ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΒΑΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ευαγγελία Λάμπρου, Γεράσιμος - Αλέξανδρος Καραΐσκος
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
e-mail: litsal@central.ntua.gr

Περίληψη

Διακρίβωση, είναι η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται σύστημα αναφοράς. Έτσι για το υπό έλεγχο όργανο διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβεια του.

Για τη διακρίβωση των Ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών (ΟΓΣ) για τη μέτρηση του μήκους απαιτείται μια βαθμονομημένη εξωτερική βάση ελέγχου. Η βάση αυτή δημιουργήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ISO, στο χώρο των εγκαταστάσεων του Ολυμπιακού Κωπηλατοδρομίου στο Σχοινιά, στο νομό Αττικής.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας παρουσιάζονται και αναλύονται δυο διαδικασίες διακρίβωσης ΟΓΣ. Επίσης παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της εξωτερικής βάσης ελέγχου, χρησιμοποιώντας τον πρότυπο ΟΓΣ Leica TDA 5005.

Πιο συγκεκριμένα η πρώτη διαδικασία περιλαμβάνει *τον προσδιορισμό των υπολοίπων* και η δεύτερη *τον προσδιορισμό της εξίσωσης της αβεβαιότητας του οργάνου*.

Ακολουθώντας την πρώτη διαδικασία προσδιορίζονται τα υπόλοιπα που προκύπτουν από τις μετρήσεις του υπό διακρίβωση ΟΓΣ, σε σχέση με τις πρότυπες τιμές της βάσης. Στη συνέχεια ελέγχεται το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης και η μέγιστη διαφορά των μετρήσεων σε σχέση με την ονομαστική ακρίβεια του ΟΓΣ. Με τη δεύτερη διαδικασία προσδιορίζεται το συστηματικό και τυχαίο σφάλμα ενός ΟΓΣ στη μέτρηση του μήκους. Κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή και των δυο διαδικασιών, προκειμένου να επιτευχθεί ο πλήρης έλεγχος της εξωτερικής ακρίβειας ενός ΟΓΣ. Ο έλεγχος της εσωτερικής ακρίβειας των ΟΓΣ πραγματοποιείται όπως ορίζεται από το ISO 17123-4.

Τέλος πραγματοποιείται ο έλεγχος και η διακρίβωση τεσσάρων ΟΓΣ με τη χρήση των αντίστοιχων λογισμικών υποστήριξης της διαδικασίας ελέγχου και διακρίβωσης που συντάθηκαν σε περιβάλλον *matlab*, ώστε να είναι εφικτή η άμεση εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε ειδικές φόρμες πιστοποίησης.

Λέξεις-Κλειδιά: διακρίβωση, έλεγχος, εξωτερική βάση ελέγχου μηκών, ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, Σχοινιάς, βαθμονόμηση, Πιστοποίηση.

TOTAL STATIONS INTEGRADED CALIBRATION METHODOLOGY FOR DISTANCE MEASUREMENTS AT EXTERNAL BASELINE

Abstract

Calibration is the comparison of the measurement or output of a system or instrument with a corresponding one of a higher accuracy, which is called reference system. So for the instrument under check it is verified, or restored its accuracy.
The calibration of the Total Stations (TS) for distance measurements requires a calibrated external control baseline. This baseline was created according to the ISO standards, at the Olympic Rowing in Schinias, Attica.
Two calibration procedures are presented and analyzed in the context of this work. Also, the calibration of the external control baseline using the reference TS Leica TDA 5005 is presented.
In particular, the first process involves the determination of the residuals and the second the determination of the instrument's uncertainty equation.
Following the first procedure, the residuals between the measurements of the TS under calibration and the standard values of the baseline are determined. Then the error of the single measurement and the maximum difference of all the measurements are checked in relation to the nominal accuracy of the TS. The second procedure determines the systematic and random error of the TS under calibration in the distance measuring. It is necessary to implement both procedures in order to achieve a complete control of the TS's external precision. The check of the internal accuracy of the TS is carried out as defined by ISO 17123-4.
Finally, the check and calibration of four TSs is carried out using the corresponding control and calibration support software which was developed in matlab environment, so that the results can be directly presented to special certification forms.

Key-words: calibration, test, external test field for distance, total stations, Schinias, graduation, certification.

