

ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

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

Περίληψη

Η εξέλιξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (total station) τα τελευταία χρόνια είναι ραγδαία, κυρίως σε ότι αφορά στο βεληνεκές αλλά και στην αβεβαιότητα μέτρησης των μηκών. Στο 4^ο μέρος του ISO με αριθμό 17123-4, περιλαμβάνεται η διαδικασία μετρολογικού ελέγχου και υπολογισμού της αβεβαιότητας μέτρησης του μήκους που παρέχει ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός.

Στην εργασία αυτή, ακολουθώντας τις απαιτήσεις του ISO, διερευνάται η λειτουργικότητα μιας ευέλικτης εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, με σκοπό τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας μέτρησης του μήκους.

Η ιδέα της εγκατάστασης μιας ευέλικτης βάσης αφορά στην εναλλακτική υλοποίηση των κορυφών της με διαφορετικού τύπου κατασκευή. Αυτό ελαχιστοποιεί το κόστος αλλά και το χρόνο κατασκευής – υλοποίησής της.

Παρουσιάζεται μια πειραματική εφαρμογή που πραγματοποιείται σε εξωτερικό χώρο, χρησιμοποιώντας δύο σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς υψηλής ακρίβειας. Καταγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται καθώς και το σύνολο του εξοπλισμού (όργανα – παρελκόμενα) που είναι απαραίτητος.

Ακολουθεί η ανάλυση των παρατηρήσεων (μετρήσεων) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα ομόλογα που έχουν προκύψει για τους δύο σταθμούς, μετά από αντίστοιχο μετρολογικό έλεγχο σε μόνιμη βάση μετρολογικού ελέγχου της κατασκευάστριας εταιρείας.

Αναλύεται η κατασκευή (αποσπώμενο βάθρο) που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της βάσης, καταγράφοντας τα στοιχεία εκείνα που την καθιστούν ευέλικτη, αποδοτική και οικονομικότερη σε σχέση με τις υπάρχουσες στο εξωτερικό. Προτείνεται η βάση να αποτελείται από 7 κορυφές, όπως ορίζει το ISO ή και περισσότερες για τον έλεγχο διαφορετικών οργάνων, υλοποιημένες με τα ειδικά αποσπώμενα βάρη.

Στα συμπεράσματα αναδεικνύεται το οικονομικό όφελος από τη χρήση μια τέτοιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η επιλογή του χώρου εγκατάστασής της.

Λέξεις-Κλειδιά: ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός, ISO17123-4, εναλλακτική βάση ελέγχου μέτρησης μήκους, αποσπώμενο βάθρο, αβεβαιότητα μήκους.

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

INVESTIGATING THE ESTABLISHMENT OF AN ALTERNATIVE OUTDOOR CONTROL BASELINE FOR THE ACCREDITATION OF TOTAL STATIONS IN DISTANCE MEASUREMENTS

Abstract

The development of high end total stations in recent years has been quite rapid, particularly in regard to the range and the uncertainty in measuring distances. In the fourth part of the ISO 17123-4, the process of the metrological check and the calculation of the measurement uncertainty of any distance, provided by total stations, are included.

In this paper, we will investigate how functional and flexible an outdoor control baseline is for determining the measurement of uncertainty in distances, in accordance with ISO. The idea for the establishment of a convenient outdoor control baseline focuses on the alternative realization of its pillars, by using special manufactured detachable stands. This minimizes the cost and the construction time.

An experiment is carried out at a designated site, using two modern total stations of high precision. The methodology and all the necessary equipment (devices - components) are referred to and described. The analysis of the measurements is followed by using the least squares method and the results are presented. The results are then compared with those determined for both the total stations, during their recent metrological check abroad, at the manufacture's original outdoor baseline.

The prototype, manufactured detachable stand, which is being proposed to be utilized for the realization of such an outdoor control baseline, is presented. The advantages, which make this baseline more convenient, flexible and more cost-effective than those which already exist abroad, are noted on. Consequently, obvious are the financial benefits of the use of such a control baseline, as well as the ease in its placement combined with the simplicity in the site selection.

