ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ Σ.Α.Τ.Μ. – Ε.Μ.Π. ΜΕ ΧΡΗΣΗ LASER TRACKER

Ο. Αραμπατζή[1], Γ. Πηνιώτης[1], Μ. Τσακίρη[1], Ν. Κουβάς[2]
[1.] Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
[2.] Αγρ. Τοπογράφος Μηχ/κος
Email :arabatzi@survey.ntua.gr, piniotis@survey.ntua.gr, mtsakiri@central.ntua.gr

Περίληψη

Η βάση ελέγχου οργάνων μέτρησης μηκών της Σ.Α.Τ.Μ. βρίσκεται σε σήραγγα στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στη σημερινή της μορφή, η βάση ελέγχου αποτελείται από 28 βάθρα με τη δυνατότητα εξαναγκασμένης και μοναδιαίας κέντρωσης. Η μέτρηση των μηκών αρχικά έγινε με τη χρήση ταινιών invar και αργότερα έγιναν μετρήσεις σε 13 βάθρα με το EDM όργανο Mekometer ME3000 (±0.2mm±1ppm). Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η επαναμέτρηση των αποστάσεων μεταξύ όλων των βάθρων με χρήση laser tracker, η σύγκριση με τις χρησιμοποιούμενες τιμές αναφοράς καθώς και ο στατιστικός τους έλεγχος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα Leica Absolute Tracker AT402 και FARO Vantage laser tracker. Στην εργασία περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων με τα δύο tracker και δίνονται τα αποτελέσματα των ελέγχων.

Λέξεις-Κλειδιά: βάση ελέγχου μηκών, laser tracker, στατιστικός έλεγχος

Abstract

The EDM (Electronic Distance Meter) control baseline of the School of Rural and Surveying Engineering of NTUA has length of 50m and in its present form, consists of 28 pillars with forced centering. The measurement of the distances between the pillars was initially made using invar tapes and later the Mekometer ME3000 EDM instrument (+0.2mm + 1ppm) was used for the distance measurement of 13 pillars. The purpose of this work is to re-measure the distances between all pillars using a laser tracker, to compare with the reference values used and to test them statistically. For this purpose, two laser trackers were used, the Leica Absolute Tracker AT402 and FARO Vantage laser tracker. The paper describes the measurement procedure with the two trackers and provides statistical analysis of the results.

Keywords: EDM control baseline, laser tracker, statistical comparison,

1. Εισαγωγή

Ο έλεγχος των γεωδαιτικών οργάνων μέτρησης απόστασης (EDM- Electronic Distance Meter) και των μετρήσεων τους είτε ως απλοί τακτικοί έλεγχοι είτε ως βαθμονόμηση απαιτεί τη χρήση μιας βάσης μηκών αναφοράς. Οι βάσεις ελέγχου υλοποιούνται ως υπαίθριες (για απλούς ελέγχους) ή εργαστηριακές (για μετρολογικούς ελέγχους). Αποτελούνται από αριθμό μόνιμων βάσεων ή βάθρων με εξαναγκασμένη κέντρωση. Ο έλεγχος γίνεται με την απευθείας σύγκριση της μετρούμενης απόστασης με την απόσταση αναφοράς.

Η Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του ΕΜΠ διαθέτει μια εσωτερική βάση ελέγχου οργάνων μέτρησης μηκών η οποία έχει μήκος 50m. Στο πλαίσιο διαφόρων εργασιών έχουν κατά καιρούς μετρηθεί αποστάσεις μεταξύ των βάθρων με διάφορα όργανα, με ακριβέστερο από αυτά να έχει ακρίβεια ±1mm. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η επαναμέτρηση των αποστάσεων μεταξύ όλων των βάθρων με όργανο αναφοράς που θα μπορούσε να καθορίσει την απόσταση αναφοράς σε ακρίβεια καλύτερη από 0.05 mm. Επιπλέον, όργανα τέτοιας ακρίβειας επιτρέπουν τη μετρολογική σύνδεση της βάσης με εθνικά πρότυπα μήκους.

