ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΟΠΤΡΑ ΣΤΗΝ ΟΘΟΝΗ ΑΦΗΣ ΟΙ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Γεώργιος Πανταζής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
e-mail: gpanta@central.ntua.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή και καταγραφή της εξέλιξης των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης γωνιών και μηκών, σε Παγκόσμιο επίπεδο, ξεκινώντας από τη διόπτρα και καταλήγοντας στα συστήματα μέτρησης που πραγματοποιούν αυτόματη σκόπευση ή δεν έχουν πια τηλεσκόπιο και λειτουργούν με οθόνη αφής.

Ξεκινώντας από την εποχή του Ήρωνα του Αλεξανδρέα, το 120 π.Χ, ο οποίος κατασκεύασε τον πρώτο όργανο μέτρησης γωνιών, περνώντας από την εποχή κατασκευής και λειτουργίας των μηχανικών θεοδολίχων (1730), αργότερα των οπτικομηχανικών θεοδολίχων (1926), των ηλεκτρονικομαγνητικών οργάνων μέτρησης μηκών – EDM (1957) φθάνουμε στη σημερινή εποχή της μέτρησης γωνιών και μηκών χρησιμοποιώντας σύγχρονα συστήματα μέτρησης, που μετρούν μήκη με ή χωρίς ανακλαστήρας έως μερικά mμ, γωνίες με υψηλή ακρίβεια, ενώ η σκόπευση γίνεται μέσω κάμερας από ψηφιακή οθόνη.

Αναδεικνύονται οι ιδιαιτερότητες χρήσης τους και τα πλεονεκτήματα που προσέφερε η διαρκής βελτίωσή τους στο χρόνο και στην ακρίβεια εκτέλεσης των έργων του Τοπογράφου Μηχανικού. Αναφέρονται επίσης οι σύγχρονες εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται τα συστήματα αυτά και οι απαιτήσεις τους σε ακρίβεια και αξιοπιστία που σήμερα φτάνουν τα μερικά μm.

Διαπιστώνεται ολοκληρωτικό έλλειμμα θεσμοθετημένων σύγχρονων διαδικασιών ελέγχου και διακρίβωσης, οι οποίες δεν μπόρεσαν να ακολουθήσουν ταυτόχρονα την ραγδαία εξέλιξη των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης έτσι είναι άμεση ανάγκη η προσαρμογή – αναδιαμόρφωση αλλαγή των διαδικασιών ελέγχου και η αναβάθμισή τους σε διαδικασίες ελέγχου –διακρίβωσης.

Στόχος είναι η ανάδειξη της ανάγκης εκσυγχρονισμού των διαδικασιών ελέγχου των συστημάτων αυτών αλλά και του ελλείμματος σε σύγχρονες και αξιόπιστες διαδικασίες διακρίβωσής τους με σκοπό την άμεση μελέτη και ορισμό νέων που θα εξασφαλίζουν την ακρίβεια την ορθότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων εργασιών και προϊόντων.

Λέξεις-Κλειδιά: *γεωδαιτικά συστήματα μέτρησης, μέτρηση γωνιών, μέτρηση μηκών, διόπτρα, θεοδόλιχο, ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός, οθόνη αφής, διακρίβωση, έλεγχος.*

FROM DIOPTRA TO THE TOUCH SCREEN THE METROLOGICAL REQUIREMENTS OF THE MODERN GEODETIC MEASURING SYSTEMS

Abstract

In this work initially a historical retrospection and recording of the evolution of geodetic measuring systems is carried out at a global level. This retrospection starts from dioptra and ends to the modern measuring systems that perform automatic aiming or they have no telescope as operate via a touch screen.

This historical retrospection starts from the time of Heron of Alexandria, in 120 BC, who invented the first instrument for measuring angles, after to the time of the manufacture and operation of mechanical theodolites (1730) and later to the period of the optomechanical theodolites (1926), and the electromagnetic distance measuring instruments (1957). Finally we arrive nowadays at the time of measuring angles and distances by using modern measuring systems that measure distances with reflector or reflectorless with accuracy up to few mμ and angles with high precision while aiming through a digital camera and communicate via a touch screen.

The particularities of the use of the modern geodetic measuring systems are highlighted and also the advantages that offered their continuous improvement over time to the accuracy of the implementation of the survey Engineers fieldworks are mentioned. Also the modern applications where these systems are used and their requirements for precision and reliability, which now reach the few μm are referred.

A total deficit of institutionalized modern check and calibration procedures is noted. The check procedures could not simultaneously follow the rapid evolution of geodetic measurement systems, so it is immediately necessary to adapt and to modify the control procedures and to upgrade them to control-calibration procedures.

The aim is to highlight the need to modernize the procedures for the control of the modern geodetic measuring systems and the lack of modern and reliable procedures for their calibration in order to directly study and define new ones that will guarantee the accuracy, the reliability and the quality of the provided by the survey engineers works and products.

