Με τη μέθοδο αυτή η ακρίβεια των προσδιοριζόμενων υψομετρικών διαφορών είναι απαλλαγμένη από τα σφάλματα μέτρησης ύψους οργάνου και ύψους σκόπευσης, ενώ η ακρίβειά της είναι ανάλογη της χωροστάθμησης ακριβείας και φθάνει το $\pm 1\text{mm}$.

5.3 Ψηφιακά όργανα μέτρησης υψομετρικών διαφορών

Στα τέλη της δεκαετίας του '80 εμφανίστηκαν στην Ελλάδα οι πρώτοι **ψηφιακοί χωροβάτες** (digital levels). Αυτοί αποτελούν εξέλιξη των παλαιότερων οπτικομηχανικών. Η εξέλιξή τους αφορά στη διαδικασία μέτρησης, η οποία γίνεται ψηφιακά, με τη χρήση **ειδικών κωδικοποιημένων σταδίων** (φωτ. 50). Χρησιμοποιώντας κωδικοποιημένες σταδίες INVAR, είναι δυνατός ο προσδιορισμός υψομετρικών διαφορών, με ακρίβειες που φθάνουν τα $\pm 0.3\text{mm/Km}$. Η απόσταση μεταξύ χωροβάτη - σταδίας κατά τη μέτρηση μπορεί να φθάσει τα 100m. Βελτιώνεται κατά πολύ η ταχύτητα (απόδοση) ενός συνεργείου που εκτελεί μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών υψηλής ακρίβειας (2.5 – 3 φορές συντομότερα, σε σχέση με την παλαιότερη κλασσική διαδικασία). Οι σύγχρονοι ψηφιακοί χωροβάτες είναι αυτόματοι και έχουν τη δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου της κατάστασης λειτουργίας του ισοσταθμητή που διαθέτουν. 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 που παρέχουν, λόγω αυτού του σφάλματος. Στα μειονεκτήματα των χωροβατών αυτών καταγράφονται κυρίως η αδυναμία μέτρησης σε περιβάλλον με περιορισμένο ή ανομοιόμορφο φωτισμό και το υψηλό κόστος αγοράς τους σε σχέση με τους αντίστοιχους οπτικομηχανικούς. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι χωροβάτες

DNA03 της Leica (φωτ. 51), Di Ni 22 της Trimble (φωτ. 52) και DL 102C της Topcon (φωτ. 53).



Φωτ. 51 Ο ψηφιακός χωροβάτης DNA03 (Leica)

Φωτ. 52 Ο ψηφιακός χωροβάτης Di Ni 22(Trimble)

Φωτ. 53 Ο ψηφιακός χωροβάτης DL 102C(Topcon)

6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η αναλυτική παρουσίαση της εξέλιξης των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων που προηγήθηκε στόχο είχε να αναδείξει την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα και τις συνέπειες που αυτή είχε στις τοπογραφικές εργασίες μικρής ή μεγάλης κλίμακας.

Έτσι λοιπόν η έναρξη του 20^{ου} αιώνα βρήκε τον τοπογράφο μηχανικό στην Ελλάδα να μετρά με απλά όργανα μικρά μήκη ενώ ήταν αδύνατη η μέτρηση μηκών μερικών km και το τέλος του τον αφήνει "πάνοπλο" να αντιμετωπίσει με διαφορετικά όργανα και μεθοδολογίες το πρόβλημα μέτρησης μηκών. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα πιο σημαντικά κομβικά σημεία που αφορούν στην εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης μήκους, τόσο σε επίπεδο βεληνεκούς όσο και σε επίπεδο επιτυγχανόμενης ακρίβειας