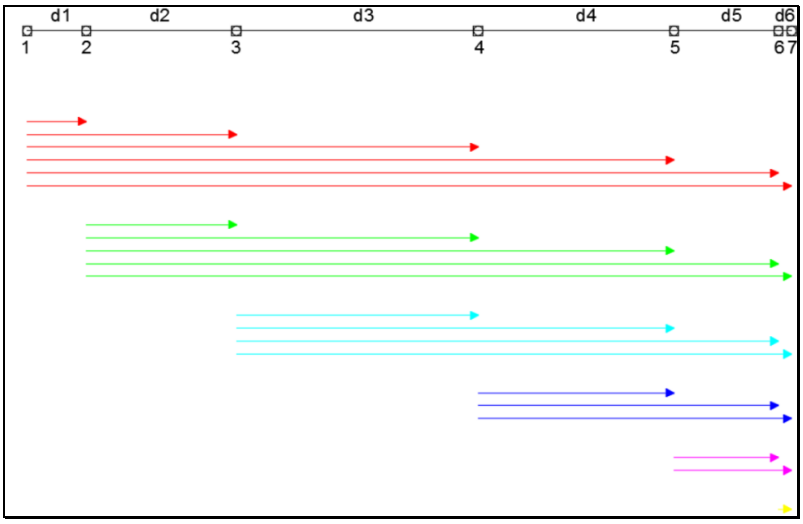
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάπτυξη των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών αλλά και η αυξημένη ζήτηση και χρήση τους, έχει οδηγήσει στην ανάγκη του μετρολογικού τους ελέγχου και της διακρίβωσής τους με ακρίβεια, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα.
Ο έλεγχος των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών με τον οποίο διαπιστώνεται αν η λειτουργία τους είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τους στη μέτρηση μηκών γίνεται σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο αντίστοιχο ISO [ISO 17123-4, 2001].
Σήμερα δεν υπάρχει αντίστοιχο ISO για τη διακρίβωση ενός ΟΓΣ, σύμφωνα με το οποίο να ορίζεται η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθήσει ένας τοπογράφος για να διακριβώσει τον προσωπικό του εξοπλισμό. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση μεθοδολογιών διακρίβωσης τέτοιων οργάνων και η εφαρμογή στην πράξη της καταλληλότερης μεθόδου.
Διακρίβωση, είναι η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος (output) ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται

σύστημα αναφοράς. Έτσι για το υπό έλεγχο όργανο διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβειά του. Με τη διακρίβωση ενός γεωδαιτικού σταθμού διαπιστώνεται η αβεβαιότητα που παρέχει στις μετρήσεις του και ο βαθμός ταύτισής του με το πρότυπο.
Ο έλεγχος και η διακρίβωση ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού επιβάλλεται από την ελληνική νομοθεσία [ΦΕΚ 1013, 2001, ΦΕΚ 173, 2013].
Για τον έλεγχο και τη διακρίβωση ΟΓΣ ως προς τα μήκη έχει εγκατασταθεί στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά μια εξωτερική βάση μετρολογικού ελέγχου. Η βάση αποτελείται από ειδικά φορητά μεταλλικά αποσπώμενα βάθρα. Έχουν τοποθετηθεί συνολικά 9 βάθρα. Τα 7 τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις όπως αυτές ορίζονται από το ISO 17123-4 για τον έλεγχο των μηκών, σε ανάπτυγμα 590m. Τα άλλα 2 βάθρα τοποθετήθηκαν σε αποστάσεις 1000m και 2000m αντίστοιχα με σκοπό να χρησιμοποιηθούν και για την έρευνα της μεθοδολογίας πιστοποίησης δεκτών του δορυφορικού συστήματος GNSS. [Λάμπρου Ε., κ.α. 2016, Πανταζής Γ., 2016]
Οι μετρήσεις που συλλέγονται, για τον έλεγχο και τη διακρίβωση ενός ΟΓΣ, είναι πολλές και η επεξεργασία τους πολύπλοκη και χρονοβόρα. Η χρήση όμως κατάλληλων προγραμμάτων όπως το *"matlab"* για την επεξεργασία των μετρήσεων διευκολύνει τον χρήστη να εξάγει εύκολα και γρήγορα αποτελέσματα. Συντάχθηκε λοιπόν λογισμικό με το όνομα *"GeoCAL"* που πραγματοποιεί τη διαδικασία του ελέγχου και της διακρίβωσης ενός ΟΓΣ. Το λογισμικό εξάγει ένα αρχείο *excel* και ένα αρχείο *pdf* που περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες από τον έλεγχο και τη διακρίβωση του οργάνου. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί εύκολα να εκτυπώσει σε ειδικές φόρμες τα αποτελέσματα αυτά και να εξάγει τα απαραίτητα συμπεράσματα.

