ΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Γεώργιος Πανταζής
e-mail: gpanta@central.ntua.gr

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Η εξέλιξη των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης στο παγκόσμιο στερέωμα τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια είναι ραγδαία. Από τα απλά όργανα μέτρησης αποστάσεων (μετροταινίες), διευθύνσεων (θεοδόλιχα), υψομετρικών διαφορών (οπτικομηχανικοί χωροβάτες), έγινε η μετάβαση σε όργανα – συστήματα που μπορούν να μετρούν μήκη, διευθύνσεις και υψομετρικές διαφορές, με ψηφιακές διαδικασίες (ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, ψηφιακοί χωροβάτες) ενώ σημαντική και καθοριστική είναι και η ανάπτυξη των συστημάτων δορυφορικού εντοπισμού (GNSS).
Ποια είναι όμως η αντίστοιχη υποστήριξη στην Ελλάδα σήμερα στον τομέα ελέγχου και διακρίβωσης των χρησιμοποιούμενων γεωδαιτικών οργάνων και του παρελκόμενου εξοπλισμού τους?
Τι ορίζει η νομοθεσία για την χρήση των οργάνων αυτών στην κατασκευή τεχνικών έργων και στις Τοπογραφικές μελέτες (π.χ μελέτες κτηματολογίου)?
Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η καταγραφή εργαστηρίων ελέγχου και διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων στον ελλαδικό χώρο.
Η εργασία επιχειρεί να καταγράψει τις υπάρχουσες υποδομές, ανατρέχοντας παράλληλα και στα αντίστοιχα διαδραματιζόμενα στον Ευρωπαϊκό και στον Παγκόσμιο χώρο.
Προφανώς ο στόχος είναι μέσα από αυτή την καταγραφή, να αναγνωριστούν τα προβλήματα, οι ελλείψεις αλλά κυρίως να αναδειχθεί ο ρόλος των διαπιστευμένων εργαστηρίων διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων, σήμερα, που η χρήση τέτοιων σύνθετων συστημάτων μέτρησης είναι ευρεία και μάλιστα από χρήστες πολλές φορές μη έμπειρους.
Απώτερος σκοπός είναι η ευαισθητοποίηση τόσο των δημόσιων (Πανεπιστήμια) όσο και ιδιωτικών φορέων (εταιρείες προμήθειας γεωδαιτικών οργάνων), ώστε να δημιουργηθούν οι συνθήκες εκείνες που θα επιτρέψουν τη λειτουργία τέτοιων σοβαρών και αξιόπιστων διαπιστευμένων εργαστηρίων.

Λέξεις-Κλειδιά:
Γεωδαιτικά όργανα, μετροταινία, ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός, ψηφιακός χωροβάτης, εργαστήρια διακρίβωσης

Calibration Laboratories for Geodetic instruments in Greece
The present and the future

Abstract

The development of geodetic measuring instruments the last 25 years is rapid. From the simple instruments for distance measurements (tapes), angle measurements (mechanical theodolites), and height differences measurements (levels), run into the abrupt devolvement of digital systems that can measure distances, angles and height differences, by digital way (total stations, digital levels). Also important and decisive is the evolution of satellite systems (GNSS).
However, which is the corresponding support in Greece? What happens today in the sector of checking and calibration of the geodetic instruments and their equipments?
What is defined by the legislation for the use of these instruments in the infrastructure works?
This work presents some accredited calibration laboratories worldwide and also some attempts that were made in Greece to this direction. The efforts, the lacks and also the problems that occur in order to create accredited calibration laboratories in Greece are registered.
Obviously the goal is to record and recognize the real situation but mainly is to emerge the significant role of the accredited laboratories for the calibration of geodetic instrumentation today, that the use of such multi systems for the measurement is wide spread to many users. Also the accuracy requirements for the technical constructions are very high.
Final aim is the sensitization of the public sector (as Universities) as well as private concerns (as representative companies), in order to create these conditions which will allow the action and service of reliable accredited laboratories in Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα γεωδαιτικά όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές εργασίες, θα πρέπει να ελέγχονται και να διακριβώνονται.
Ως **έλεγχος** ενός γεωδαιτικού οργάνου ορίζεται η διαδικασία με την οποία αποδεικνύεται αν το όργανο λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, προσδιορίζοντας την εσωτερική αβεβαιότητα (precision) την οποία αποδίδει στις μετρήσεις του.
Ως **διακρίβωση** ενός γεωδαιτικού οργάνου, ορίζεται η διαδικασία με την οποία διαπιστώνεται η ταύτιση ή όχι με το πρότυπο. Έτσι δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού των συστηματικών σφαλμάτων και της εξωτερικής αβεβαιότητας (accuracy) την οποία αποδίδει στις μετρήσεις του.
Για το σκοπό αυτό υπάρχει ένας κλάδος της Μετρολογίας, η Γεωδαιτική μετρολογία, ο οποίος έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των οργάνων μέτρησης, που χρησιμοποιούνται σε όλες τις γεωδαιτικές εργασίες.
Η ανάγκη ελέγχου και διακρίβωσης των γεωδαιτικών οργάνων έγινε επιτακτική όταν τα όργανα αυτά άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή και την παρακολούθηση τεχνικών έργων υψηλών προδιαγραφών (φράγματα, γέφυρες, πολυώροφα οικοδομήματα, κ.α). Από το 1976 ο Γερμανικός οργανισμός για την τυποποίηση, δημοσιεύει το πρότυπο DIN 6403 (Measuring Tapes of Steel With Winder