Keywords: ISO 17123-4, total station, distance, alternative outdoor baseline, uncertainty of distance measurement, detachable stands.

1. Εισαγωγή

Η μέτρηση του μήκους αποτέλεσε από τα αρχαία ακόμη χρόνια σημαντική αναγκαιότητα στη λειτουργία και στην εξέλιξη της ανθρώπινης δραστηριότητας. Για την επίτευξη της μέτρησης μηκών κατασκευάστηκαν όργανα απλά ή πιο σύνθετα. Από το σχοινίο ή αρπεδόνη που χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Αιγύπτιους και πιθανότατα από τους Βαβυλώνιους και τους Κινέζους, τη μετρητική αλυσίδα που χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Έλληνες τον 8^ο π.Χ αιώνα, (Ρωσικόπουλος, 2006), περάσαμε στην Ευρώπη του 18^{ου} αιώνα, με τη χρήση ξύλινων μετρητικών κανόνων, οι οποίοι στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν με σιδερένιους. Το 19^ο αιώνα, για τις μετρήσεις μεγάλων μηκών (2 – 3km) χρησιμοποιήθηκαν τα σύρματα invar με ικανοποιητική αβεβαιότητα.

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, για τη μέτρηση μηκών μικρού μεγέθους, χρησιμοποιούνται μετροταινίες χαλύβδινες, λινές ή κατασκευασμένες από υλικό Fiberglass. Από το 1995 κυκλοφόρησαν στην αγορά οι ηλεκτρονικές μετροταινίες, οι οποίες έχουν σήμερα τη δυνατότητα μέτρησης μήκους μέχρι 200m με αβεβαιότητα $\pm 2\text{mm}$.

Η δημιουργία συστημάτων μέτρησης μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτέλεσε την επανάσταση στις γεωδαιτικές μετρήσεις. Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια μέτρησης του μήκους με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων έγινε κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όταν ο Hartl παρουσίασε τη συσκευή Radar. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 κατασκευάστηκαν όργανα μικρότερα σε μέγεθος και βάρος, που είχαν τη δυνατότητα μέτρησης του μήκους με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, γνωστά ως EDM (Electromagnetic Distance Measurement). Σήμερα η άμεση μέτρηση μηκών γίνεται χρησιμοποιώντας τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (total stations) οι οποίοι εξελισσόμενοι έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του μήκους και χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα (reflectorless) (Λάμπρου, Πανταζής, 2010).

Η εξέλιξη των συστημάτων μέτρησης του μήκους, συνοδεύτηκε και από την αναγκαιότητα διακρίβωσής τους, ώστε να βεβαιώνεται η ορθή λειτουργία τους και να υπολογίζεται η αβεβαιότητα που παρέχουν στη μέτρηση. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διαχρονικά διαδικασίες (μετρήσεις – υπολογισμοί) με τις οποίες είναι δυνατός ο μετρολογικός έλεγχος απλών ή σύνθετων συστημάτων μέτρησης του μήκους.

Ο Διεθνής Οργανισμός για την τυποποίηση (ISO) έχει ορίσει συγκεκριμένες διαδικασίες που οδηγούν στην διακρίβωση ηλεκτροπτικών οργάνων μέτρησης μήκους.

Κατά τη διαδικασία της διακρίβωσης ενός οργάνου διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβειά του στη μέτρηση του συγκεκριμένου μεγέθους. Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται στο 4^ο μέρος του ISO με αριθμό 17123-4, όπου αναλύεται η διαδικασία μετρολογικού ελέγχου και υπολογισμού της αβεβαιότητας μέτρησης του μήκους που παρέχει ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός.

Οι απαιτήσεις του προτύπου ISO για τον έλεγχο των μηκών σε ειδικές εξωτερικές βάσεις είναι ιδιαίτερα αυστηρές και η υλοποίησή τους ιδιαίτερα δαπανηρή και επίπονη.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η εκτέλεση του προτύπου χρησιμοποιώντας εξίσου αυστηρές προδιαγραφές που να υλοποιούνται όμως με τρόπο ευέλικτο, πρακτικό και λιγότερο δαπανηρό, ώστε η διαδικασία να γίνει απλούστερη και να μπορεί να εφαρμοστεί από περισσότερους χρήστες.