Key-words: modern geodetic measuring systems, angle measuring, distance measuring, dioptra, theodolite, touch screen, check procedure ,calibration procedure.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προσδιορισμός του σχήματος και του μεγέθους της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας (ΦΓΕ), αλλά και όλων των κατασκευών (φυσικών & τεχνητών έργων) που βρίσκονται πάνω σε αυτή, είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη χρήση γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης.
Τα συστήματα αυτά, από τα πιο απλά έως και τα πιο σύνθετα, εμφανίστηκαν στη ζωή του ανθρώπου, σχεδόν από την έναρξη της παρουσίας του στη γη, εξελίχτηκαν σύμφωνα με την πρόοδο της τεχνολογίας διαχρονικά ενσωματώνοντας νέες δυνατότητες κάθε φορά που αποσκοπούν στη βελτίωση της ακρίβειας μέτρησης μεγεθών όπως μήκος, γωνίες, υψομετρικές διαφορές, βαρύτητα, χρόνος.

Γεώργιος Πανταζής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Από τη διόπτρα στην οθόνη αφής
Οι μετρολογικές απαιτήσεις των σύγχρονων γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης
7ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Πολεμικό Μουσείο, Αθήνα, 11-12 Μαΐου 2018

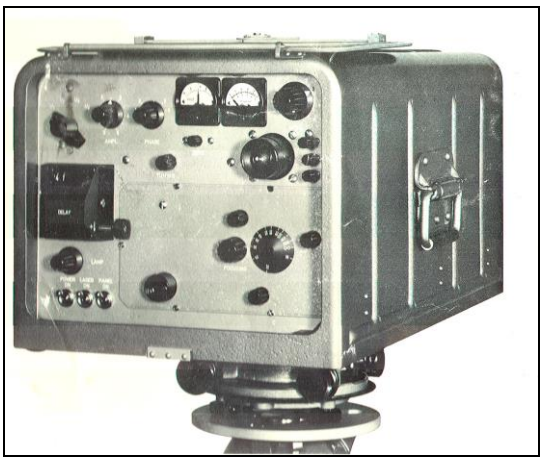
Η δημιουργία των συστημάτων μέτρησης στην Επιστήμη της Γεωδαισίας, βελτίωσε το επάγγελμα του Τοπογράφου Μηχανικού, ο οποίος καλείται πάντα να ορίσει με γεωμετρική ορθότητα & πληρότητα, τη φυσική πραγματικότητα, δημιουργώντας διαγράμματα και τριδιάστατα μοντέλα.
Ακόμη σήμερα η ακρίβεια μέτρησης των συστημάτων αυτών δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της μεταβολής της θέσης κάθε σημείου πάνω στη γη καθώς και της κατασκευής εντυπωσιακών τεχνικών έργων που βοηθούν στην ανάπτυξη και την πρόοδο.
Η εξέλιξη των συστημάτων μέτρησης, ήταν φυσικό να ακολουθήσει κάθε χρονική περίοδο και την εξέλιξη της τεχνολογίας στο πέρασμα των χρόνων, ενώ έχει γνωρίσει ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία 20 χρόνια.
Από τα απλά συστήματα μέτρησης όπως το σχοινίο, ή την κάλαμο (στην αρχαία Αίγυπτο), τη διόπτρα (πρόδρομος του θεοδολίχου και των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών), που μετρούσε οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, περάσαμε στα ηλεκτρομαγνητικά όργανα μέτρησης μηκών (EDM) για να φτάσουμε στις μέρες μας στα σύγχρονα συστήματα μέτρησης που δεν διαθέτουν πια τηλεσκόπιο και λειτουργούν με οθόνη αφής.
Η εξέλιξη αυτή, έκανε και κάνει επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας νέων διαδικασιών και προτύπων μετρολογικού ελέγχου των συστημάτων αυτών, ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα και η παρεχόμενη αβεβαιότητα των μετρούμενων μεγεθών.
Είναι προφανές λοιπόν ότι ο κλάδος της Γεωδαιτικής Μετρολογίας (που ασχολείται με τη δημιουργία διαδικασιών και προτύπων που σχετίζονται με γεωδαιτικά όργανα μέτρησης) πρέπει να βρίσκεται αντίστοιχα σε μια διαρκή διαδικασία εξέλιξης και αναβάθμισης των διαδικασιών ελέγχου και διακρίβωσης των συστημάτων αυτών προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθότητα των μετρήσεων.