Γεώργιος Πανταζής
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Frames or Winder Cases) που πραγματευόταν τον έλεγχο τον μεταλλικών μετροταινιών. [http://www.xyht.com/]
Αργότερα το 1990, ο ίδιος οργανισμός δημιουργεί πρότυπα που αφορούν στον έλεγχο γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης μηκών (EDM), διευθύνσεων (οπτικομηχανικών θεοδολίχων) και υψομετρικών διαφορών (χωροβάτες, σταδίες). [Hazelton, 2009]
Στα πρότυπα DIN, τα οποία φέρουν το όνομά τους από το Γερμανικό Ινστιτούτο σχετικό με προτυποποίηση (Deutsches Institut für Normung), περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες εγκατάστασης πεδίων ελέγχου, οι μετρήσεις που πρέπει να πραγματοποιούνται με τα υπό έλεγχο γεωδαιτικά όργανα και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί, με τους οποίους προσδιορίζεται η αβεβαιότητα μέτρησης που αυτά παρέχουν, απαντώντας παράλληλα στο ερώτημα αν αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με την αντίστοιχη αβεβαιότητα που δηλώνεται από τον κατασκευαστή.
Αργότερα ο παγκόσμιος οργανισμός προτυποποίησης ISO (International Organization for Standardization) επεξεργάστηκε & εμπλούτισε τα υπάρχοντα πρότυπα DIN. Έτσι ορίστηκαν και δημοσιεύτηκαν τα αντίστοιχα σχεδόν πρότυπα ελέγχου ISO, που ισχύουν σήμερα.
Επίσης κάποιες χώρες όπως ο Καναδάς, η Αυστραλία, οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ιαπωνία (JSA - Japanese Standards Association, το πρότυπο JIS B 7909 για όργανα μέτρησης διευθύνσεων), έχουν αναπτύξει δικά τους πρότυπα σχετικά με ελέγχους γεωδαιτικών οργάνων και έχουν αντίστοιχους οργανισμούς προτυποποίησης.
Από το 2001 και μέχρι το 2007, η Διεθνής Ομοσπονδία Τοπογράφων (FIG) άρχισε να δραστηριοποιείται εντονότερα στο θέμα των προτύπων και της τυποποίησης, σε συνεργασία με τον οργανισμό ISO. Το αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας είναι η δημιουργία της ομάδας εργασίας FIG Working Group 5.1.
Οι τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται αυτή η ομάδα εργασίας είναι οι ακόλουθοι:

- Πρότυπα σχετικά με προσδιορισμούς θέσης, όργανα και μεθόδους γεωδαιτικών μετρήσεων, όπου συστήνει τα ακόλουθα πρότυπα:
  - ISO 17123 – 1: 2001: Περιέχει το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται στις προδιαγραφές των διαδικασιών ελέγχου από τα άλλα πρότυπα της σειράς ISO 17123.
  - 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 οπτικό -μηχανικών οργάνων (Optical Plumbing Instruments).
  - ISO 17123 – 8: 2007: Περιέχει το πρότυπο για τον έλεγχο δεκτών δορυφορικού εντοπισμού (GNSS) σε μετρήσεις πεδίου σε πραγματικό χρόνο (RTK) (GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)).
- Έλεγχοι αποδοχής, εξασφάλιση ποιότητας, πιστοποίησης και η επίδρασή τους στο επάγγελμα του Γεωδαίτη – Τοπογράφου Μηχανικού.
- Έλεγχος και διακρίβωση των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται.
- Άσκηση επιρροής σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς για την ανάπτυξη των προτύπων

- Αποδοχή ελέγχων, διασφάλισης ποιότητας και πιστοποίησης και οι συνέπειές τους στο επάγγελμα του τοπογράφου μηχανικού.

Από την παραπάνω λίστα απουσιάζει ένα πρότυπο για τον έλεγχο των σύγχρονων Laser Scanners καθώς και ένα αντίστοιχο πρότυπο για τον έλεγχο των δεκτών GNSS σε μετρήσεις στατικού εντοπισμού. Η αυξανόμενη χρήση τους σε γεωδαιτικές εφαρμογές επιβάλλει την άμεση οριστικοποίηση τέτοιων προτύπων.