2. Βάσεις μετρολογικού ελέγχου στο εξωτερικό

Η εταιρεία Leica Geosystems είναι μια από τις λίγες, παγκοσμίως, εταιρείες διακρίβωσης - γεωδαιτικών οργάνων, στην οποία επιτρέπεται η έκδοση πιστοποιητικών, όπως ακριβώς και σε έναν εθνικό διαπιστευμένο οργανισμό. Για τις ανάγκες της διακρίβωσης και την έκδοση των απαραίτητων πιστοποιητικών, η εταιρεία έχει κατασκευάσει μια εξωτερική βάση ελέγχου μηκών (Leica Geosystems AG, 2008).

Η βάση έχει κατασκευαστεί κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Ρήνου κοντά στο Heerburgg, στα σύνορα Ελβετίας – Γερμανίας και έχει μήκος 3Km. Αποτελείται από ειδικά βάθρα κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, θεμελιωμένα σε βάθος 3m, με το μέρος που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (1m) να καλύπτεται με πλαστικό κύλινδρο, για να προστατεύεται από την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην κεφαλή κάθε βάθρου έχει τοποθετηθεί μόνιμα ένα τρικόχλιο, στο οποίο τοποθετείται

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

κάθε φορά το υπό έλεγχο όργανο και αντίστοιχα αντάπτορας με ανακλαστήρα. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η μοναδικότητα στην κέντρωση και στην οριζοντίωση του οργάνου. Ακόμη, σε κάθε βάθρο τοποθετείται σύστημα συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων. Η βάση είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται στο ISO 17123 – 4 και η διακρίβωση γίνεται με τη μέτρηση μηκών 500m, 1000m, 2000m και 3000m. Το τυπικό εύρος διακρίβωσης είναι τα 500m, με ένα συνδυασμό μετρήσεων 21 μηκών (Leica Geosystems AG, 2010).

Αντίστοιχη εξωτερική βάση ελέγχου έχει κατασκευάσει πρόσφατα το πανεπιστήμιο Bundeswehr στο Μόναχο της Γερμανίας. Η βάση είναι κατασκευασμένη και θεμελιωμένη σε μια όχθη ποταμού, όπου υπάρχει καλός αερισμός και φωτισμός. Οι μετρήσεις της βάσης διήρκεσαν από τον Οκτώβριο του 2009 έως τον Οκτώβριο του 2010, ενώ μέχρι τον Ιανουάριο του 2011 γινόταν εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Από την αναζήτηση που έγινε κυρίως στο διαδίκτυο, προέκυψε ότι αντίστοιχες εξωτερικές βάσεις μετρολογικού ελέγχου μηκών είναι εγκατεστημένες και στην Αυστραλία.

3. Το ISO 17123-4

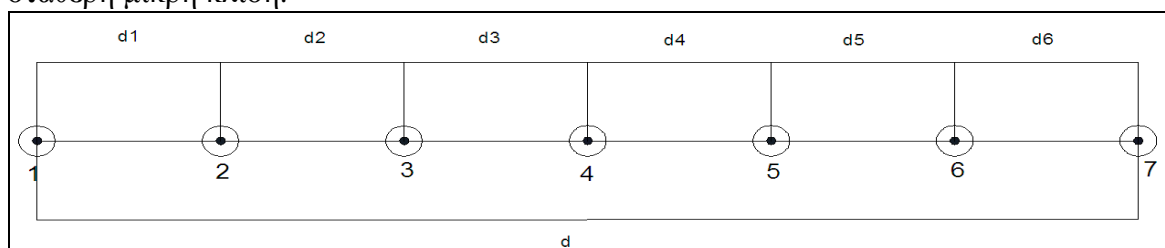
Η ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου, όπως προβλέπεται από το ISO 17123-4 εφαρμόζεται ώστε να προσδιοριστεί η αβεβαιότητα που μπορεί να παρέχει ένα όργανο μέτρησης μηκών (EDM) και ο βοηθητικός εξοπλισμός του σε συνθήκες πεδίου. Βασίζεται σε μετρήσεις μηκών με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, σε μια υλοποιημένη βάση ελέγχου (ISO 17123, 2001).