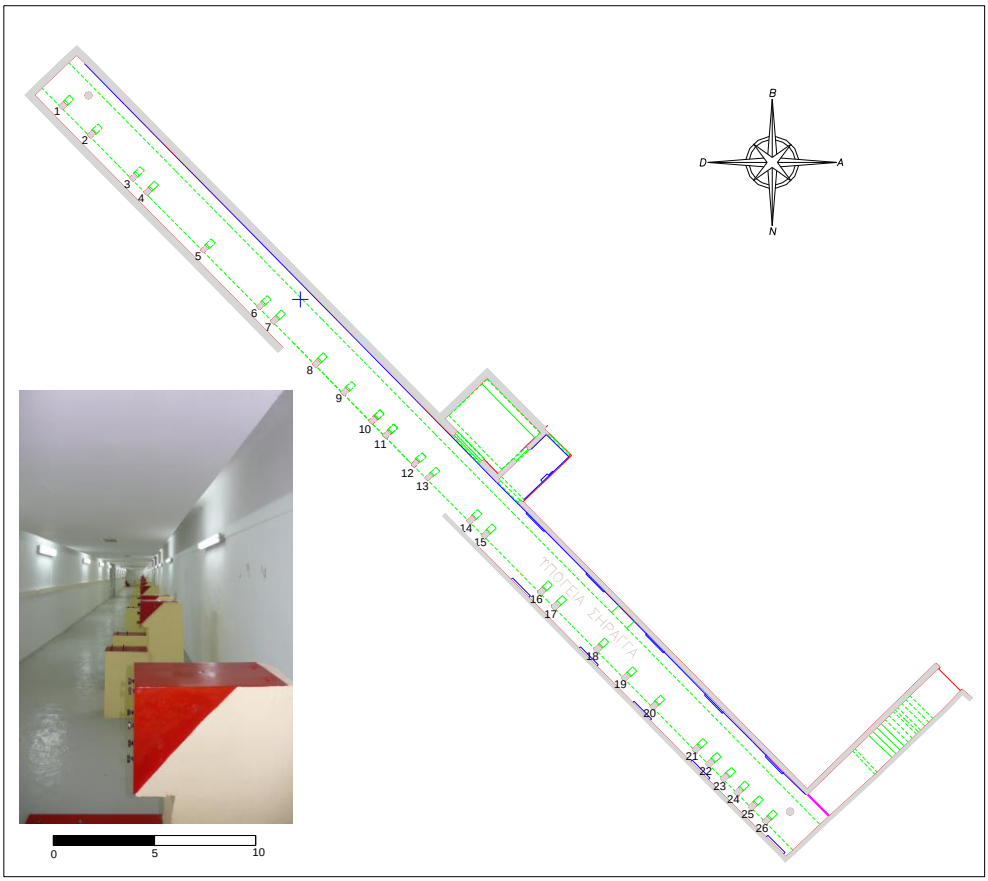
Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν όργανα υψηλής ακρίβειας και συγκεκριμένα δύο laser tracker, το Vantage FARO laser tracker (www.faro.com) το οποίο ανήκει στη ΣΑΤΜ και το Leica Absolute Tracker AT402 (www.metrology.leica-geosystems.com). Στην εργασία περιγράφεται η διαδικασία μετρήσεων με τα δύο tracker, γίνεται σύγκριση με τις χρησιμοποιούμενες τιμές αναφοράς καθώς και ο στατιστικός τους έλεγχος.

2. Βάση ελέγχου στη ΣΑΤΜ-ΕΜΠ

Η βάση ελέγχου οργάνων μέτρησης μηκών του Κέντρου Μετρολογίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ) του ΕΜΠ. βρίσκεται σε μια σήραγγα στο υπόγειο του κτιρίου Λαμπαδαρίου στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Στη σημερινή της μορφή, η σήραγγα είναι ένας χώρος, δωμάτιο, σχήματος ορθογωνίου, διαστάσεων 53.4m επί 2.9m και αποτελείται από 28 βάθρα. Τα 26 από αυτά βρίσκονται σε ευθεία γραμμή, αποτελώντας την κυρίως βάση (βάθρα Β1 έως Β26) ενώ τα άλλα δύο (βάθρα Α και Β) βρίσκονται πλησίον αυτών σχηματίζοντας ανεξάρτητη ευθυγραμμία (Σχήμα 1). Το υψόμετρο της σήραγγας κυμαίνεται από 189.57m στην είσοδό της έως 189.73m στο υψηλότερο σημείο της, δίπλα στο βάθρο 1. Στην κορυφή κάθε βάθρου υπάρχουν ειδικές μεταλλικές κεφαλές με τη δυνατότητα ακριβούς εξαναγκασμένης και μοναδιαίας κέντρωσης.

Η σήραγγα εντάχθηκε στα αρχικά σχέδια κατασκευής του κτηρίου Λαμπαδαρίου, περί το 1965. Το έτος 1971, ολοκληρώθηκαν οι εργασίες κατασκευής του κτηρίου Λαμπαδαρίου και της υπόγειας σήραγγας και η τελική τους παράδοση. Στην αρχική της μορφή, η σήραγγα αποτελείτο από μόλις 13 βάθρα και ξεκίνησε να χρησιμοποιείται για τον μετρολογικό έλεγχο οργάνων που χρησιμοποιούνταν σε διάφορες δραστηριότητες της σχολής. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, έγινε η μέτρηση των μηκών μεταξύ των βάθρων Α και Β με τη χρήση ταινιών invar.

Τη χρονική περίοδο 1978 – 1979, έγινε μέτρηση του μήκους μεταξύ των βάθρων Α – Β και επιπλέον μετρήθηκαν τα μήκη ανάμεσα στα υπάρχοντα 13 βάθρα, με το αποστασιόμετρο Mekometer ME3000. Από τις μετρήσεις αυτές προέρχονται οι τιμές με τις οποίες συγκρίνονται οι μετέπειτα παρατηρήσεις. Το Mekometer ME3000 ήταν ένα όργανο EDM, χωρίς δυνατότητα προσαρμογής σε θεοδόλιχο, το οποίο εκείνη την εποχή θεωρούντο ένα από τα ακριβέστερα όργανα. Είχε την ικανότητα να μετρά μήκη από μερικά μέτρα μέχρι 3km, με τρία κατάφωτα, με αβεβαιότητα ± 0.2mm ±1ppm. Η διάρκεια της μέτρησης του μήκους ήταν της τάξης των 2 – 3 λεπτών και το όργανο έφερε σύστημα αυτόματης διόρθωσης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών συνθηκών (Μπαλοδήμος κ.α., 2005).