2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΩΝ

Η μέτρηση του μήκους (ή απόστασης) μεταξύ δύο σημείων της ΦΓΕ ήταν μια βασική αλλά και επίπονη εργασία. Τα σημεία αυτά μπορεί να απέχουν μεταξύ τους από μερικά μέτρα έως μερικά Km.
Η αρχαιότερη μαρτυρία για την άμεση μέτρηση της απόστασης είναι αυτή του Ήρωνα του Αλεξανδρέα, όπου αναφέρεται ότι για τη μέτρηση της απόστασης από τους Αιγύπτιους και πιθανότατα από τους Βαβυλώνιους και τους Κινέζους, χρησιμοποιείται το σχοινίο ή αρπεδόνη, χωρισμένο με κόμβους σε ίσα διαστήματα και ειδικά επεξεργασμένο ώστε να μην αυξομειώνεται το μήκος του. Από τον 8^{ο} αιώνα π.Χ χρησιμοποιείται από τους Έλληνες και η μετρητική άλυσις, σειρά μεταλλικών κρίκων συνδεδεμένων μεταξύ τους ώστε να αποτελούν ένα συνεχές και εύκαμπτο σύνολο [Ρωσσικόπουλος Δ., 2006]. 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. Αργότερα (1739 μ.Χ) αντικαταστάθηκαν με άλλους από σίδερο με γνωστό συντελεστή διαστολής. Για την άμεση μέτρηση μικρών μηκών σε όλη τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μετροταινίες (χαλύβδινες, λινές ή κατασκευασμένες από υλικό Fiberglass). Γύρω στο 1995 κυκλοφόρησαν στην αγορά και

ηλεκτρονικές μετροταινίες, οι οποίες έχουν δυνατότητα μέτρησης μήκους μέχρι 50m με ακρίβεια ±1cm και την εξαγωγή της σε ψηφιακή οθόνη. [Λάμπρου Ε, Πανταζής Γ., 2010]
Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια προσδιορισμού του μήκους με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έγινε κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όταν ο Hartl παρουσίασε τη συσκευή Radar. Με τη συσκευή αυτή προσδιορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένας μεμονωμένος παλμός για να διατρέξει το ζητούμενο μήκος. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας την ταχύτητα διάδοσης του παλμού, ο χρόνος μετατρέπεται σε μήκος. Η αβεβαιότητα 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 των γεωδαιτικών εφαρμογών. 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 μετρήθηκαν μήκη της τάξης των 400Km.

Εικόνα 1 το Τελλουρόμετρο



Εικόνα 2 Το γεωδίμετρο AGA 6

Το 1957 κατασκευάσθηκε στη Νότιο Αφρική από τον Wadley το Τελλουρόμετρο (εικόνα 1). Το βεληνεκές του έφθανε τα 150km και η αβεβαιότητα της μέτρησης είναι $\pm 3\text{cm} \pm 3 \cdot 10^{-5} \cdot D$. Το 1965 χρησιμοποιείται σε μετρήσεις μηκών το όργανο μεγάλου βεληνεκούς, γεωδίμετρο AGA 6 (εικόνα 2). Η αρχή λειτουργίας του γεωδιμέτρου βασιζόταν στη συνεχή εκπομπή ορατού φωτός, το βεληνεκές του κυμαινόταν από 5km (την ημέρα) έως 25km (την νύκτα), με αβεβαιότητα ±10mm ± 2ppm και μια πλήρης μέτρησης διαρκούσε από 5 έως 10 min.
Η ανάπτυξη και χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού τα επόμενα χρόνια εκτόπισε τη χρήση των οργάνων μεγάλου βεληνεκούς, που δεν ήταν πια απαραίτητα αφού μεγάλα μήκη πολλών Km μετρούνταν πιο εύκολα και με μικρότερα σφάλματα.
Για το λόγο αυτό δεν εξελίχθηκε η τεχνολογία κατασκευής και λειτουργίας τους και το ενδιαφέρον εστιάστηκε στην κατασκευή οργάνων μέτρησης μήκους μικρού βεληνεκούς με μικρότερη αβεβαιότητα. Στα τέλη της δεκαετίας του ′60 κατασκευάζονται όργανα μικρότερα σε μέγεθος και βάρος από τα προηγούμενα που έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, γνωστά ως EDM (Electromagnetic Distance Measurement). Τα όργανα αυτά προσαρμόζονταν σε οπτικομηχανικά θεοδόλιχα και το βεληνεκές τους (ανάλογα με τους χρησιμοποιούμενους ανακλαστήρες) έφθανε τα 3Km με σφάλμα στη μέτρηση του μήκους της τάξης του ±1cm.

3. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΩΝΙΩΝ

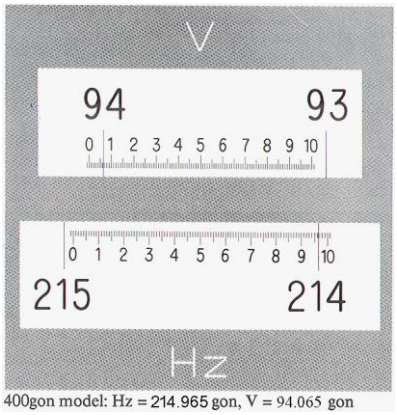
Ο προσδιορισμός της θέσης σημείων που βρίσκονται στη ΦΓΕ αλλά και ο προσανατολισμός των κατασκευών βασίζεται σε μετρήσεις διευθύνσεων και γωνιών. Η χρήση και η εξέλιξη των συστημάτων μέτρησης γωνιών καθορίζει τόσο την ορθότητα πραγματοποίησης Τοπογραφικών – Γεωδαιτικών εργασιών όσο και την ακρίβειά τους.
Η ιστορία των οργάνων μέτρησης διευθύνσεων και γωνιών, ξεκινά περίπου το 120 π.Χ, όταν ο Ήρωνας ο Αλεξανδρέας έγραψε σύγγραμμα στο οποίο περιγράφεται η κατασκευή του πρώτου γεωδαιτικού οργάνου, της διόπτρας (εικόνα 3).
Με το όρο διόπτρα (δι(α)-οπτεύω), είναι γνωστό το σκοπευτικό σύστημα που χρησιμοποιούσαν οι Έλληνες αστρονόμοι και γεωδαίτες [Ρωσσικόπουλος Δ., 2006]. Η διόπτρα αποτελείτο από μια βάση σε σχήμα μικρού στύλου, που στο πάνω μέρος της φέρει ένα στρογγυλό άξονα, γύρω από τον οποίο προσαρμόζεται ένας χάλκινος δίσκος. Στον ίδιο άξονα προσαρμόζεται ένας χάλκινος κυλινδρικός δακτύλιος που μπορεί να περιστρέφεται χαλαρά γύρω από αυτόν. Η χάραξη των γραμμικών και κυκλικών κλιμάκων γινόταν με απλές γεωμετρικές κατασκευές. Ο κύκλος χωριζόταν σε έξι τμήματα των 60°, στη συνέχεια με διχοτόμηση το κάθε τμήμα σε δύο των 30°, των 30° σε δύο των 15° και κάθε τμήμα των 15° χαρασσόταν με δοκιμές και επαναλήψεις. Η ακρίβεια ήταν ανάλογη της εμπειρίας και της ικανότητας του χαράκτη. Με τη διόπτρα ήταν δυνατή η χάραξη ευθυγραμμιών, ορθών γωνιών, η κατασκευή ομοίων τριγώνων, η σκόπευση αστέρων για την εκτέλεση αστρονομικών παρατηρήσεων.

Εικόνα 3 Η διόπτρα

Εικόνα 4 Το θεοδόλιχο Sisson

Στις αρχές του 16ου αιώνα, κατασκευάστηκε το τηλεσκόπιο, ενώ το 1730 μ.Χ ο Άγγλος μηχανικός Sisson κατασκεύασε το πρώτο γωνιομετρικό όργανο στο οποίο έδωσε το όνομα "Theodolitus" (εικόνα 4). Η λέξη είναι ελληνική και προέρχεται από το ρήμα "θεώμαι" (παρατηρώ, εξετάζω με προσοχή) και το επίθετο "δολιχόν" (μακρύ, επίμηκες).
Το 1926 ο Ελβετός γεωδαίτης Heinrich Wild κατασκεύασε το παγκόσμια γνωστό οπτικομηχανικό θεοδόλιχο Wild T2 Universal Theodolite. Είναι γωνιομετρικό όργανο απόδοσης 1^{cc} και ακρίβειας $\pm 2.5^{cc}$. Γενικότερα, τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα διέφεραν από τα προηγούμενα μηχανικά, στο ότι ήταν πιο συμπαγή, έφεραν ενσωματωμένους τους δύο δίσκους παραγωγής των μετρήσεων διευθύνσεων (ο οριζόντιος δίσκος βρίσκεται στη βάση του οργάνου, ενώ ο δεύτερος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή μετρήσεων

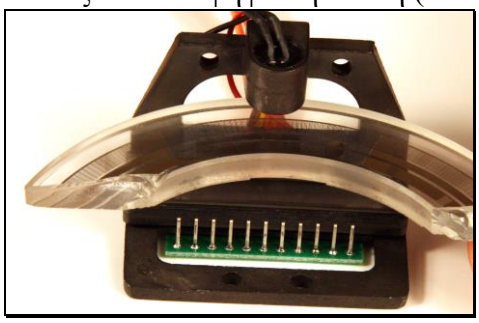
Εικόνα 5 Το οπτικομηχανικό θεοδόλιχο DKM2-A



Εικόνα 6 Οπτικό σύστημα ανάγνωσης οριζόντιων & κατακόρυφων διευθύνσεων

κατακόρυφων διευθύνσεων, βρίσκεται στο πάνω μέρος, (εικόνα 5). Επίσης έφεραν ειδικά προσοφθάλμια και οπτικά συστήματα (μικρόμετρα) ανάγνωσης των μετρήσεων (εικόνα 6). Εξέλιξη των οπτικομηχανικών θεοδολίχων είναι τα ψηφιακά θεοδόλιχα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ελάχιστα, αφού η εξέλιξη της τεχνολογίας πολύ γρήγορα τα ενσωμάτωσε στους σύγχρονους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (total stations) που μετρούν ταυτόχρονα και μήκη [Μπαλοδήμος κ.α, 2005]