Η πειραματική τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης υπολογίζεται από την επίλυση με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιώντας τα μετρούμενα μήκη με όλους τους συνδυασμούς.

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για να προσδιοριστούν:

- η αβεβαιότητα στη μέτρηση μήκους σε συγκεκριμένο χρόνο, όταν χρησιμοποιείται ένα total station από ένα συνεργείο, με τον κατάλληλο εξοπλισμό του
- η επιβεβαίωση της αβεβαιότητας ενός οργάνου με την πάροδο του χρόνου
- η συγκριτική αξιολόγηση της αβεβαιότητας μιας σειράς total stations, σε παρόμοιες συνθήκες πεδίου.

Για τη διαδικασία αυτή, απαιτείται να ιδρυθεί μια βάση ελέγχου, μήκους περίπου $d_0 = 600\text{m}$, αποτελούμενη από 7 σημεία σε ευθεία γραμμή, σε έδαφος οριζόντιο, ή με σταθερή μικρή κλίση.



Σχήμα 1 Σχηματική παράσταση της βάσης για την ολοκληρωμένη διαδικασία ελέγχου

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

Τα σημεία πρέπει να παραμείνουν σταθερά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Για να προκύψουν αντιπροσωπευτικές τιμές της πειραματικής τυπικής απόκλισης s και της διόρθωσης του μηδενικού σφάλματος, τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να επιλεγούν με τρόπο τέτοιο ώστε τα επιμέρους μετρούμενα μήκη που καθορίζονται από μετρήσεις φάσης, να είναι ισοκαταναμημένα στη μονάδα μήκους του οργάνου.

Τα έξι μήκη $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ μεταξύ των 7 σημείων (σχήμα 1) και το συνολικό μήκος d_0 , υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$d_1 = \lambda + \beta + 3 \cdot \gamma \quad (1)$$

$$d_2 = \lambda + 3 \cdot \beta + 7 \cdot \gamma \quad (2)$$

$$d_3 = \lambda + 5 \cdot \beta + 11 \cdot \gamma \quad (3)$$

$$d_4 = \lambda + 4 \cdot \beta + 9 \cdot \gamma \quad (4)$$

$$d_5 = \lambda + 2 \cdot \beta + 5 \cdot \gamma \quad (5)$$

$$d_6 = \lambda + \gamma \quad (6)$$

$$d_0 = 6 \cdot \lambda + 15 \cdot \beta + 36 \cdot \gamma \quad (7)$$

Όπου

λ = Το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το όργανο

$$\gamma = \frac{\lambda}{72}$$

$$\beta_0 = \frac{d_0 - 6.5 \cdot \lambda}{15} \rightarrow \beta, \text{ το ακέραιο μέρος του } \beta_0$$

Σύμφωνα με το ISO οι μετρήσεις των μηκών πρέπει να γίνουν ίδια μέρα, χρησιμοποιώντας ικανοποιητικό αριθμό ανακλαστήρων και συστήματα εξαναγκασμένης κέντρωσης ώστε να ελαχιστοποιούνται τα αντίστοιχα σφάλματα.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να λαμβάνονται μετεωρολογικά δεδομένα (πίεση και θερμοκρασία), ώστε να γίνονται αυτόματα οι απαραίτητες διορθώσεις στα μετρούμενα μήκη.

Από τη συνόρθωση των παρατηρήσεων με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (ισοβαρείς παρατηρήσεις) προσδιορίζονται οι διορθωμένες τιμές των μετρούμενων μηκών. Οι άγνωστοι παράμετροι είναι οι τιμές των έξι μηκών $\bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3, \bar{d}_4, \bar{d}_5, \bar{d}_6$ και η διόρθωση μηδενικού σφάλματος δ .