Σχήμα 1. Σχέδιο βάσης ελέγχου μηκών ΕΜΠ όπως είναι σήμερα (2018)

Μεταξύ των ετών 1980 έως 1995 προστέθηκαν τα υπόλοιπα βάθρα που αποτελούν τη σημερινή βάση, καθώς και οι ειδικές μεταλλικές κεφαλές οι οποίες εξασφαλίζουν ελάχιστη αβεβαιότητα κέντρωσης, μοναδικότητα στην κέντρωση, απόλυτη ευθυγραμμία των βάθρων και ισοϋψία βάθρων. Το 2000 ξεκίνησαν εργασίες για την ανακατασκευή της σήραγγας και τον εκσυγχρονισμό των ηλεκτρολογικών της εγκαταστάσεων με παράλληλη στεγάνωση, οι οποίες ολοκληρώθηκαν το 2002, οπότε και η βάση απέκτησε τη σημερινή της μορφή.

3. Μετρήσεις στην βάση ελέγχου με laser tracker

3.1 Βασική περιγραφή

Το όργανο laser tracker είναι ουσιαστικά μια μηχανή μέτρησης συντεταγμένων με ταχύτητα συλλογής περίπου 16000 σημεία/sec, η οποία παρακολουθεί και καταγράφει τις θέσεις ενός ειδικού ανακλαστικού στόχου. Οι τρισδιάστατες συντεταγμένες του κέντρου του στόχου προσδιορίζονται με ακρίβεια της τάξης των λίγων μικρών (μm) βάσει μετρήσεων γωνιών (οριζόντια και κατακόρυφη) και του μήκους προς το στόχο. Το όργανο laser tracker διαθέτει συσκευή μέτρησης απόστασης η οποία μπορεί να είναι αποστασιόμετρο (ADM), συμβολόμετρο (IFM) ή και τα δύο μαζί. Το αποστασιόμετρο έχει μικρότερη ταχύτητα και ακρίβεια μέτρησης (±15μm+1 μm/m) με τη δυνατότητα να μετράει απόλυτες αποστάσεις. Το συμβολόμετρο έχει μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια μέτρησης, της τάξης των ±0.4μm+0.3 μm/m αλλά προσδιορίζει σχετικές αποστάσεις.

Το όργανο laser tracker έχει εμβέλεια μέτρησης λίγων εκατοντάδων μέτρων καθώς και τη δυνατότητα τόσο σημειακών όσο και συνεχόμενων μετρήσεων και με τη χρήση ειδικών παρελκομένων η λειτουργία τους επεκτείνεται ώστε έχουν τη δυνατότητα να σαρώσουν επιφάνειες ή να μετρήσουν ταυτόχρονα τις τρεις συντεταγμένες και τις τρεις στροφές ενός σημείου ως προς τους άξονες αναφοράς παρέχοντας πληρέστερη πληροφορία. Ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από το κυρίως σώμα, την μονάδα ελέγχου, τους ειδικούς στόχους, έναν υπολογιστή και το κατάλληλο λογισμικό. Επίσης, συνοδεύεται από μικρό μετεωρολογικό σταθμό (συνήθως ενσωματωμένος στο όργανο) για την μέτρηση θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας προκειμένου να γίνουν κατάλληλες διορθώσεις στις μετρήσεις των αποστάσεων.

Το βασικό παρελκόμενο του laser tracker είναι οι ειδικοί ανακλαστικοί στόχοι στους οποίους γίνεται η ανάκλαση της δέσμης του laser για την μέτρηση της απόστασης. Οι συνηθέστεροι στόχοι είναι τύπου CCR (corner cube reflector) ή SMR (spherical mount reflector), τύπου Cateye και οι στόχοι επαναληψιμότητας. Αποτελούνται από μια μεταλλική σφαίρα, η οποία παρέχει την επιφάνεια επαφής ενώ στο εσωτερικό της βρίσκεται η ανακλαστική επιφάνεια που αποτελείται από τρεις κάθετους καθρέφτες που τέμνονται στο κέντρο της σφαίρας (Εικ. 1). Η ακρίβεια στη σφαιρικότητα είναι καλύτερη από ±0.6μm.

Εικόνα 1. Στόχος τύπου CCR και SMR

3.2 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν

Τα δύο όργανα laser tracker που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις αποστάσεων στην βάση ελέγχου του ΕΜΠ είναι το Leica Absolute Tracker AT402 (www.hexagonmetrology.com) και το Faro Vantage (www.faro.com/laser-tracker). Στον Πίνακα 1 δίνονται μερικά βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν κυρίως στις ακρίβειες μέτρησης των δύο οργάνων.