Εποχή	Όργανο	Χαρακτηριστικό	Ακρίβεια	Βεληνεκές
1896	Ταινίες Invar	Υλικό με μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής	$\pm 10^{-5}$	2 – 3 Km
-	Μετροταινίες	Λινές , χαλύβδινες, πλαστικές	$\pm 1\text{cm}$	50m
1926	Οπτικομηχανικά θεοδόλχα	Έμμεσος προσδιορισμός – Χρήση σταδίας	$\approx \pm 30\text{cm}$	Δεκάδες m
1926	Αυτοαναγωγικά ταχύμετρα	Έμμεσος προσδιορισμός – Χρήση σταδίας	$\pm 1 : 5000 - \pm 1 : 10000$	Δεκάδες m
1960	Τηλέμετρα	Μέτρησης απόστασης σε απρόσιτα σημεία	$\pm 1 : 1600$	200 m
	Δίμετρη βάση	Έμμεσος προσδιορισμός	$\pm 10^{-5}$	2 – 1500m
1957	EDM με μικροκύματα	Εκπομπή συνεχών μικροκυμάτων	$\pm 4\text{mm} \pm 1\text{ppm} - \pm 3\text{cm}$	150 Km
1965	EDM με ορατό φώς	Εκπομπή ορατού φωτός	$\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$	25 Km
1970	EDM με υπέρυθρη ακτινοβολία	Προσαρμόζονται σε οπτικομηχανικά θεοδόλχα	$\pm 1\text{cm}$	3 Km
1990	EDM χωρίς χρήση καταφώτου	Εκπομπή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας	$\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$	100 m
1995	Μετροταινίες	Ηλεκτρονικές	$\pm 1\text{cm}$	50m

Πίνακας 2. Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης μήκους τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα.

Ανάλογες μεταβολές παρατηρήθηκαν και στα επίγεια συμβατικά γεωδαιτικά όργανα μέτρησης διευθύνσεων και γωνιών. Από την πυξίδα και τον εξάντα, εξελίχθηκαν και δημιουργήθηκαν αρχικά τα μηχανικά και αργότερα τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα για να καταλήξει η εξέλιξη αυτή στα ψηφιακά θεοδόλιχα. Από ακρίβειες μερικών *cc* τα νέα όργανα καλύπτουν ακρίβειες μερικών *cc*. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη στα όργανα γωνιομετρήσεων.

<i>Εποχή</i>	<i>Όργανο</i>	<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Ακρίβεια</i>
..... - 1900	Πυξίδα	Μαγνητικός βορράς	$\pm 10^{\circ}$
	Εξάντας	Αστρονομία - Ναυσιπλοΐα	$\pm 60^{cc}$
	Παντόμετρο	Μέτρησης οριζόντιας γωνίας	$\pm 30^{\circ}$
	Γραφόμετρο	Μέτρησης οριζόντιας γωνίας	$\pm 10^{\circ}$
	Μετροτράπεζα	Συμπλήρωση τοπογραφικών διαγραμμάτων	
.... - 1900	Μηχανικά θεοδόλιχα	Μηχανική μέτρηση – Σύστημα βερνιέρου	$\pm 1^{cc} - \pm 25^{\circ}$
1926	Οπτικομηχανικά θεοδόλιχα	Γυάλινοι κύκλοι μέτρησης Οπτική λήψη ανάγνωσης	$\pm 0.5^{cc} - \pm 15^{\circ}$
1975	Ψηφιακά θεοδόλιχα	Ψηφιακοί κύκλοι μέτρησης Ψηφιακή ένδειξη ανάγνωσης	$\pm 3^{cc} - \pm 50^{cc}$

Πίνακας 3. Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης διευθύνσεων και γωνιών τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα.

Επανάσταση στις γεωδαιτικές μετρήσεις αποτέλεσε η εμφάνιση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Από τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς με οπτικομηχανικά θεοδόλιχα, εξελίχθηκαν σε αντίστοιχους με ψηφιακά θεοδόλιχο και σήμερα έχουν αντικατασταθεί με σταθμούς που εκτός των άλλων έχουν κίνηση ρομποτική και μετρούν μήκη με ή χωρίς κατάφωτο. Στον πίνακα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς.