Ως μηδενικό σφάλμα (ή σταθερά οργάνου) ορίζεται το μήκος της διαδρομής που ακολουθεί κάθε φορά η ακτινοβολία μέσα στο τηλεσκόπιο του οργάνου από το σημείο εκπομπής της μέχρι το σημείο μέτρησης (αναφοράς) του μήκους δηλ. το σημείο τομής των αξόνων του σταθμού.

Ακολουθεί ο απαραίτητος στατιστικός έλεγχος, χρησιμοποιώντας την κατανομή χ^2 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% προκειμένου να εξεταστεί αν η υπολογιζόμενη τυπική απόκλιση s_0 είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή s_0 που δίνει ο κατασκευαστής.

4. Έλεγχος της αξιοπιστίας μιας ευέλικτης εξωτερικής βάσης

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

Πριν από την απόφαση εγκατάστασης μιας εξωτερικής βάσης, με απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί η λειτουργικότητα και η αποτελεσματικότητα του προτύπου ISO χωρίς την εγκατάσταση μόνιμων βάθρων. Έτσι έγινε μια προσπάθεια προεκτίμησης – αξιολόγησης ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Επελέγει να εφαρμοστεί η διαδικασία του ISO σε μια βάση περίπου 300m (εικόνα1), χρησιμοποιώντας απλούς γεωδαιτικούς τρίποδες. Σε αυτή τη βάση έγιναν μετρήσεις με δύο διαφορετικούς γεωδαιτικούς σταθμούς, τους TDM 5000, TCA1800, οι οποίοι είχαν προηγούμενα διακριβωθεί από την εταιρεία Leica για τη μέτρηση του μήκους με συγκεκριμένο τύπο ανακλαστήρα (Αλεξίου, 2011). Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις είναι:

- Ειδικό πρίσμα CCR 1.5"
- 7 τρίποδες
- 7 τρικόχλια
- Σύστημα συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων (ALMEMO 2290-8)
- Υλικά σήμανσης
- Συσκευές ενδοεπικοινωνίας (ασύρματοι)



Εικόνα 1. Περιοχή εκτέλεσης του πειράματος

Για τη πραγματοποίηση των μετρήσεων ήταν αναγκαίο να τοποθετηθούν οι τρίποδες σε συγκεκριμένες μεταξύ τους αποστάσεις, όπως ορίζονται από τις απαιτήσεις του ISO.

Αρχικά, τοποθετήθηκε ο πρώτος τρίποδας με τον γεωδαιτικό σταθμό TDM 5000 στο ένα άκρο της ευθείας και ένας δεύτερος τρίποδας, όσο το δυνατόν πιο μακριά από τον πρώτο, σε απόσταση 293.5m. Κατόπιν υπολογίστηκαν τα μήκη σύμφωνα με τις σχέσεις (1– 6).

Σύμφωνα με το ISO 17123-4, τα μήκη μεταξύ των σημείων της ευθείας βρίσκονται χρησιμοποιώντας το συνολικό μήκος της ευθείας d_0 και το μήκος κύματος (λ) της διαμορφωμένης ακτινοβολίας του χρησιμοποιούμενου οργάνου.

Για τους γεωδαιτικούς σταθμούς TDM 5000 και TCA1800 το μήκος της διαμορφωμένης ακτινοβολίας είναι $\lambda = 6m$.

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

Αφού $d_0 = 293.5\text{m}$, προκύπτει: $\beta = 17\text{m}$ και $\gamma = 0.083\text{m}$. Οι ενδιάμεσες αποστάσεις προκύπτουν ίσες με $d_1 = 23.249\text{m}$, $d_2 = 57.581\text{m}$, $d_3 = 91.913\text{m}$, $d_4 = 74.747\text{m}$, $d_5 = 40.415\text{m}$, $d_6 = 6.083\text{m}$.

Ακολούθησε η χάραξη των σημείων της βάσης και η τοποθέτηση των τριπόδων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας εναλλάξ και τους δύο ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς χωρίς να μετακινηθούν οι τρίποδες από τη θέση τους.