Μοντέλο	**AT402 (Leica)**	**Faro Vantage**
Εμβέλεια	160m	80m
Βάρος laser tracker	7.3kg	12.6m
Οριζόντιο εύρος	±360°	±360°
Κατακόρυφο έυρος	±145°	±360°
Γωνιακή ακρίβεια	±15 μm + 6 μm/m	±20μm + 5μm/m
Ακρίβεια αποστασιόμετρου	±10 μm	±16μm + 0.8μm/m

Πίνακας 1. Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο laser tracker

3.3 Συλλογή μετρήσεων

Η συλλογή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις, μεταξύ Φεβρουαρίου και Μαρτίου 2018 με το όργανο AT402 (πρώτη φάση) και με το όργανο Vantage Faro (τρεις φάσεις). Η πρώτη φάση με το όργανο AT402 αποτελείτο από 3 σειρές μετρήσεων και οι τρεις φάσεις με το όργανο Vantage Faro από σειρές μετρήσεων που κυμαινόταν μεταξύ 3-6 σειρές. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν οι σφαιρικοί στόχοι και των δύο οργάνων (SMR Leica 1.5", SMR Faro 1.5") κατά τις μετρήσεις με τα δύο όργανα και ο μικρότερης διαμέτρου στόχος (SMR Faro 0.875") στις μετρήσεις με το όργανο Vantage Faro.

Το όργανο AT402 τοποθετήθηκε πάνω στο βάθρο 13 (Εικόνα 2α) και μέτρησε τις αποστάσεις μεταξύ των βάθρων καθώς και την απόσταση μεταξύ των βάθρων Α και Β σε 3 σειρές μετρήσεων. Το όργανο Vantage τοποθετήθηκε σε ειδικό βιομηχανικό τρίποδα ανάμεσα στα βάθρα 13 και 14 και μέτρησε τις αποστάσεις προς όλα τα βάθρα (Εικόνα 2β) καθώς και την απόσταση μεταξύ των βάθρων Α και Β από 3-6 σειρές μετρήσεων.

Εικόνα 2. Laser tracker (α) AT402 Leica (β) Vantage Faro

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τηρήθηκαν οι προβλεπόμενες από τους κατασκευαστές προδιαγραφές του χώρου και των συνθηκών μέτρησης, δηλαδή αποφυγή κραδασμών, εναλλαγών περιβαλλοντικών συνθηκών (πίεσης, υγρασίας και θερμοκρασίας, σκόνης), μετακίνησης μεγάλων αντικειμένων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, και ενεργοποίηση του οργάνου για περισσότερο των 30min προκειμένου να έχει θερμική σταθερότητα. Στον Πίνακα 2 περιγράφεται η σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις και στις δύο φάσεις. Σε όλες τις φάσεις των μετρήσεων οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν γενικά σταθερές (θερμοκρασία 19.5°C, υγρασία 57% και πίεση 740.8 mHg) με μικρές διακυμάνσεις.

Για την έναρξη των μετρήσεων απαιτείται να γίνεται μια αυτόματη διαδικασία ελέγχου του οργάνου με τον στόχο ώστε στη συνέχεια να μπορεί να τον παρακολουθεί. Στις μετρήσεις με το όργανο Faro χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι στόχων (βλ. Πίνακα 2) χωρίς ειδική βάση, με τον στόχο μικρότερης διαμέτρου να τοποθετείται στην οπή του βάθρου ώστε ο άξονα του στόχου να συμπίπτει με τον άξονα κέντρωσης του βάθρου (Εικόνα 3).

ΦΑΣΗ 1 - AT402 (Leica)	
Σειρά μετρήσεων	**Τύπος στόχου**
Ζέσταμα	
Σειρά 1	SMR Leica 1.5"
Σειρά 2	SMR Faro 1.5"
Σειρά 3	SMR Leica 1.5"
ΦΑΣΗ 2 - Vantage (Faro)	
Ζέσταμα	
Σειρά 1	SMR Faro 0.875"
Σειρά 2	SMR Faro 0.875"
Σειρά 3	SMR Faro 0.875"
Σειρά 4	SMR Faro 0.875"
Σειρά 5	SMR Faro 0.875"
Σειρά 6	SMR Faro 0.875"
ΦΑΣΗ 2 - Vantage (Faro)	
Ζέσταμα	
Σειρά 1	SMR Leica 1.5"
Σειρά 2	SMR Leica 1.5"
Σειρά 3	SMR Leica 1.5"

Πίνακας 2. Διαδικασία συλλογής μετρήσεων με τα laser tracker

Εικόνα 3. (α) laser tracker Faro σε διαδικασία ελέγχου (β) στόχοι Faro 1.5" και 0.875"