Η βασική φιλοσοφία που διέπει τα παραπάνω πρότυπα ελέγχου ISO είναι να είναι όσο το δυνατό πιο απλά και εύκολα στην εφαρμογή τους τόσο από την άποψη των μετρήσεων όσο και στους υπολογισμούς τους. Στόχος είναι να μπορεί κάθε επαγγελματίας να ελέγχει γρήγορα και εύκολα τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιεί, ώστε να είναι βέβαιος ότι τα αποτελέσματα των εργασιών που παρέχει είναι σωστά. Η προσπάθεια όμως αυτή δεν φαίνεται να έχει επιτυχία για διάφορους λόγους όπως:

- Τα πρότυπα αυτά παρέχουν διαδικασίες ελέγχου που αφορούν στον προσδιορισμό της εσωτερικής αβεβαιότητας (precision) ενός γεωδαιτικού οργάνου μέτρησης, δηλαδή πόσο οι τιμές που αποδίδει σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις πλησιάζουν μεταξύ τους και έχουν μικρή τυπική απόκλιση. Αυτό όμως δεν εξασφαλίζει και την εξωτερική αβεβαιότητα (accuracy) της μέτρησης δηλαδή πόσο οι μετρήσεις του οργάνου είναι ορθές και ταυτίζονται με το πρότυπο όργανο.
- Ελάχιστος είναι ο αριθμός των επαγγελματιών που ακολουθούν τη διαδικασία που προβλέπεται, η οποία όσο απλή και να φαίνεται, εμπεριέχει αρκετά πολύπλοκη μαθηματική επεξεργασία, γεγονός που αποθαρρύνει τους επαγγελματίες στην εφαρμογή της, δεδομένου ότι είναι και εκτός των ενδιαφερόντων τους.

Για τους παραπάνω λόγους, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα ελέγχου και διακρίβωσης των γεωδαιτικών οργάνων, είναι απαραίτητη η λειτουργία εργαστηρίων ελέγχου και διακρίβωσης.

Η νομοθεσία στην Ελλάδα ορίζει [ΦΕΚ 1013, 2001, ΦΕΚ 173, 2013] ότι *"ο μετρητικός εξοπλισμός περιλαμβανομένου και του μη εργαστηριακού εξοπλισμού (π.χ τοπογραφικά όργανα) ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μετρήσεων των οποίων τα αποτελέσματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του έργου, πρέπει να συντηρείται και να διακριβώνεται (δηλαδή να εξασφαλίζεται ότι μετράει σωστά). Η διακρίβωση των οργάνων και συσκευών πρέπει να γίνεται με βάση κοινά αποδεκτές διαδικασίες και να πραγματοποιείται είτε από τον ανάδοχο είτε/και από εξωτερικούς φορείς, ενώ η χρήση μη διακριβωμένων οργάνων δεν επιτρέπεται"*.

Για να μπορεί ένα εργαστήριο να εκδίδει πιστοποιητικό ελέγχου γεωδαιτικών οργάνων πρέπει να έχει δημιουργήσει μια ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου των οργάνων είτε αυτή ακολουθεί το αντίστοιχο ISO είτε είναι ανεξάρτητη.

Στη διαδικασία αυτή πρέπει να περιγράφονται τα αντίστοιχα πεδία ελέγχου, οι απαραίτητες μετρήσεις αλλά και η μαθηματική επεξεργασία τους, που θα οδηγεί με ασφάλεια στο αποτέλεσμα του ελέγχου, δηλαδή στην απάντηση αν το γεωδαιτικό όργανο και ο παρελκόμενος εξοπλισμός λειτουργούν σωστά και σύμφωνα με τις ορισμένες προδιαγραφές ακρίβειας.

Για να μπορεί ένα εργαστήριο να εκδίδει πιστοποιητικό διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων πρέπει επιπλέον αυτών που αναφέρθηκαν για τον έλεγχο, να έχει βαθμονομήσει τα πεδία ελέγχου με πρότυπο όργανο.

Κάθε χρόνο πρέπει να ανανεώνεται η άδεια του εργαστηρίου ελέγχου ή διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων, από τον αντίστοιχο φορέα (στην Ελλάδα το ΕΣΥΔ).

Στην εργασία αυτή επιχειρείται μια καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης των εργαστηρίων ελέγχου γεωδαιτικών οργάνων, αρχικά στο εξωτερικό και στη συνέχεια στον Ελλαδικό χώρο.

2 ΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

2.1 ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ

Στην παγκόσμια κοινότητα έχουν ιδρυθεί και λειτουργούν εργαστήρια διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης μηκών, αρχικά για EDM (Electromagnetic Distance Measurement) και σήμερα πλέον και για ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total stations).
Για το σκοπό αυτό έχουν εγκατασταθεί εσωτερικά & εξωτερικά συστήματα ελέγχου και διακρίβωσης, σύμφωνα με τις υποδείξεις διαφόρων προτύπων.
Ακόμη σε διάφορα πανεπιστήμια του εξωτερικού (ETH, Βερολίνο, Μόναχο) λειτουργούν εργαστήρια μετρολογίας, τα οποία όμως χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς κυρίως σκοπούς, δεν είναι διαπιστευμένα και δεν εκδίδουν πιστοποιητικά ελέγχου και διακρίβωσης.