Ακολούθησε η επεξεργασία των μετρήσεων σύμφωνα με το ISO και ο προσδιορισμός των καλύτερων τιμών των μετρούμενων μηκών, αλλά κυρίως της τυπικής απόκλισης της μίας μέτρησης, η οποία είναι ίση με $s = \pm 0.5\text{mm}$ & $s = \pm 2\text{mm}$ για τους γεωδαιτικούς σταθμούς Leica TDM 5000, Leica TCA1800 αντίστοιχα. Προσδιορίστηκαν επίσης οι τιμές του μηδενικού σφάλματος 0.13mm & 4.4mm αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία της επίλυσης του ISO για τους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς TDM5000 και TCA1800 βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά που προέκυψαν από την πρόσφατη διακρίβωσή τους από την κατασκευάστρια εταιρεία Leica Geosystems και είναι αντίστοιχα $\pm 0.4\text{mm}$ και $\pm 2\text{mm}$.

5. Υλοποίηση μιας ευέλικτης εξωτερικής βάσης

Τα ικανοποιητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του προτύπου ISO σε βάση με προσωρινά σημεία, επιτρέπουν την πρόταση για την εγκατάσταση και χρήση μίας εναλλακτικής βάσης σε εξωτερικό χώρο για τον μετρολογικό έλεγχο οργάνων μέτρησης μηκών. Από την εφαρμογή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο έγινε εμφανές ότι το ISO 17123-4 μπορεί να εφαρμοστεί σε εξωτερική βάση, χωρίς την εγκατάσταση μόνιμων σημείων (βάθρων) από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές όπως ορίζονται στο ISO, για τις μετρήσεις απαιτείται μια ευθεία, μήκους περίπου 600m , με μικρή ή μηδενική κλίση.

Το πρώτο σημαντικό στοιχείο αυτής της βάσης είναι ο τρόπος σήμανσης των κορυφών της. Για να δικαιολογεί τον όρο "**ευέλικτη**" θα πρέπει να υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε αφενός να διασφαλίζεται η μοναδική κέντρωση και η σταθερή οριζοντίωση των οργάνων και των ανακλαστήρων και αφετέρου να είναι πιο **οικονομική** στην κατασκευή και στη λειτουργία.

Για το λόγο αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθούν, αντί για μόνιμα βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα, ειδικά αποσπώμενα βάθρα από ανοξείδωτο ατσάλι που είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υλοποιείται η μονοσήμαντη κέντρωση του χρησιμοποιούμενου γεωδαιτικού εξοπλισμού.

Τα βάθρα (εικόνα 2) αποτελούνται από δύο μέρη:

- μια βάση (πλακέτα), η οποία τοποθετείται μόνιμα στο έδαφος και σταθεροποιείται με τσιμέντο ή εποξυδική ρυτίνη (εικόνα 3). Η τοποθέτηση της πλακέτας στο έδαφος πρέπει να γίνει οριζόντια. Αυτό επιτυγχάνεται κατά τη στιγμή της τοποθέτησης της με χρήση αεροστάθμης ακριβείας ή ψηφιακού αλφαδιού.
- έναν αποσπώμενο στυλεό ο οποίος μπορεί να βιδώνεται με μονοσήμαντο τρόπο επάνω στην πλακέτα. Ο στυλεός φέρει στην κεφαλή του ειδικό κοχλία (βίδα), με τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η τοποθέτηση του γεωδαιτικού εξοπλισμού (τρικόχλιο ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού ή ανακλαστήρα).

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.



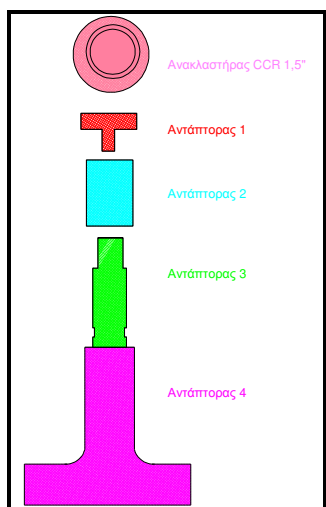
Εικόνα 2. Αποσπώμενο μεταλλικό βάθρο



Εικόνα 3. Ειδική βάση (πλακέτα)

Η **ευελιξία** της βάσης επιτρέπει επιπλέον την εγκατάστασή της σε έδαφος με μικρές κλίσεις.