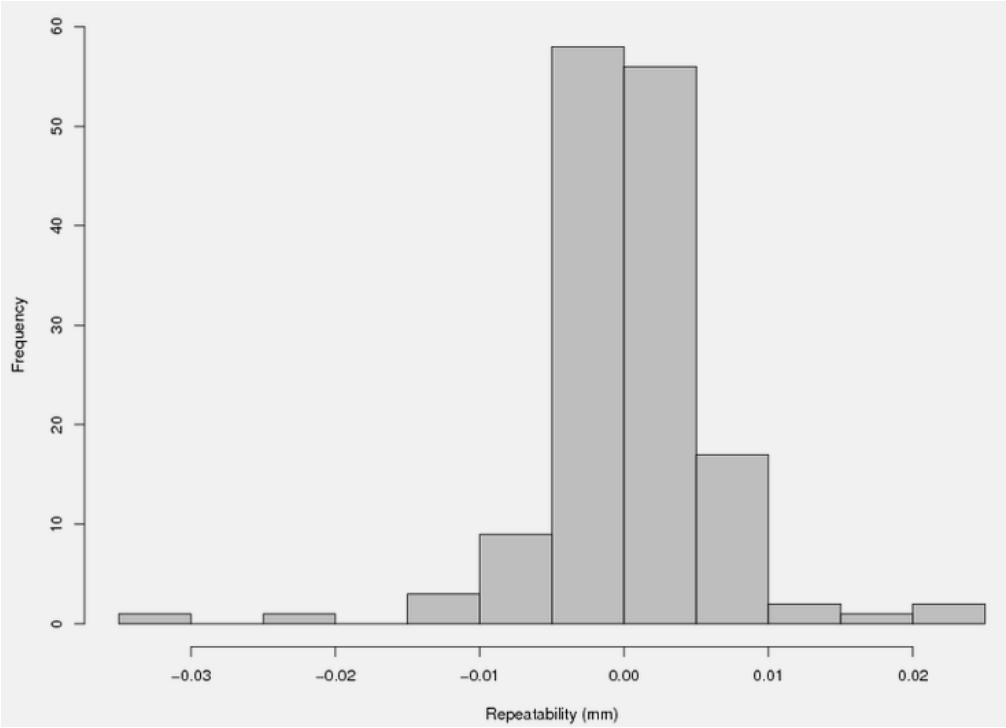
4. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στα παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε όργανο ξεχωριστά καθώς και σε συγκρίσεις των μετρημένων αποστάσεων. Ωστόσο, δεν είναι στους σκοπούς της εργασίας η μεταξύ των laser tracker σύγκριση των δυνατοτήτων τους.

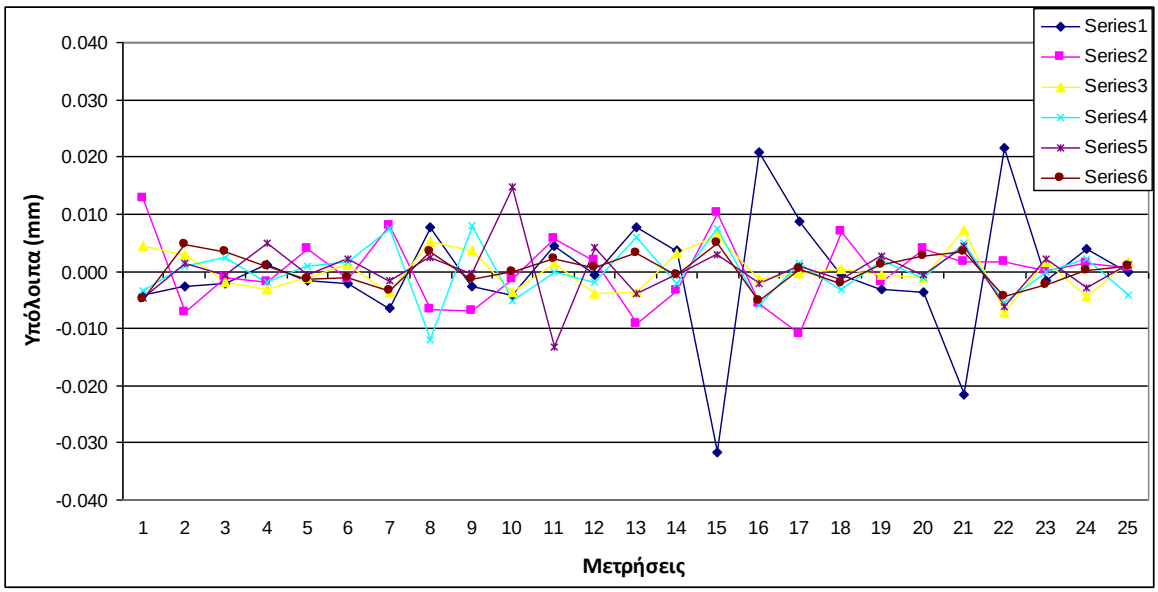
4.1 Επαναληψιμότητα μετρήσεων

Με το laser tracker Faro έγιναν συνολικά 9 σειρές μετρήσεων (117 μετρήσεις) και διαπιστώθηκε ότι η επαναληψιμότητα του οργάνου είναι εντός των ορίων του κατασκευαστή με rms των ανεξάρτητων σειρών μετρήσεων να κυμαίνεται στα 6μm (Σχήμα 2). Στο Σχήμα 3 απεικονίζονται ενδεικτικά τα υπόλοιπα των σειρών μετρήσεων της φάσης 2 (από τη μέση τιμή). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η πρώτη σειρά παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές και οι τελευταίες τρεις σειρές έχουν τις μικρότερες τιμές. Αυτό φαίνεται να δικαιολογείται από τη χρονική περίοδο «ζεστάματος» του οργάνου κατά την

οποία ο κατασκευαστής προτείνει τουλάχιστον 45min ενώ η πρακτική που συναντάται στη βιβλιογραφία προτείνει το λιγότερο δύο ώρες (Ekinci, 2015).