Το εργαστήριο της Leica Geosystems στο Heerburg

Η εταιρεία Leica Geosystems είναι μια από τις λίγες, παγκοσμίως, εταιρείες κατασκευής γεωδαιτικών οργάνων, η οποία εκδίδει πιστοποιητικά διακρίβωσης, όπως ακριβώς και σε ένα εθνικό διαπιστευμένο σώμα.
Για την επιτυχημένη διεξαγωγή των δοκιμών που απαιτούνται για την έκδοση των πιστοποιητικών, η εταιρεία προχώρησε στην κατασκευή ενός ολοκληρωμένου εργαστηρίου διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων [Leica, 2013] κατά ISO/IEC 17025:2005 το οποίο αποτελείται από:

- Μια εσωτερική βάση ελέγχου μηκών, μήκους περίπου 60m.
- μια εξωτερική βάση ελέγχου μηκών, μήκους 3000m για τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας μηκών των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.
- Ένα εργαστήριο συχνοτήτων για τον προσδιορισμό της συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των EDM σε διάφορες θερμοκρασίες.
- Ένα εργαστήριο διευθύνσεων για τον προσδιορισμό της ακρίβειας μέτρησης διευθύνσεων (οριζόντιων & κατακόρυφων).

Εικόνα 1 Βάθρο της βάσης στο Heerburg[Leica, 2013]

Εικόνα 2 Τρικόχλιο και μετεωρολογικός κλωβός στο βάθρο[Leica, 2013]

Η εξωτερική βάση ελέγχου μηκών βρίσκεται στην κοίτη του ποταμού Ρήνου κοντά στο Heerburgg, στα σύνορα Ελβετίας - Γερμανίας. Η βάση αποτελείται από ειδικά βάθρα κατασκευασμένα από τσιμέντο (μπετόν), με το μέρος που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους να καλύπτεται με πλαστικό κύλινδρο, για την προστασία από τη θερμότητα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (εικόνα 1). Στην κεφαλή κάθε βάθρου είναι

μόνιμα τοποθετημένο τρικόχλιο, στο οποίο τοποθετείται κάθε φορά το υπό έλεγχο όργανο και αντίστοιχα αντάπτορας με ανακλαστήρα. Ακόμη, πάνω σε κάθε βάθρο τοποθετείται μετεωρολογικός κλωβός (εικόνα 2) για τη συλλογή των ατμοσφαιρικών συνθηκών (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία).
Η βάση είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται από το ISO 17123 – 4 και η βαθμονόμηση γίνεται με τη μέτρηση μηκών 500m, 1000m, 2000m και 3000m.

Το Ινστιτούτο Μετρολογίας της Σλοβακίας στην Μπρατισλάβα

Το Ινστιτούτο Μετρολογίας της Σλοβακίας στην Μπρατισλάβα έχει αναπτύξει ολοκληρωμένες διαδικασίες ελέγχου & διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων. Στις δραστηριότητες του ινστιτούτου εντάσσονται [Ježko j, 2007], [Ježko j, 2014]:

- Ο έλεγχος των ψηφιακών σταδιών που χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις υψομετρικών διαφορών με τη μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Αυτός επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο συγκριτών, ενός οριζόντιου και ενός κατακόρυφου (εικόνα 3).
- Ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας μέτρησης μηκών με τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας εξωτερικής βάσης ελέγχου που έχει εγκατασταθεί στην περιοχή Hlohovec από το 1978 και αποτελείται από πέντε κορυφές, υλοποιημένες με ειδικά βάθρα, αντίστοιχα της εξωτερικής βάσης της εταιρείας Leica, και έχει μήκος 960m.
- Η διακρίβωση των οριζόντιων δίσκων οπτικομηχανικών και ψηφιακών θεοδολίχων, η οποία επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ειδικούς ευθυγραμμιστές (collimators) (εικόνα 4).

Εικόνα 3 Κατακόρυφος συγκριτής ελέγχου ψηφιακών σταδιών

Εικόνα 4 Συσκευή διακρίβωσης οριζόντιων δίσκων

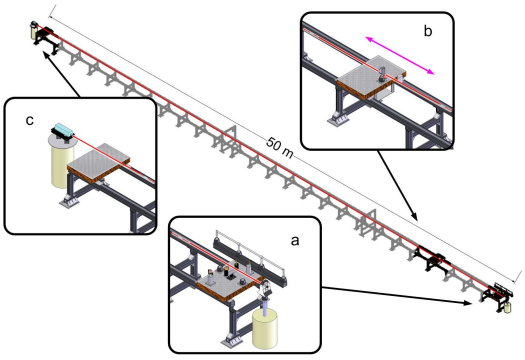
Το εργαστήριο European Synchrotron Radiation Facility στη Γαλλία

Το εργαστήριο European Synchrotron Radiation Facility που βρίσκεται στην πόλη Γκρενόμπλ της Γαλλίας, λειτουργεί και υποστηρίζεται από 18 Ευρωπαϊκά κράτη έχει αναπτύξει τεχνικές διακρίβωσης για ρομποτικούς ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (Robotic Total stations) και για Laser Trackers. [Martin D., 2013]. Πιο συγκεκριμένα διαθέτει:

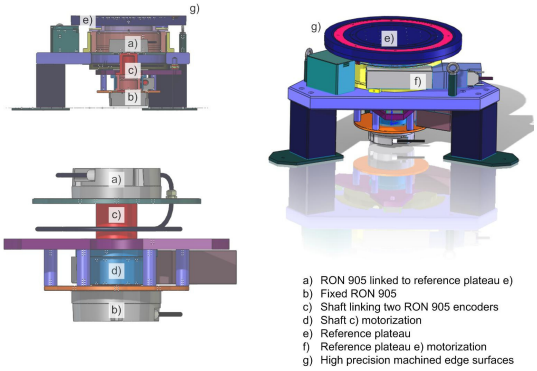
- μια εσωτερική βάση μήκους 52m για τη διακρίβωση των γεωδαιτικών σταθμών. Στη μια άκρη της βάσης είναι τοποθετημένο ένα πιστοποιημένο ιντερφερόμετρο,

ενώ στην άλλη άκρη της βάσης τοποθετείται σε κατάλληλο βαρύ τρίποδα ο υπό διακρίβωση γεωδαιτικός σταθμός (εικόνα 5). Τα δύο συστήματα αλληλοσκοπεύονται χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένο σύστημα.

- Ειδική διάταξη διακρίβωσης οριζόντιων γωνιών (εικόνα 6)
- Ειδική διάταξη διακρίβωσης κατακόρυφων γωνιών



Εικόνα 5 Το σύστημα διακρίβωσης του εργαστηρίου European Synchrotron Radiation Facility



Εικόνα 6 Διάταξη διακρίβωσης οριζόντιων δίσκων του εργαστηρίου European Synchrotron Radiation Facility

Εξωτερική βάση ελέγχου μηκών του Universität der Bundeswehr München

Το πανεπιστήμιο Bundeswehr βρίσκεται στο Μόναχο της Γερμανίας και στις εγκαταστάσεις του έχει από το 2009 κατασκευαστεί μια εξωτερική βάση βαθμονόμησης γεωδαιτικών σταθμών στη μέτρηση μήκους. Η βάση είναι θεμελιωμένη στην όχθη ποταμού, όπου υπάρχει καλός αερισμός, αποτελείται από οκτώ (8) βάθρα και αναπτύσσεται σε μήκος 1100m (εικόνα 7).
Οι μετρήσεις της βάσης διήρκεσαν από τον Οκτώβριο του 2009 έως τον Οκτώβριο του 2010. [Heunecke, 2010], [Heunecke, 2012]

Εικόνα 7 Η βάση ελέγχου στο Μόναχο της Γερμανίας

Εξωτερικές βάσεις ελέγχου μηκών στην Αυστραλία

Στην Αυστραλία, δίνεται μεγάλη σημασία στο μετρολογικό έλεγχο οργάνων μέτρησης μήκους και υπάρχουν πολλές εξωτερικές βάσεις για τον έλεγχό τους, τις οποίες οι χρήστες

έχουν στη διάθεσή τους. [www.planning.act.gov.au/__data/assets/pdf]. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- Braeside – 11 βάθρα, συνολικό μήκος 1160m
- Geelong – 7 βάθρα, συνολικό μήκος 882m
- Hamilton – 11 βάθρα, συνολικό μήκος 1160m
- Loy Yang – 10 βάθρα, συνολικό μήκος 1000m
- Mitcham – 8 βάθρα, συνολικό μήκος 600m

Επίσης στην πολιτεία της Νέας Νότιας Ουαλίας (New South Wales) στο προάστιο Watson βρίσκεται η ομώνυμη βάση μετρολογικού ελέγχου. Τη βάση διαχειρίζεται η ομάδα Τοπογραφικών και Χωρικών Δεδομένων (Surveying and Spatial Data) της Γενικής Αρχής της Καμπέρα για το Σχεδιασμό και το Χώρο. [http://www.xyht.com/]
Είναι σχεδιασμένη με βάση το σχέδιο των Sprent – Zwart. Αποτελείται από 11 βάθρα εξαναγκασμένης κέντρωσης, τα οποία καλύπτουν μήκος 1117m. Στην κορυφή κάθε βάθρου υπάρχει ένας ορειχάλκινος δίσκος με κατασκευή της εξαναγκασμένης κέντρωσης, ο οποίος προφυλάσσεται με ένα κάλυμμα.