Στην περίπτωση αυτή για την εξασφάλιση της ορατότητας του ανακλαστήρα από όλα τα σημεία της βάσης καθώς και της μέτρησης της οριζόντιας απόστασης κάθε φορά, χρησιμοποιείται ειδική κατασκευή τοποθέτησης του ανακλαστήρα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2 και στην εικόνα 4, το σύστημα αυτό αποτελείται από πέντε μέρη: τον ανακλαστήρα και τέσσερα άλλα ανεξάρτητα τμήματα. Όλο το σύστημα τοποθετείται πάνω στο οριζοντιωμένο τρικόχλιο και έχει τη δυνατότητα μεταβολής του ύψους του έως και 10cm, ώστε να διασφαλίζει οριζόντιες σκοπεύσεις.



Σχήμα 2. Ειδικός προσαρμογέας



Εικόνα 3. Ειδικός προσαρμογέας

Το πρώτο τμήμα είναι ένας ισχυρός μαγνήτης, ώστε να προσαρμόζεται σε αυτόν ο σφαιρικός ανακλαστήρας CCR 1.5" (όταν χρησιμοποιείται) και να παραμένει σταθερά στη θέση του.

Το δεύτερο τμήμα συνδέει το πρώτο με το τρίτο, το τρίτο χρησιμεύει για την μεταβολή του ύψους του ανακλαστήρα, ενώ το τέταρτο χρησιμοποιείται για την προσαρμογή του συστήματος στο τρικόχλιο.

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

Η εγκατάσταση των αποσπώμενων - βιδωτών αυτών βάθρων είναι εύκολη και γρήγορη. Δεν επηρεάζει το χώρο, αφού οι στυλεοί μπορούν να αποσπώνται και να επανατοποθετούνται όταν χρησιμοποιείται η βάση. Χρειάζονται μόνο δύο στυλεοί για μια ολοκληρωμένη σειρά (21 μήκη) μετρήσεων. Μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν αρκετές ειδικές βάσεις (πλακέτες) στο έδαφος σε διάφορες αποστάσεις σύμφωνα με τους υπολογισμούς, που να καλύπτουν μετρήσεις με γεωδαιτικούς σταθμούς που λειτουργούν σε διαφορετικά μήκη κύματος λ. Αυτή είναι μια **επιπλέον ιδιαιτερότητα** της βάσης, αφού είναι λιγότερο δαπανηρή και επιπλέον δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι τώρα στις υπάρχουσες βάσεις οι οποίες εξυπηρετούν όργανα συγκεκριμένου μήκους κύματος λ. Τέλος η σταθερότητα και η αξιοπιστία των βάθρων ως προς την εξαναγκασμένη κέντρωση και κατακορύφωση του στυλεού, έχει βεβαιωθεί με επιτυχία σε προηγούμενες ερευνητικές εργασίες (Lambrou E., κ.α 2008), (Delikaraoglou D., κ.α 2010).

6. Συμπεράσματα – Πρόταση

Η συνεχής χρήση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών κάνει επιτακτική την ανάγκη τακτικού ελέγχου τους και διακρίβωσής τους για την αβεβαιότητα της παρεχόμενης μέτρησης του μήκους.

Οι μόνιμες βάσεις ελέγχου βρίσκονται σε λίγα επιλεγμένα σημεία του πλανήτη μας. Έτσι είναι απαραίτητη η δημιουργία μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης ελέγχου σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO. Επειδή η κατασκευή μιας τέτοιας βάσης με βάθρα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, στην εργασία αυτή προτείνεται η κατασκευή και εγκατάσταση από απλούστερα υλικά και διαδικασία.