Με τη χρήση των οργάνων αυτών εξαλείφεται το σφάλμα βαθμονόμησης σε συγκεκριμένο σημείο των δίσκων που πιθανόν είχαν τα παλαιότερα γωνιομετρικά όργανα. Οι αναγνώσεις των διευθύνσεων δεν γίνονται πια χρησιμοποιώντας χαραγμένη κλίμακα σε γυάλινους δίσκους που έφεραν τα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα, αλλά λαμβάνονται από ραβδόγραμμους κωδικοποιημένους γυάλινους δίσκους που φέρουν ενσωματωμένο κώδικα (εικόνα 7), ο οποίος αντιστοιχεί σε τιμές διευθύνσεων. Οι αναγνώσεις των περιοχών του δίσκου γίνονται από ειδικούς ηλεκτρονικούς αισθητήρες και ακολούθως υπολογίζονται οι τιμές, με μαθηματική ανάλυση των σημάτων που λαμβάνονται. Οι σταθμοί ανάλογα με την ποιότητά τους και την παρεχόμενη αβεβαιότητα διαθέτουν από έναν έως δύο τέτοιους αισθητήρες για κάθε δίσκο (οριζόντιο και κατακόρυφο). Οι μετρήσεις των διευθύνσεων και των μηκών πραγματοποιούνται αυτόματα και παρουσιάζονται σε ψηφιακή οθόνη (εικόνα 8).



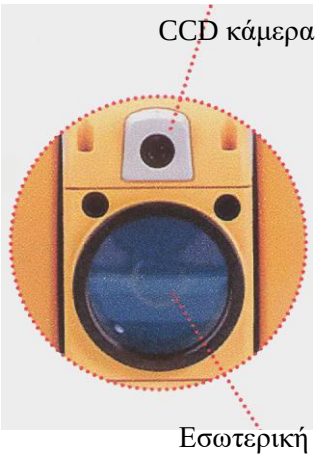
Εικόνα 7 Τμήμα δίσκου – αισθητήρας ανάγνωσης

Εικόνα 8 Μορφή οθόνης Total station

Στην αρχή του 21ου αιώνα γίνεται μια ακόμη επανάσταση στα συστήματα αυτά, αφού κάνουν την εμφάνισή τους οι εικονογεωδαιτικοί σταθμοί (Image Assisted Total Station), οι οποίοι φέρουν ενσωματωμένη μια CCD κάμερα υψηλής ανάλυσης στο κέντρο του

τηλεσκοπίου τους και μια δεύτερη εξωτερική παράλληλα τοποθετημένη λίγο πιο πάνω στο τηλεσκόπιο (εικόνα 9). Η εικόνα που βλέπει το τηλεσκόπιο του γεωδαιτικού σταθμού μεταφέρεται στην οθόνη του, που διαθέτει σταυρόνημα συμβατό με αυτό του τηλεσκοπίου. Έτσι η σκόπευση του σημείου μπορεί να γίνει μέσω της οθόνης σε κατάλληλη μεγέθυνση του αντικειμένου που κρίνει ο χρήστης, ώστε να είναι ακριβής και επιθυμητή. Ακόμη είναι δυνατή η ταυτόχρονη λήψη εικόνων για κάθε σημείο που μετράται, οι οποίες αποθηκεύονται ταυτόχρονα με τις μετρήσεις στον Η/Υ του σταθμού.

Εικόνα 9 Ο εικονογεωδαιτικός σταθμός GPT-7000ιτης εταιρείας Topcon



Εικόνα 10 Ο γεωδαιτικός σταθμός Trimble SX10

Σήμερα (2018) η εξέλιξη αυτών των συστημάτων οδήγησε στη κατάργηση του τηλεσκοπίου και έχουμε τον πρώτο σταθμό χωρίς τηλεσκόπιο, όπου η σκόπευση ενός σημείου πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μόνο την οθόνη αφής. Τέτοιος σταθμός είναι ο Trimble SX10 (εικόνα 10), στον οποίο ενσωματώνονται τα χαρακτηριστικά ενός ταχύτατου και αξιόπιστου σαρωτή, για λεπτομερείς αποτυπώσεις μέσω κάμερας και οι δυνατότητες μέτρησης ενός υψηλής ακρίβειας γεωδαιτικού σταθμού. Έχει βάρος 8Kgr, διαθέτει σύστημα wi-fi, Camera 5 Mp (2592×1944) ,κάμερα κέντρωσης και έχει δυνατότητα μέτρησης μήκους με και χωρίς ανακλαστήρα με ακρίβεια ±1mm & ±2mm, αντίστοιχα [Trimble, 2016].