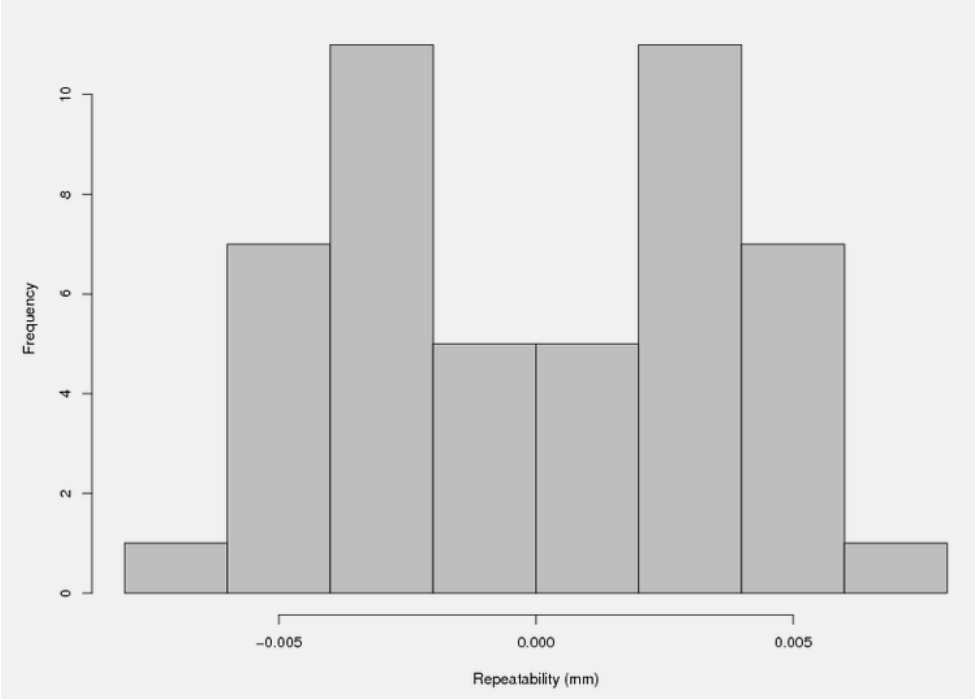
Σχήμα 2. Επαναληψιμότητα μετρήσεων του οργάνου Vantage Faro



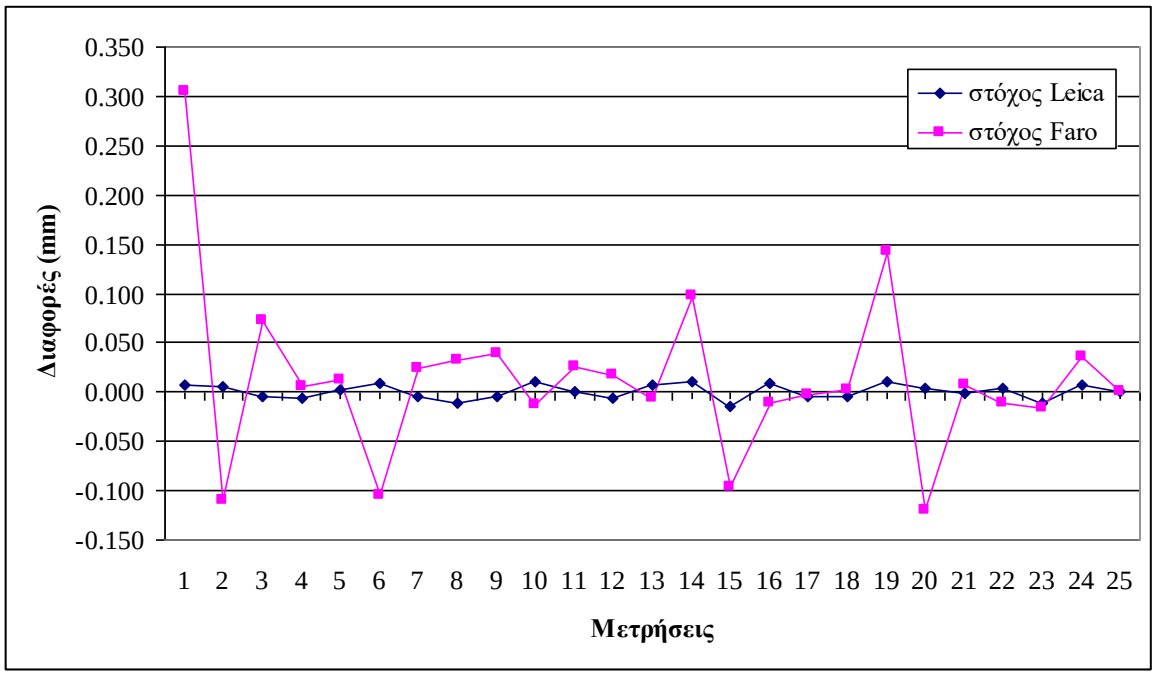
Σχήμα 3. Υπόλοιπα μετρήσεων από μέση τιμή (φάση 2, όργανο Vantage Faro)

4.2 Αποτελέσματα laser tracker Leica

Από τις μετρήσεις (26 μετρήσεις) με το laser tracker Leica με τη χρήση του στόχου της ίδιας κατασκευάστριας εταιρείας, προέκυψε ότι η επαναληψιμότητα των μετρήσεων είναι της τάξης των ±3μm (τυπική απόκλιση), όπως φαίνεται στο ιστόγραμμα (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Επαναληψιμότητα μετρήσεων του οργάνου AT402 Leica