<i>Εποχή</i>	<i>Όργανο</i>	<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Ακρίβεια</i>
1970	Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με μηχανικό θεοδόλιχο	Μεγάλο βάρος, όγκο, Ειδική διάτρητη ταινία για εξαγωγή στοιχείων	$\pm 2\text{mm} - \pm 1\text{cm}$ $\pm 5^{cc} - \pm 10^{cc}$
1990	Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με ψηφιακό θεοδόλιχο	Μικρό βάρος, εμβέλεια, καταγραφή σε εξωτερική καταγραφική μονάδα	$\pm 5\text{mm}$ $\pm 1^{cc} - \pm 50^{cc}$
1995	Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με ψηφιακό θεοδόλιχο	Μικρό βάρος, εμβέλεια, καταγραφή σε εσωτερική καταγραφική μονάδα	$\pm 1\text{mm} - \pm 5\text{mm}$ $\pm 1^{cc} - \pm 50^{cc}$
2000	Ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με ψηφιακό θεοδόλιχο και μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα	Μέτρηση μήκους χωρίς χρήση ανακλαστήρα	$\pm 1\text{mm} - \pm 10\text{mm}$ $\pm 1^{cc} - \pm 50^{cc}$
2000	Σαρωτές επιφανειών	Αυτόματη μέτρηση νέφους εκατομμυρίων σημείων	$\pm 5\text{mm} - \pm 5\text{cm}$

Πίνακας 4. Η εξέλιξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα.

Εξέλιξη όπως ήταν φυσικό υπήρξε και στα όργανα προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Η εξέλιξη αυτή αφορά τόσο στον τρόπο μέτρησης, από μηχανικό μετασχηματίστηκε σε οπτικομηχανικό για να καταλήξει σε ψηφιακό, όσο και στην ακρίβεια προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών. Αυτή η εξέλιξη επηρέασε καθοριστικά την παρέμβαση της γεωδαισίας σε θέματα υπολογισμού κατακόρυφων μικρομετακινήσεων τόσο τμημάτων του στερεού φλοιού της γής όσο και κατασκευών, ενώ καθόρισε αποφασιστικά την εκτέλεση των τοπογραφικών εργασιών που αφορούν στον προσδιορισμό του τρισδιάστατου χώρου. Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης υψομετρικών διαφορών στο διάβα του 20^{ου} αιώνα.

<i>Εποχή</i>	<i>Όργανο</i>	<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Ακρίβεια</i>
..... - 1900	Υδροστάτης	Μέτρηση από 25m – 30m	?
	Χωροσταθμική διόπτρα	Χρήση αεροστάθμης	?
	Όργανο Stampfer & Starke	Χρήση κοχλίων για οριζοντίωση	?
1920	Μηχανικοί χωροβάτες με αεροστάθμη	Μηχανική μέτρηση – Σύστημα βερνιέρου	±1mm - ±5cm
1950	Οπτικομηχανικοί χωροβάτες με αεροστάθμη ή εκκρεμές	Οπτική λήψη ανάγνωσης	±0.2mm - ±1cm/km
1990	Ψηφιακοί χωροβάτες με εκκρεμές	Ψηφιακή ένδειξη ανάγνωσης Μεγάλη εμβέλεια	±0.2mm - ±1cm/km

Πίνακας 5. Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης υψομετρικών διαφορών τον 20^ο αιώνα στην Ελλάδα.

Η εξέλιξη των συμβατικών γεωδαιτικών μετρήσεων μηκών, διευθύνσεων, γωνιών, υψομετρικών διαφορών και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα, βελτίωσε τη θέση και τις συνθήκες εργασίες του Τοπογράφου Μηχανικού, αυξάνοντας σημαντικά τις δυνατότητες εξέλιξης της επιστήμης του. Εκτός από τις συμβατικές εφαρμογές, όπως η αποτύπωση μικρών εκτάσεων, που ήταν το κύριο αντικείμενό του μέχρι τα μέσα του αιώνα, διεύρυνε τους ορίζοντες και δημιούργησε νέα πεδία εφαρμογών όπως:

- Μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων γεωδαιτικών δικτύων ελέγχου για έργα υποδομής.
- Έλεγχος κίνησης του στερεού φλοιού της γης.
- Έλεγχος της παραγωγής βιομηχανικών προϊόντων.
- Αποτυπώσεις σε μεγάλες κλίμακες.
- Αποτυπώσεις μνημείων.
- Καταγραφή παθολογίας τεχνικών έργων, μνημείων, κ.α.
- Χαράξεις οδών, σταδίων, γεφυρών, σηράγγων, κ.α.
- Προσδιορισμός θέσης με ακρίβεια και ταχύτητα
- Προσανατολισμός δικτύων, κατασκευών, κ.α.

Όλες οι παραπάνω εργασίες απαιτούν υψηλές προδιαγραφές ακρίβειας και αξιοπιστίας αλλά και ταχύτητας ολοκλήρωσης. Σήμερα στην Ελλάδα ο Τοπογράφος Μηχανικός έχοντας την τεχνογνωσία, το θεωρητικό υπόβαθρο και τον σύγχρονο εξοπλισμό μπορεί περιορίζοντας

σημαντικά τον κόπο και το χρόνο παραμονής στο πεδίο, να εκτελέσει τα έργα αυτά με επιτυχία.

Απαραίτητη βέβαια προϋπόθεση για τη χρήση των σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης είναι ο συστηματικός μετρολογικός έλεγχός τους και η πιστοποίηση της σωστής λειτουργίας τους αλλά και της ορθότητας των μετρήσεων που παρέχουν. Έτσι μόνο διασφαλίζεται η αξιοπιστία των μετρήσεων και η παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Η επιστήμη του Τοπογράφου Μηχανικού στην Ελλάδα ακολουθεί σήμερα μια τροχιά ανάπτυξης που δεν σταματά αλλά χαράσσει το δρόμο για πρωτοποριακές, ευέλικτες, οικονομικές και αξιόπιστες λύσεις στα τεχνικά έργα και κάθε είδους εφαρμογές σύμφωνα με τις απαιτήσεις του 21^{ου} αιώνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ., Μπαλοδήμος Δ. – Δ., *Εισαγωγή στη Γεωδαισία*, Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1988.
2. Balodimos D., *Geodetic Connection between Greece and Italy*, Anno xxxvi, Bollettino di Geodesia e scienze Affini, 1977
3. Βέης Γ., *Η μέτρησης δύο βάσεων εις την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης*, Τεχνικά Χρονικά, Τεύχη 391 – 392, 393 – 394, Αθήνα, 1957.
4. Βλάχος Α., Λάλας Χ., *Μέτρηση μηκών με μεγάλη ακρίβεια – Εγκατάσταση βάσης 150m – Έλεγχος οργάνων E.D.M*, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π, Ε.Γ.Γ., Αθήνα, Μάιος 1981.
5. Βλάχος Δ., *Μαθήματα τοπογραφίας*, Τόμος Α, Θεσσαλονίκη 1979.
6. Burnside C.D., *Electromagnetic distance measurement*, Crosby Lockwood & Son Ltd, 26 Old Brompton Road, London SW7, Great Britain, 1971.
7. Γεωργακόπουλος Κ., *Αρχαίοι Έλληνες Θετικοί Επιστήμονες*, Εκδόσεις Γεωργιάδη, Αθήνα, 1995.
8. Εργαστήριο Γεωδαισίας, *Το θεοδόλιχο και οι εφαρμογές του*, Ε.Μ.Π, Αθήνα, 1977.
9. Δήμος Θεσσαλονίκης, *Το νέον χωροσταθμικόν δίκτυον της πόλεως Θεσσαλονίκης*, Θεσσαλονίκη, 1959.
10. Κατσιμήδης Α., *Στρατιωτική Τοπογραφία*, Εστία, 1907.
11. Λαζαρίμος Ι., *Μαθήματα Τοπογραφίας και Γεωδαισίας*, Αθήνα, 1905
12. Λαμπαδάριος Δ., *Το χωροσταθμικόν Δίκτυον Αθηνών, Προαστείων και Περιχώρων*, Τοπογραφική Υπηρεσία Υπουργείου Συγκοινωνίας, Αθήνα, Ιούλιος 1921.
13. Laurila S., *Electronic Surveying and Navigation*, John Wiley & sons, Inc, 1976
14. Λιβιεράτος Ε., Παπαζήση Κ., *Ανασκόπηση των μεθόδων και οργάνων της Ηλεκτρονικής Γεωδαισίας*, Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος 1972.
15. Μητσακάκη Χρ., Μπαλοδήμος Δ. – Δ., *Αποτελέσματα και ανάλυση των γεωδαιτικών εργασιών για τη μελέτη μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης στην περιοχή του διαύλου Ωρεών*, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1975
16. Μπαλοδήμος Δ. – Δ., *Σημειώσεις Ειδικών Θεμάτων Γεωδαισίας*, Ε.Μ.Π, Αθήνα 1977
17. Μπαλοδήμος Δ. – Δ., *Ανάπτυξη μεθόδου τριγωνομετρικής υψομετρίας για εργασίες υψηλής ακρίβειας*, Τεχνικά Χρονικά, Ιούλ. – Αυγ. – Σεπτ., Αθήνα 1979.
18. Μπαλοδήμος Δ. – Δ., *Υψομετρία*, Ε.Μ.Π, Τ.Α.Τ.Μ, Αθήνα 1972.
19. Παρδάλης Ν., *Μαθήματα Γεωδαισίας (κλασσικής – ηλεκτρονικής)*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1987.
20. Πιερακέας Ν., *Κατωτέρα Γεωδαισία (Γηπεδομετρία, ταχυμετρικοί τριγωνισμοί, πολυγωνομετρία, ταχυμετρία, πίνακες και παραδείγματα)*, Αθήνα 1967.
21. Rüeger J., *Recent developments in electronic distance measurement*, *The Australian Surveyor*, September 1980, Vol.30, No. 3.
22. *Κατάλογος προϊόντων Zeiss*, 2005