Τέλος για εφαρμογές με απαιτήσεις ακριβείας μερικών μm έχουν αναπτυχτεί συστήματα Laser Tracker όπως το σύστημα Leica Absolute Tracker AT403 το οποίο είναι ένα φορητό σύστημα μέτρησης 3D συντεταγμένων (εικόνα 11). Ο συνδυασμός του AT 403 με το αντίστοιχο λογισμικό Spatial Analyzer δίνει τη δυνατότητα ολοκληρωμένων βιομηχανικών μετρήσεων υψηλής ακρίβειας με ασύλληπτη ταχύτητα σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας, ναυπηγικής, αεροναυπηγικής, αυτοκινητοβιομηχανίας, παραγωγής ενέργειας κ.α.

Με εμβέλεια έως 160μ (χωρίς την ανάγκη χρήσης καλωδίων) και ακρίβεια της τάξης των 5μm οι χρήστες είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν γεωμετρικούς ελέγχους με αυτόματη σκόπευση ειδικού πρίσματος ,όπως έλεγχο υποδομών, έλεγχο συναρμολόγησης, έλεγχο επιπεδότητας – ευθυγράμμισης σε μηχανολογικές εφαρμογές, παρέχεται η δυνατότητα χάραξης κρίσιμων σημείων κ.α. [http://www.creativeinfocom.com/pdfs/leica-absolute-tracker-at403-brochure.pdf].

Εικόνα 11 Το σύστημα Leica Absolute Tracker AT403

4. Η ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Η εξέλιξη των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης μηκών και γωνιών όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους επηρέασε καταλυτικά και την παρέμβαση – συμβολή της Γεωδαισίας στα έργα μηχανικού σε παγκόσμιο επίπεδο.
Αντίστοιχα οι διαδικασίες ελέγχου και διακρίβωσης των συστημάτων μέτρησης αναγκάστηκαν να ακολουθήσουν την εξέλιξη αυτή προκειμένου να εξασφαλίσουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και προϊόντων.
Έτσι από το 1976 ο Γερμανικός οργανισμός για την τυποποίηση, δημοσιεύει το πρότυπο DIN 6403 (Measuring Tapes of Steel With Winder Frames or Winder Cases) που διαπραγματευόταν τον έλεγχο τον μεταλλικών μετροταινιών. [Νικολίτσας Κ., 2015]
Σήμερα για τον έλεγχο χρησιμοποιούνται τα πρότυπα ISO 17123 (μέρος 1 έως 8) που έχουν ως πηγή τα γερμανικά πρότυπα DIN 18723 (μέρος 1 έως 8). Συγκεκριμένα:

- ISO 17123–1: 2001: Περιέχει τη θεωρία για όλους τους τύπους ελέγχου
- ISO 17123–2: 2001: Περιέχει το πρότυπο ελέγχου για τους χωροβάτες
- ISO 17123–3: 2001: Περιέχει το πρότυπο ελέγχου για τα θεοδόλιχα
- ISO 17123–4: 2001: Περιέχει το πρότυπο ελέγχου για τα EDM
- ISO 17123–5: 2005: Καθορίζει τις διαδικασίες πεδίου που πρέπει να υιοθετούνται όταν προσδιορίζεται και αξιολογείται η ακρίβεια των ηλεκτρονικών ταχυμέτρων και του βοηθητικού εξοπλισμού
- ISO 17123–6: 2003: Περιέχει το πρότυπο ελέγχου για τα περιστρεφόμενα Laser.
- ISO 17123–7: 2005: Περιέχει το πρότυπο για τον έλεγχο των οπτικομηχανικών οργάνων (Optical Plumbing Instruments)
- ISO 17123 – 8: 2007: Περιέχει το πρότυπο για τον έλεγχο GNSS συστήματα μετρήσεων πεδίου σε πραγματικό χρόνο (RTK) (GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK))

Είναι προφανές ότι από τα υπάρχοντα ISO, απουσιάζουν πρότυπα ελέγχου των σύγχρονων εικονογεωδαιτικών σταθμών αλλά και των laser trackers. Είναι επιβεβλημένη η ανάγκη δημιουργίας ISO, που θα εξετάζει και θα ελέγχει την ορθότητα της εικονοσκόπευσης ή της αυτόματης σκόπευσης. Πρέπει να μελετηθούν, διαδικασίες που θα

ορίζουν τους κατάλληλους τύπους στόχων, το μέγεθος των εικονοστοιχείων, τα λογισμικά αναγνώρισης και ανάλυσης των στόχων, κ.α.
Επίσης μια αδυναμία των υπαρχόντων προτύπων είναι ότι ελέγχουν μόνο την εσωτερική ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης, απαντώντας στο ερώτημα ποια είναι η παρεχόμενη ακρίβεια και αν αυτή βρίσκεται εντός των ορίων που ο κατασκευαστής ορίζει.
Τι συμβαίνει όμως με την εξωτερική ακρίβεια- ορθότητα των μετρήσεων?
Ουσιαστικά τι γίνεται με τη διακρίβωση τέτοιων οργάνων?
Σήμερα τα σύγχρονα αυτά συστήματα χρησιμοποιούνται για πλήθος άλλων βαθμονομήσεων , διακριβώσεων και ειδικών εφαρμογών όπως :