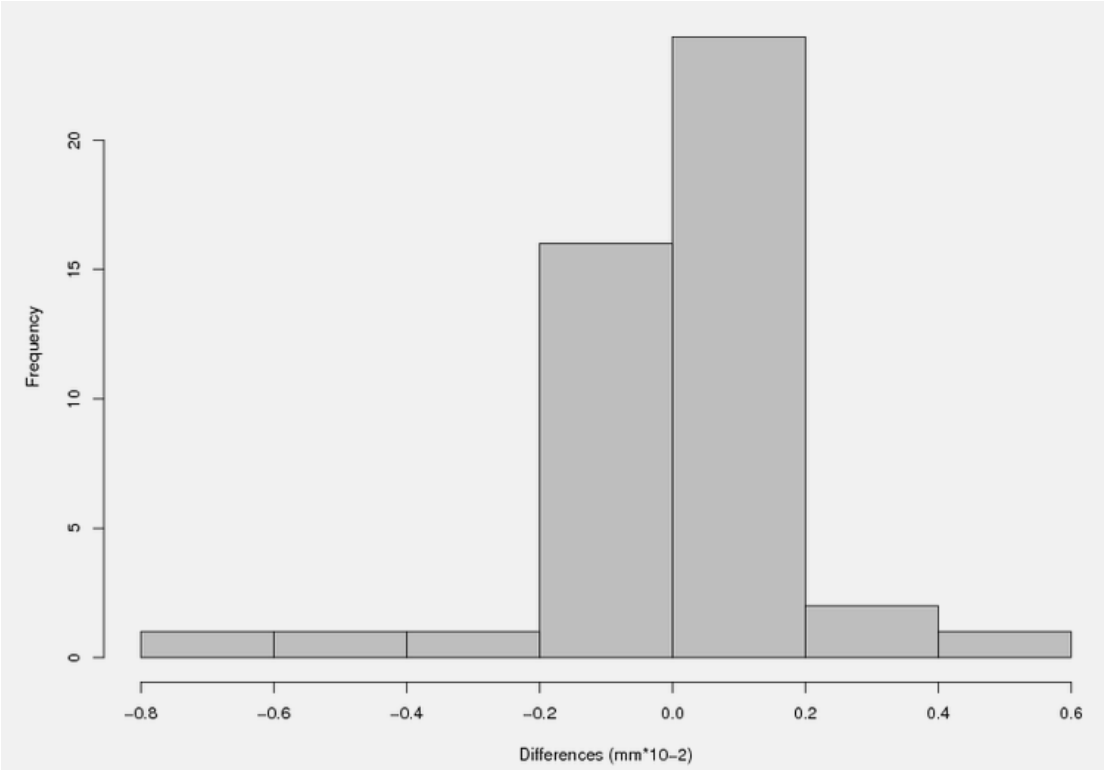
Σχήμα 5. Διαφορές μεταξύ των 3 σειρών μετρήσεων με το laser tracker AT402

Στο Σχήμα 5 δίνονται οι διαφορές μεταξύ των τριών σειρών μετρήσεων για το laser tracker AT402, και συγκεκριμένα μεταξύ των σειρών με χρήση του στόχου Leica και των σειρών με χρήση του στόχου Faro. Οι διαφορές αναφέρονται στην τελευταία (σειρά 3) της φάσης 1 διότι το όργανο είχε μεγαλύτερο χρόνο σταθεροποίησης του από την ώρα έναρξης των μετρήσεων. Το rms των διαφορών είναι 7.35μm και 8.578μm αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, η χρήση διαφορετικού στόχου από αυτόν που προτείνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο όργανο έχει επιδράσει στην ακρίβεια των μετρήσεων

χειροτερεύοντάς την κατά 10 φορές περίπου. Επίσης, παρατηρείται ότι για τις μετρήσεις που αφορούν μικρότερες αποστάσεις από το όργανο (πχ μετρήσεις 7 έως 13, 16-18 στο Σχ. 3) οι διαφορές είναι αρκετά μικρότερες και πλησιάζουν περισσότερο τις αντίστοιχες τιμές με τον στόχο Leica.