2.2 ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

- ***Δημόσιοι φορείς***

Στην Ελλάδα η διακρίβωση γεωδαιτικών οργάνων, βρίσκεται σε πρωτόλειο στάδιο και κατά καιρούς καλύπτεται ανεπίσημα κυρίως από Πανεπιστημιακά Ιδρύματα και από ορισμένες εταιρείες, οι οποίες είναι αντιπρόσωποι μεγάλων οίκων κατασκευής γεωδαιτικών οργάνων στον κόσμο.
Στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στη Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) έχει ιδρυθεί το Κέντρο Μετρολογίας με σκοπό να μετεξελιχθεί σε ένα εργαστήριο ελέγχου και διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων. Έχουν γίνει προσπάθειες τα τελευταία 20 χρόνια, ώστε το Κέντρο Μετρολογίας να αποκτήσει τεχνικά, όλα εκείνα τα μέσα που απαιτούνται για να διαπιστευθεί ως εργαστήριο διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων, οι οποίες όμως δεν έχουν αποδώσει.
Η ιστορία του Κέντρου Μετρολογίας στη ΣΑΤΜ ξεκινά το 1965 με την κατασκευή μιας υπόγειας σήραγγας στην οποία θα πραγματοποιούνταν βαθμονομήσεις οργάνων μέτρησης (π.χ. μετροταινίες, σταδίες, θεοδόλιχοι, οπτικομηχανικοί χωροβάτες). Η σήραγγα αυτή είναι από τις ελάχιστες που υπάρχουν σήμερα στον κόσμο για τον έλεγχο ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών στη μέτρηση μηκών και θα μπορούσε να αποτελέσει την αναφορά του εργαστηρίου Μετρολογίας. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε το έτος 1971, ταυτόχρονο με την κατασκευή του κτηρίου Λαμπαδαρίου.
Το χρονικό διάστημα 1980 - 1995 η βάση λειτουργούσε για ελέγχους οργάνων μέτρησης μηκών που χρησιμοποιούντο, είτε σε ερευνητικά προγράμματα της σχολής (π.χ. φράγμα Μόρνου, Γεφύρι της Άρτας), είτε στην εκπόνηση διπλωματικών εργασιών. Εκείνη την περίοδο, η σήραγγα παρουσίαζε έντονα προβλήματα λειτουργίας λόγω υγρασίας και λιμναζόντων υδάτων.
Το 2000 ξεκίνησαν εργασίες για την ανακατασκευή της και τον εκσυγχρονισμό των ηλεκτρολογικών της εγκαταστάσεων με παράλληλη στεγάνωση, οι οποίες ολοκληρώθηκαν το 2002, οπότε και η σήραγγα απέκτησε τη σημερινή της μορφή (εικόνα 8). Στη σημερινή της μορφή, η σήραγγα είναι ένας χώρος, σχήματος ορθογωνίου, διαστάσεων 53.4m επί 2.9m και αποτελείται από 26 βάθρα σε ευθυγραμμία. Στην κορυφή κάθε βάθρου υπάρχουν ειδικές μεταλλικές κεφαλές με τη δυνατότητα ακριβούς εξαναγκασμένης και μοναδιαίας κέντρωσης.

Παράλληλα σε ερευνητικό & εκπαιδευτικό επίπεδο έχουν δημιουργηθεί σε κατάλληλη αίθουσα, 2 εσωτερικά πεδία ελέγχου ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για οριζόντιες & κατακόρυφες διευθύνσεις, όπως προβλέπεται από το ισχύον ISO 17123-3. Όμως οι χώροι, η διαμόρφωσή τους & η λειτουργία τους δεν έχουν ακολουθήσει τα προβλεπόμενα από τις διαδικασίες πιστοποίησης και για αυτό παραμένουν σε ερασιτεχνικό επίπεδο.

Εικόνα 8 Εσωτερική βάση ελέγχου μηκών ΕΜΠ

Εικόνα 9 Εσωτερικό πεδίο βαθμονόμησης φωτογραφικών μηχανών του ΕΜΠ

Παράλληλα για τη βαθμονόμηση φωτογραφικών μηχανών έχουν αναπτυχθεί στο χώρο του κτηρίου Λαμπαδαρίου της ΣΑΤΜ από το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, ένα εσωτερικό (εικόνα 9) και ένα εξωτερικό πεδίο. Τα δύο πεδία αποτελούνται από ειδικά προσημασμένα σημεία τοποθετημένα - κατανεμημένα στο χώρο, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες βαθμονόμησης φωτογραφικών μηχανών που χρησιμοποιούνται σε φωτογραμμετρικές μεθόδους αποτύπωσης. Τα ίδια πεδία χρησιμοποιούνται και για την βαθμονόμηση των καμερών των εικονογεωδαιτικών σταθμών [Γεωργόπουλος κ.α, 2005], [Γεωργόπουλος κ.α, 2010].

Αντίστοιχες δραστηριότητες έχουν αναπτυχθεί και στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο της Θεσσαλονίκης από το Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών και από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (Εργαστήριο Γεωδαισίας & Γεωματικής). Το συγκεκριμένο εργαστήριο διαθέτει μεταξύ άλλων σύστημα διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων και μέτρησης ταλαντώσεων με συμβολόμετρο ακτίνων Laser, όργανο autocollimator για τον έλεγχο οπτικών συστημάτων γεωδαιτικών οργάνων κ.α [http://tgm.civil.auth.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=178&lang=el] , [Δούκας Ι, 2005]

Έχουν και εδώ γίνει προσπάθειες δημιουργίας πεδίων ελέγχου γεωδαιτικών οργάνων, οι οποίες καλύπτουν κυρίως τις εκπαιδευτικές & ερευνητικές δραστηριότητες των δύο τμημάτων.

Επίσης, από το Μάιο του 2014, στο Τμήμα Τοπογράφων η ερευνητική ομάδα GNSS_QC εφαρμόζει στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος του ΕΛΚΕ-ΑΠΘ με τίτλο "Μετρήσεις GNSS και ποιοτικός έλεγχος", το πρότυπο ISO 17123-8 σε μετρητική διάταξη στο χώρο του ΑΠΘ, για βαθμονόμηση δεκτών GNSS σε μετρήσεις πραγματικού χρόνου (RTK Positioning).Επίσης, εφαρμόζει την βαθμονόμηση δεκτών GNSS από μετρήσεις σε

"μηδενική βάση" - Zero Baseline Test [Πικριδάς, 2005], εκδίδοντας πιστοποιητικά σε διάφορες εταιρείες δορυφορικών δεκτών GNSS.