- για τη βαθμονόμηση κατακόρυφων κυλινδρικών δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων (ISO 7507-2). Η βαθμονόμηση αυτή βασίζεται στην ορθή ακριβή μέτρηση γωνιών & μηκών. [ISO 7507-2, 2000]
- για τη βαθμονόμηση οριζόντιων κυλινδρικών δεξαμενών αποθήκευσης καυσίμων (ISO 12917-2). Μάλιστα σήμερα με τη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών που μετρούν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, αυτές οι διαδικασίες γίνονται ταχύτερες και απλούστερες. [ISO 12917-2, 2002]
- στην πιστοποίηση πισίνων, ολυμπιακών προδιαγραφών σύμφωνα με τη Διεθνή Ομοσπονδία Κολύμβησης (FINA). [http://www.usaswimming.org/_Rainbow/Documents/d3e05e6f-d63f-4522-8d85-1bd1407f5b3f/USA%20Swimming%20pool%20measurement%20July%202010.pdf]
- εργασίες υψηλής ακρίβειας κατασκευής, παρακολούθησης και χαράξεων στο ερευνητικό κέντρο CERN, τούνελ, σιδηροδρομικές γραμμές υψηλών ταχυτήτων, πυρηνικούς αντιδραστήρες, χαράξεις σταδίων, μετρήσεις αθλητικών επιδόσεων και παγκόσμιων record κλπ.

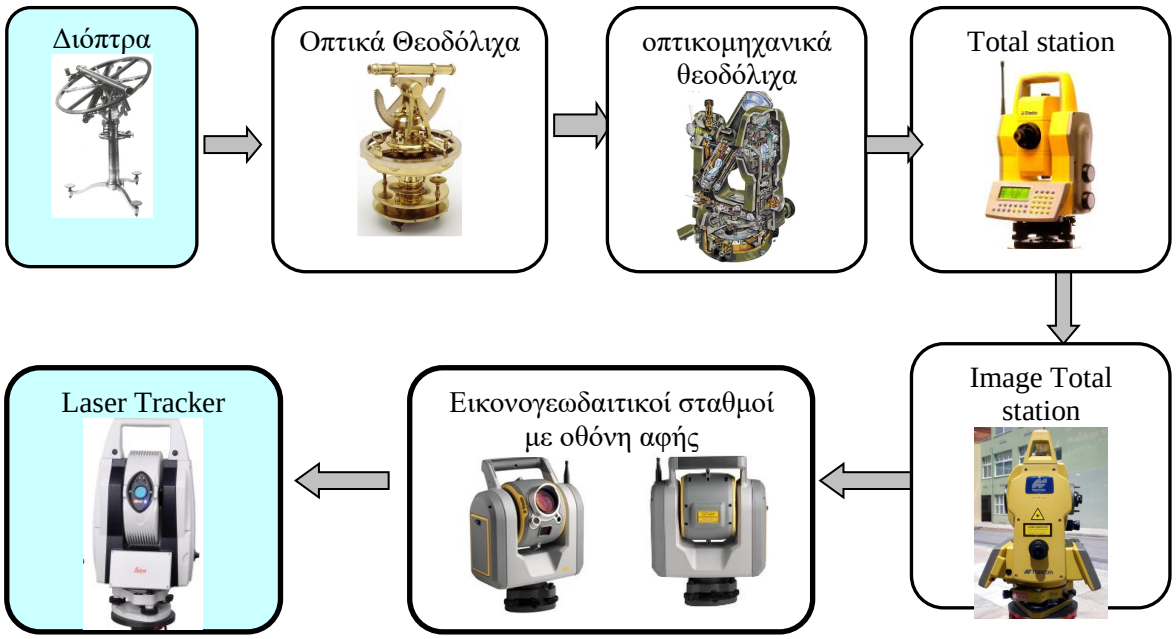
Είναι απαραίτητο λοιπόν, με τη χρήση ορισμένων ολοκληρωμένων συστημάτων αναφοράς να γίνεται ο έλεγχος των άλλων συστημάτων μέτρησης μηκών και γωνιών μικρότερης ακρίβειας σύμφωνα με τα οριζόμενα στα ISO 17123-4 [ISO 17123-4] και ISO 17123–3 [ISO 17123-3].