4.3 Αποστάσεις βάθρων

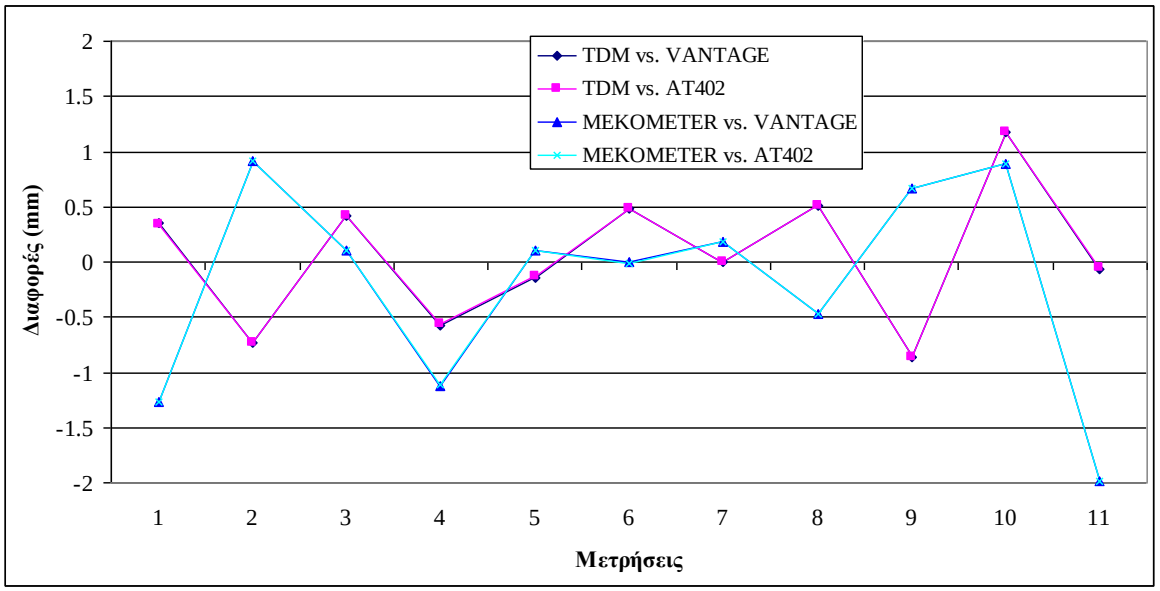
Βάσει των πρωτογενών μετρήσεων (X, Y, Z) του laser tracker υπολογίσθηκαν οι κεκλιμένες αποστάσεις μεταξύ των βάθρων και με τα δύο όργανα. Οι διαφορές τους δίνονται σε ιστόγραμμα (Σχήμα 6) και το rms των διαφορών είναι 0.002μm.



Σχήμα 6. Διαφορές κεκλιμένων αποστάσεων των βάθρων μεταξύ των 2 οργάνων

Επίσης, από τις πρωτογενείς μετρήσεις έγινε έλεγχος της εθυγραμμίας των κεφαλών στα βάθρα και διαπιστώθηκε ότι αυτή τηρείται με απόκλιση ±1mm. Το ίδιο ισχύει για την υψομετρία των κεφαλών όπου με τις μετρήσεις αποδείχθηκε ότι υπάρχει ισοϋψία με εύρος ±1mm.

Επιπλέον των συγκρίσεων των αποστάσεων από τα δύο laser tracker, έγιναν συγκρίσεις και μεταξύ των μετρημένων αποστάσεων από παλαιότερες προσπάθειες (Αλεξίου, 2011), όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2. Συγκεκριμένα, οι συγκρίσεις αφορούν στις μετρημένες αποστάσεις των βάσεων με τα όργανα Mekometer ME3000 και TDM5000 της Leica (ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων $\pm$ 1mm $\pm$ 2ppm σύμφωνα με τον κατασκευαστή). Οι βάσεις που αναφέρονται στις συγκρίσεις είναι από το βάθρο 15 έως και το βάθρο 26 (βλ. Σχ. 1) δεδομένου ότι μόνο αυτά μόνο τα βάθρα είχαν αρχικά εγκατασταθεί και μετρηθεί με το όργανο Mekometer ME3000. Στο Σχήμα 7 δίνονται γραφικά οι διαφορές μεταξύ των 4 διαφορετικών οργάνων με τα rms των διαφορών να είναι 0.6mm για διαφορές μεταξύ του Mekometer και των δύο laser tracker, και 0.9mm μεταξύ του TDM5000 και των δύο laser tracker.



Σχήμα 7. Διαφορές αποστάσεων σε σύγκριση με παλαιότερες μετρήσεις

5. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ιδιαίτερης σημασίας, δεδομένου ότι μετρήθηκε η βάση ελέγχου οργάνων μέτρησης μηκών του Κέντρου Μετρολογίας του ΕΜΠ για πρώτη φορά με laser tracker μετά τις μετρήσεις αναφοράς που πραγματοποιήθηκαν το 1979 με το όργανο Mekometer ME3000. Με τον τρόπο αυτό, αποκτήθηκε η γνώση για τα ακριβή μήκη μεταξύ των βάθρων, η οποία θα αποτελέσει σημείο αναφοράς για τη μελλοντική χρήση της βάσης.

Τα δύο laser tracker παρέχουν μετρήσεις της ίδιας ακρίβειας (διαφορές ±2μm) και όλες οι διαδικασίες συλλογής δεδομένων έγιναν υπό καταγραφόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης, οι οποίες θεωρούνται σταθερές για τις τρεις φάσεις μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

Με τις μετρήσεις των δύο laser tracker επιβεβαιώθηκε η εθυγραμμία και ισουψία των κεφαλών των κεφαλών των βάθρων τα οποία τηρούνται με απόκλιση ±1mm.

6. Βιβλιογραφία

Αλεξίου Α. (2011) Εφαρμογή του προτύπου ISO 17/23-4 σε εσωτερική βάση- Δημιουργία ευέλικτης εξωτερικής βάσης μετρολογικού ελέγχου μηκών. Διπλ. Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχ/κων, ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτώβριος.

Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., (2005) Η εξέλιξη των επίγειων συμβατικών γεωδαιτικών οργάνων τον 20ο αιώνα στην Ελλάδα. Πρακτικά Επιστ. Συνεδρίου, "Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα", 15-16 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ 305-335.

Ekinci O. (2015) 5 Laser tracker warm-up tips for ideal measurement conditions. 27 /03/2015, http://www.builditsoftware.com/2015/03/5-laser-tracker-warm-tips-ideal-measurement-conditions/