- ***Ιδιωτικοί φορείς***

Από τις εταιρείες παροχής γεωδαιτικού εξοπλισμού στην Ελλάδα σύμφωνα με την βιβλιογραφική αναζήτηση που έγινε αλλά και την προσωπική επικοινωνία με το προσωπικό ορισμένων εταιρειών διαπιστώνεται ότι εργαστήρια ελέγχου γεωδαιτικών οργάνων διατηρούν οι εταιρείες: Metrica (αντιπρόσωπος του οίκου Leica Geosystems AG), Tree Company Corporation AEBE (αντιπρόσωπος του οίκου Topcon Europe Positioning B.V.) & Geotech ΕΠΕ – Λύσεις Γεωπληροφορικής (αντιπρόσωπος του οίκου Trimble Navigation Limited).
Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία Metrica AE, στο πιστοποιημένο, από τη Leica Geosystems AG, εργαστήριο συντήρησης & επισκευής της, έχει εγκατεστημένο σύστημα γωνιομετρικού ελέγχου και διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων καθώς και σύστημα διακρίβωσης μηκών[http://www.metrica.gr/services/service/service-certificates]. Η εγκατάσταση αποτελείται από πέντε ειδικά collimators τοποθετημένα σε διάφορες γωνίες περιμετρικά ενός σταθερού βάθρου διακρίβωσης (εικόνα 10). Ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται στο βάθρο και ελέγχεται τρεις φορές δημιουργώντας τρία σετ μετρήσεων σε διαφορετικές περιοχές του οριζοντίου και κατακόρυφου δίσκου του οργάνου, σε πρώτη και δεύτερη θέση τηλεσκοπίου, με χρήση ειδικού προγράμματος (software) που εξασφαλίζει ακριβή και αδιάβλητα αποτελέσματα μετρήσεων.

Εικόνα 10. Η διάταξη των γωνιομετρικών ελέγχων της εταιρείας Metrica

Εικόνα 11. Η διάταξη του ελέγχου μηκών της εταιρείας Metrica

Αντίστοιχα, για διακρίβωση αποστάσεων ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται επίσης, σε ειδικό σταθερό βάθρο και πραγματοποιούνται τρία σετ μετρήσεων σε τρεις σταθερές αποστάσεις. Γίνονται τρείς σειρές μετρήσεων σε πρίσματα (εικόνα 11), τρείς σειρές σε αυτοκόλλητους στόχους και τρείς σειρές σε λειτουργία Reflectorless.
Στο ίδιο εργαστήριο λειτουργεί και ειδική εγκατάσταση ελέγχου δορυφορικών δεκτών GNSS, εγκεκριμένη από τη Leica Geosystems AG για την πιστοποίηση των οργάνων που είναι απαραίτητη για τους ελέγχους ISO.
Οι βάσεις διακρίβωσης μετρούνται κάθε μήνα, με όργανο υψηλής ακρίβειας μέτρησης μηκών ±0.6mm ± 1ppm σε πρίσμα GPH1P, ±1mm ± 1ppm σε αυτοκόλλητους στόχους, ±2mm ± 2ppm χωρίς πρίσμα και γωνιομετρικής ακρίβειας ±0.5" (0.15mgon) και σύμφωνα με τη εταιρεία εκδίδονται τόσο πιστοποιητικά ελέγχου όσο και πιστοποιητικά διακρίβωσης.
Στο τμήμα service της εταιρείας Tree Company Corporation AEBE λειτουργεί εγκατεστημένη ειδική βάση ελέγχου μηκών πολλαπλών στόχων καθώς και ειδική διάταξη

collimators όμοια με αυτή που υπάρχει στα εργοστάσια κατασκευής γεωδαιτικών οργάνων [http://www.treecomp.gr/].
Αντίστοιχη περίπου διαδικασία εφαρμόζεται και από το τμήμα service της εταιρείας Geotech ΕΠΕ – Λύσεις Γεωπληροφορικής, η οποία είναι η αντιπρόσωπος των οργάνων Trimble.

3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Στην Ελλάδα του 2016, την Ελλάδα μετά τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004, μια περίοδο που κατασκευάστηκαν μεγάλα τεχνικά έργα, την Ελλάδα που δεν έχει καταφέρει να εκπονήσει ακόμη το Εθνικό Κτηματολόγιο, ζουν και συμμετέχουν επαγγελματικά ενεργά περίπου 6000 Αγρονόμοι & Τοπογράφοι Μηχανικοί, ενεργά μέλη του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος. Είναι απόφοιτοι της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ και του Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Δραστηριοποιούνται σε διάφορες μελέτες όπως Τοπογραφίας (Γεωδαιτικές, Φωτογραμμετρικές, Χαρτογραφικές, Κτηματογραφικές και Τοπογραφικές), μελέτες Συγκοινωνιακών Έργων (οδών, σιδηροδρομικών γραμμών, μικρών τεχνικών έργων, έργων υποδομής αερολιμένων και κυκλοφοριακές) και άλλες.
Σε όλες αυτές τις μελέτες χρησιμοποιούνται γεωδαιτικά όργανα με τον αντίστοιχο βοηθητικό εξοπλισμό (ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, χωροβάτες, δέκτες δορυφορικού εντοπισμού (GNSS) σταδίες, κ.α). Υπολογίζεται λοιπόν ότι κυκλοφορούν στην αγορά και χρησιμοποιούνται περίπου 6000 γεωδαιτικά όργανα από διαφορετικούς χρήστες. Τα όργανα αυτά καλύπτουν μετρήσεις απλές όπως αποτύπωσης, χάραξης αλλά και υψηλότερης ακρίβειας όπως παρακολούθηση παραμορφώσεων κ.α.
Από την καταγραφή που προηγήθηκε διαπιστώνεται ότι:

i. σε πολλές χώρες του εξωτερικού λειτουργούν οργανωμένα εργαστήρια ελέγχου & διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων, εξασφαλίζοντας την ορθότητα αλλά και την ακρίβεια των μετρήσεων που αυτά παράγουν.
ii. Από την Ελλάδα απουσιάζει ένα επίσημο αντίστοιχο εργαστήριο ελέγχου & διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων. Από την καταγραφή προέκυψε ότι αν και έχουν γίνει πολλές σημαντικές προσπάθειες στο πέρασμα των χρόνων, ήταν ανεπιτυχείς.

Είναι λοιπόν επιβεβλημένη η ανάγκη ίδρυσης ενός ολοκληρωμένου εργαστηρίου διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων, το οποίο θα αναλάβει να υποστηρίξει με αξιοπιστία και υπευθυνότητα τον έλεγχο και τη διακρίβωση απλών συστημάτων μέτρησης όπως χωροβατών (οπτικομηχανικών & ψηφιακών), των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, των συστημάτων δορυφορικού εντοπισμού αλλά και συστημάτων υψηλής ακρίβειας όπως ρομποτικοί εικονογεωδαιτικοί σταθμοί, laser scanners, laser trackers, κ.α. Το εγχείρημα αυτό βέβαια δεν είναι απλό, αλλά απαιτεί οργάνωση, επιστημονική επάρκεια, αυξημένο κόστος και βέβαια θα πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις ενός εργαστηρίου ελέγχου & διακρίβωσης, όπως ορίζεται από τις διαδικασίες του Εθνικού Συστήματος Διαπίστευσης (ΕΣΥΔ).

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γεωργόπουλος Α. Ιωαννίδης Χ., Βαθμονόμηση Φωτογραμμετρικών Συστημάτων, 1° Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 2005.

2. Γεωργόπουλος Α., Ιωαννίδης Χ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Νικολίτσας Κ., *Πρόταση Μεθοδολογίας Βαθμονόμησης της Ψηφιακής Κάμερας Εικονογεωδαιτικού Σταθμού,*3° Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Κύπρος 2010.
3. Δούκας Ι, Σαββαίδης Π, Δυνατότητες Διακρίβωσης Γεωδαιτικών (Τοπογραφικών) οργάνων από το Εργαστήριο Γεωδαισίας & Γεωματικής του ΑΠΘ, 1° Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 2005.
4. Ježko j., *Calibration and verification of horizontal circles of electronic theodolites*, Slovak Journal of Civil Engineering, 2007
5. Ježko j., *Calibration of surveying instruments and tools – Means to the quality increase of deformation measurements*, Journal of Sustainable Mining e-ISSN 2300-3960 | p-ISSN 2300-1364, 2014
6. Hazelton N.W.J., *Instrument Calibration for the 21st Century*, Paper presented at the MSPS 57th Annual Meeting, St. Cloud, MN, 28–30 January, 2009.
7. Heunecke O., *The geodetic calibration line of the UniBw Munich – Conception and implementation (*Invited talk on calibration*)*, 11th International Workshop on Accelerator Alignment, Hamburg, Germany, 2010
8. Heunecke O., *The organization and the operation of metrological accreditation laboratory of geodetic instruments*. (Προσκεκλημένη ομιλία), 4ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 2012
9. ISO 17123-3, First edition 2001-12-01, *"Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments —Part 3: Theodolites"*, Reference number ISO 17123-3:2001(E)
10. 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)
11. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Leica Geosystems Calibration Certificates White paper, Switzerland, 2013
12. Martin D., *Instrument Calibration at the ESRF, Πρακτικά συνεδρίου* FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, 11-16 April 2010
13. Πικριδάς Χ., *Βαθμονόμηση Δεκτών GPS από Μετρήσεις σε Μηδενική Βάση*, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 2-3 2005.
14. ΦΕΚ 1013, Τεύχος Β, 02.08.2001.
15. ΦΕΚ 173, Τεύχος Α, 08.08.2013
16. http://www.metrica.gr/services/service/service-certificates
17. http://www.treecomp.gr/
18. www.esyd.gr/pweb/s/20/files/kanonismoi/.../KO1_KPITE.pdf
19. http://www.xyht.com/
20. www.planning.act.gov.au/__data/assets/pdf
21. http://tgm.civil.auth.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=178&lang=el