Επίσης πρέπει να αναπτυχτούν άμεσα εργαστηριακές διαδικασίες διακρίβωσης των συστημάτων αυτών ώστε να επιβεβαιώνεται και η ορθότητα των μετρήσεων τους και επομένως να εξασφαλίζεται η ποιότητα των παρεχομένων προϊόντων και υπηρεσιών.
Αυτό απαιτεί

- τη δημιουργία εσωτερικών και εξωτερικών πεδίων διακρίβωσης και ελέγχου γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης, προκειμένου αυτά να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες Τοπογράφου Μηχανικού
- τη θεσμοθέτηση των Εργαστηριακών διαδικασιών διακρίβωσης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε συστηματικά η εξέλιξη των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης γωνιών και μηκών, από τη διόπτρα έως την οθόνη αφής με σκοπό την ανάδειξη της ανάγκης προσαρμογής των μετρολογικών διαδικασιών ελέγχου τους, προκειμένου να εξασφαλίζεται η υψηλή ακρίβεια και ποιότητα των προϊόντων που απαιτούν τα τεχνικά έργα σήμερα.
Η διαχρονική καταγραφή των σημαντικότερων μεταβολών παρουσιάζεται στην εικόνα 12 που ακολουθεί.



Εικόνα 12. Η εξέλιξη των συστημάτων μέτρησης γωνιών & μηκών

Η εξέλιξη αυτή καθόρισε σημαντικά τη συμβολή του Τοπογράφου Μηχανικού σε έργα υποδομής ,ελέγχου μετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης ή και κατασκευών (Ιερό Κουβούκλιο Παναγίου Τάφου, γέφυρες, φράγματα, μεταλλικές κατασκευές, κ.α) και τεχνικά έργα ιδιαίτερης σημασίας, ακρίβειας και τεχνολογίας.
Είναι άμεση ανάγκη η προσαρμογή – αναδιαμόρφωση αλλαγή των διαδικασιών ελέγχου και η αναβάθμισή τους σε διαδικασίες ελέγχου –διακρίβωσης.
Διαπιστώνεται παγκόσμιο ολοκληρωτικό-συνολικό έλλειμμα θεσμοθετημένων σύγχρονων διαδικασιών ελέγχου και διακρίβωσης, οι οποίες δεν μπόρεσαν να ακολουθήσουν ταυτόχρονα την ραγδαία εξέλιξη των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης.
Είναι προφανές ότι προηγείται η εξέλιξη των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης αλλά σήμερα που το mμ είναι πλέον μετρήσιμο με τα γεωδαιτικά συστήματα και απαιτείται ως ακρίβεια πρέπει να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία μέτρησής του.
Απαιτείται λοιπόν να θεσμοθετηθεί ο συστηματικός μετρολογικός έλεγχός και η διακρίβωση των γεωδαιτικών συστημάτων μέτρησης, ώστε να εξασφαλίζεται η ακρίβεια και η ορθότητα – αξιοπιστία που παρέχουν στη μέτρηση γωνιών και μηκών και επομένως να εξασφαλίζεται η ποιότητα των παρεχομένων προϊόντων και υπηρεσιών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. International Standard Organization ISO – 17123 – 3, *"Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments, Part 3:Theodolites, First edition"*, 2001
2. International Standard Organization, ISO 17123-4, First edition 2001-12-01, *"Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments —Part 3: Electro-optical distance meters (EDM instruments)"*, Reference number ISO 17123-4:2001(E)

3. International Standard Organization, ISO 17123-8 *"Optics and optical instruments- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments- Part 8:GNSS filed measurement systems in real-time kinematic (RTK) ",* 2007
4. International Standard Organization, ISO 7507-2, First edition 2000-07-01,*"Petroleum and liquid petroleum products-Calibration of vertical cylindrical tanks",* 2000
5. International Standard Organization, ISO 12917-2, First edition 2002-09-15,*"Petroleum and liquid petroleum products-Calibration of horizontal cylindrical tanks",* 2002
6. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ.,*"Εφαρμοσμένη Γεωδαισία"*, ISBN 978-960-456-205-3, Μάρτιος 2010
7. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *"Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20ο αιώνα στην Ελλάδα"*, Επιστημονικό Συνέδριο, Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη, 2005.
8. Νικολίτσας Κ. *"Ανάπτυξη Εργαστηριακών Μεθοδολογιών Διακρίβωσης Ψηφιακών Γεωδαιτικών Οργάνων"*. Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2015
9. Ρωσσικόπουλος Δ., *"Μέτρον Γεωμετρικόν, Η ιστορία των επιστημών της αποτύπωσης"*, Εκδόσεις Ζήτη, ISBN 960-456-009-3, 2006.
10. Trimble Inc, ″Datasheet, Trimble SX10 Scanning Total Station″, 2016
11. http://www.usaswimming.org/_Rainbow/Documents/d3e05e6f-d63f-4522-8d85-1bd1407f5b3f/USA%20Swimming%20pool%20measurement%20July%202010.pdf
12. http://www.creativeinfocom.com/pdfs/leica-absolute-tracker-at403-brochure.pdf