23. Κατάλογος προϊόντων Kern, 2005
24. Κατάλογος προϊόντων Leica, 2005
25. Κατάλογος προϊόντων Topcon, 2005.
26. Κατάλογος προϊόντων Trimble, 2005.
27. Κατάλογος προϊόντων Wild, 2005.

Δ.-Δ. Μπαλοδήμος,

Καθηγητής Ε.Μ.Π., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, Τηλέφωνο: 00302107722721, Fax : 00302107722728, Email : dionbal@central.ntua.gr

Ε. Λάμπρου

Διδάκτορας Μηχανικός Ε.Μ.Π., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, Τηλέφωνο: 00302107722737, Fax : 00302107722728, Email : litsal@central.ntua.gr

Γ. Πανταζής,

Διδάκτορας Μηχανικός Ε.Μ.Π., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80, Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου, Τηλέφωνο: 00302107722696, Fax : 00302107722728, Email : gpanta@central.ntua.gr

The evolution of the terrestrial conventional geodetic instruments the 20th century in Greece

ABSTRACT

The geodesy science in Greece, as well as worldwide, is strongly corrected with the use of the appropriate geodetic measuring instruments.

In this paper an historical retro gradation is done. A registration of the conventional terrestrial geodetic instruments used mainly during the 20th century was carried out.

The goal of this effort is the registration of the basic operation principles of these instruments which are measuring, distances, directions (bearings) angles and height differences. Also their evolution and their comparison are reported during a century.

The particularities of their use and their advantages are elevated. Their continuous improvements facilitate the surveying engineers in their works, saving time and high accuracy in the measurements.

Moreover, the benefits of this evolution in the research development and the enlargement of the application fields of the science of geodesy are register.