Όπως απέδειξε η εφαρμογή η οποία πραγματοποιήθηκε με χρήση τριπόδων, μια τέτοια βάση είναι δυνατόν να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του ISO, αφού τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα με τη διακρίβωση των σταθμών στην πρότυπη βάση.

Στα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας βάσης καταγράφονται το μικρότερο κόστος και η ευκολία εγκατάστασης, ενώ παράλληλα είναι δυνατό να εγκατασταθούν περισσότερα σημεία για έλεγχο γεωδαιτικών σταθμών διαφορετικών κατασκευαστριών εταιρειών.

Επίσης διευκολύνεται η επιλογή του χώρου εγκατάστασης της. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η διακριτική εγκατάστασή της, η οποία δεν δημιουργεί μια μόνιμη σοβαρή παρέμβαση στο χώρο που επιλέγεται.

Ακόμη με τη χρήση της δεύτερης κατασκευής υποδοχής του ανακλαστήρα δεν απαιτείται εντελώς οριζόντιο έδαφος σε τόσο μεγάλο μήκος το οποίο είναι δύσκολο να βρεθεί στη χώρα μας. Έτσι η εγκατάσταση μπορεί να γίνει ευκολότερα και σε μεγαλύτερο μήκος από τα 600m, στα 1000m ή 2000m, όπως οι αντίστοιχες βάσεις στο εξωτερικό.

Η εγκατάσταση και χρήση μιας τέτοιας βάσης θα δώσει πρακτική λύση στον έλεγχο της μέτρησης του μήκους με γεωδαιτικούς σταθμούς πρώτης τάξης, αφού μέχρι τώρα αυτό γινόταν μόνο σε λίγα μέρη στον κόσμο και θα ενδυναμώσει τις ερευνητικές δραστηριότητες του Κέντρου Μετρολογίας της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ.

Τέλος η ίδια βάση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για τη διακρίβωση δεκτών του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού.

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

Βιβλιογραφία

Αλεξίου Α. "Εφαρμογή του προτύπου ISO 17123-4 σε εσωτερική βάση ελέγχου μηκών. Δημιουργία ευέλικτης εξωτερικής βάσης μετρολογικού ελέγχου μηκών". Διπλωματική εργασία ΣΑΤΜ-ΕΜΠ, Νοέμβριος, 2011.

Delikaraoglou D., A. Georgopoulos, Ch. Ioannidis, E. Lambrou, G. Pantazis, "Using geodetic and laser scanner measurements for measuring and monitoring the structural damage of a post-byzantine church". "8th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin. Monument Damage Hazards & Rehabilitation Technologies", Πάτρα, Μάιος – Ιούνιος 2010, πρακτικά συνεδρίου.

Δούκας, Ι.Δ.: "Περί της Διακρίβωσης των Γεωδαιτικών (Τοπογραφικών) Οργάνων", 1ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας: Metrologia 2005: Η μετρολογία στην Ελλάδα. Έρευνα, εφαρμογές, προτεραιότητες και προοπτικές, σελ. 78-93, 11-12 Νοεμβρίου, Αθήνα, 2005.

ISO 17123-4 Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments), Corrected version 2002, ISO 2001

Lambrou E., Pantazis G., Nikolitsas K., "Special marking of 3d networks' points for the monitoring of modern constructions", Δημοσίευση στο περιοδικό Journal of Civil Engineering and Architecture, Volume 5, Number 7, p.p 643-649, July 2011.

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., "Εφαρμοσμένη γεωδαισία", εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3 Θεσσαλονίκη 2010

Leica Geosystems AG, "Certificates", white paper , Heerbrugg , Switzerland, 2008.

Leica Geosystems AG, "Calibration of EDM and angle measurements, Accredited calibration laboratories ", power point presentation, Heerbrugg , Switzerland, October 2010.

Ρωσικόπουλος Δ., "Μέτρον Γεωμετρικόν", εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2006

Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Πρόταση εγκατάστασης μιας εναλλακτικής εξωτερικής βάσης διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών για τη μέτρηση του μήκους.

4^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012