2. Η ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για τον έλεγχο και την διακρίβωση οργάνων μέτρησης μηκών στην εξωτερική βάση ελέγχου, μετρούνται τα 21 μήκη που σχηματίζονται ανάμεσα στα 7 σημεία με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ τους όπως φαίνεται και στο σχήμα 1. Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται εφόσον έχει απενεργοποιηθεί από το όργανο η αυτόματη διόρθωση των μηκών λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση και υγρασία).



Σχήμα 1 Μετρούμενα μήκη κατά τον έλεγχο και την διακρίβωση ενός ΟΓΣ

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων λαμβάνονται δεδομένα θερμοκρασίας T (°C) και ατμοσφαιρικής πίεσης P (atm) για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών διορθώσεων και τη διόρθωση των μετρούμενων τιμών.

2.1 Διόρθωση των μετρημένων μηκών λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών

Η διόρθωση των μετρημένων τιμών των μηκών λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία, αφού λαμβάνονται μετρήσεις θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας τη στιγμή της μέτρησης στη θέση του οργάνου και στη θέση του ανακλαστήρα.

Βασική παράμετρος της διόρθωσης του μήκους, λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών, είναι ο δείκτης διάθλασης ***n*** κατά την διαδρομή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Με βάση το δείκτη ***n***, που ορίζεται ως ο μέσος όρος των δεικτών διάθλασης της θέσης του οργάνου και του ανακλαστήρα προσδιορίζεται η διαθλασιμότητα ***N*** από τη σχέση:

$$N=(n-1)\cdot 10^6 \tag{1}$$

Η διαθλασιμότητα ***N*** είναι η διόρθωση του μετρούμενου μήκους σε ppm. Επομένως στην περίπτωση που το όργανο χρησιμοποιεί ορατή ή υπέρυθρη ακτινοβολία, η διαθλασιμότητα *Ng* σε ppm για τις κανονικές συνθήκες ατμόσφαιρας (θερμοκρασία t=0°C, πίεση ξηρού αέρα P=1013.25mbar και περιεκτικότητα 0.03% CO_2) υπολογίζεται από την επόμενη σχέση 2 των Barrel και Sears [Rueger, J.M., 1996]:

$$N_g=287.604+\frac{3\cdot 1.6288}{\lambda^2}+\frac{5\cdot 0.0136}{\lambda^4} \tag{2}$$

όπου: λ το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε μm.

Επομένως κατά τη μέτρηση ενός μήκους D_{AB}, και με βάση τη διαθλασιμότητα *Ng* στις κανονικές συνθήκες ατμόσφαιρας, υπολογίζεται η διαθλασιμότητα *N΄g* κατά μήκος του D_{AB}. Πιο συγκεκριμένα η διαθλασιμότητα *N΄g* σε ppm, η οποία προκύπτει ως συνάρτηση της *Ng* και των μέσων όρων των τιμών των μετεωρολογικών στοιχείων των άκρων A και B, προκύπτει ως εξής [Bertacchini Eleonora., etc, 2011, Rueger, J.M., 1998]:

$$N_g^{'}=\frac{N_g\cdot Q\cdot P}{T}+\frac{V\cdot e}{T} \tag{3}$$

όπου: *T=273.15+t* σε *°K*, t η θερμοκρασία ξηρού αέρα σε *°C*

P η ατμοσφαιρική πίεση και *e* η πίεση των υδρατμών

Για *P* και *e* σε *mbar*, *Q*=0.2696 και *V*=11.27

Για *P* και *e* σε mmHg, *Q*=0.3594 και *V*=15.02

Η πίεση των υδρατμών ***e*** υπολογίζεται από την σχέση:

$$e=e_s-0.000662\cdot P\cdot(t-t_w) \tag{4}$$

όπου: t_w η θερμοκρασία υγρού αέρα σε °C και

e_s η πίεση των κορεσμένων υδρατμών σε *mbars* που δίνεται από την σχέση:

$$\log e_s=\frac{7.5\cdot t_w}{t_w+273.3}+0.7857 \tag{5}$$

Σύμφωνα με τη σχέση 4 είναι σημαντικό να αναφερθεί πώς χρειάζεται να είναι γνωστή η θερμοκρασία του υγρού αέρα $\boldsymbol{t_w}$ για τον υπολογισμό της πίεσης των υδρατμών ***e***. Όμως, εάν είναι γνωστή η σχετική υγρασία ***h***, τότε μπορεί να υπολογιστεί η πίεση των υδρατμών ως εξής [Afeni Thomas Busuyi, 2011]:

$$e_s = \frac{e_s \cdot h}{100} \tag{6}$$

Όπου h η υγρασία *(%)* και

$$e_s = 10^{\left(\frac{7.5 \cdot t}{t+273.3}+0.7857\right)} \tag{7}$$

Επιπλέον από τη σχέση 3 γίνεται αντιληπτό πώς η διαθλασιμότητα ***N΄g*** εξαρτάται από το μήκος κύματος του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Επομένως η διαθλασιμότητα *N΄g* διαφέρει από όργανο σε όργανο καθώς επίσης και από τη χρήση υπέρυθρου EDM (IR) ή ορατού κόκκινου Laser (RL), εφόσον το μήκος κύματος μπορεί να αλλάζει.

Στα σύγχρονα ηλεκτρονικά όργανα δίνονται σχετικά νομογραφήματα από τον κατασκευαστή με βάση τα οποία, με στοιχεία εισόδου τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση κατά τον χρόνο των μετρήσεων, υπολογίζεται η διόρθωση της ταχύτητας C_1 σε ppm (σχέση 8).

$$C_1 = \left(N_g^{''} - N_g^{'}\right) \quad \text{σε ppm} \tag{8}$$

Επομένως εάν *N΄΄g* και *N΄g* οι διαθλασιμότητες κατά τη βαθμονόμηση του οργάνου και κατά τη μέτρηση του μήκους D_{AB} (km) αντίστοιχα, τότε η διόρθωση του μήκους δίνεται από τη σχέση [Tony Watson, Volker Janssen Australia, 2014]:

$$C_2 = \left(N_g^{''} - N_g^{'}\right) \cdot D_{AB} \quad \text{σε mm} \tag{9}$$

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

Προκειμένου να ανιχνευθεί η εξωτερική ακρίβεια της μέτρησης του μήκους ενός ΟΓΣ πρέπει να συγκρίνονται οι πρότυπες τιμές μέτρησης ενός πεδίου ελέγχου με τις μετρήσεις του υπό έλεγχο συστήματος στο ίδιο πεδίο ελέγχου.

Το πρότυπο στη συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται από τις τιμές των μηκών μεταξύ των βάθρων ενός πεδίου ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνονται οι μετρήσεις των 21 μηκών (σχήμα 1) και οι αληθείς τιμές τους θεωρούνται γνωστές, αφού προκύπτουν από ένα σύστημα ανώτερης τάξης.

3.1 Προσδιορισμός υπολοίπων

Οι τιμές των 21 μηκών ($x_{i_{measured}}$) της βάσης που μετρούνται με τον υπό διακρίβωση ΟΓΣ συγκρίνονται με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές ($x_{i_{true}}$) .

Έτσι υπολογίζονται οι διαφορές των μετρήσεων υ_i (i = 1 έως 21) μεταξύ τους.

$$\upsilon_i = x_{i_{measured}} - x_{i_{true}} \tag{10}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη τιμή υ_{max} των διαφορών και υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης σ_{x_i} από τη σχέση 12 [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]. Εάν το τυπικό σφάλμα της μιας μέτρησης και η μέγιστη τιμή των υπολοίπων έχει τιμή μικρότερη της ονομαστικής ακρίβειας του υπό ελέγχου ΟΓΣ, τότε ο ΟΓΣ λειτουργεί σωστά και δεν παρουσιάζει κάποιο χονδροειδές, συστηματικό ή τυχαίο σφάλμα.

$$\upsilon_{max} \le \sigma_{\text{ονομαστική ακρίβεια}} \tag{11}$$

$$\sigma_{x_i} = \pm\sqrt{\frac{[\upsilon\upsilon]}{n-1}} \le \sigma_{\text{ονομαστική ακρίβεια}} \tag{12}$$

3.2 Προσδιορισμός της εξίσωσης αβεβαιότητας

Από τις 21 μετρήσεις μηκών στη βάση έλεγχου δημιουργούνται 21 εξισώσεις οι οποίες έχουν την παρακάτω μορφή:

$$y_i = \alpha \cdot x_i + \beta \qquad (13)$$

όπου:

y_i : είναι οι αντίστοιχες πρότυπες τιμές ή τιμές αναφοράς($x_{i_{true}}$)

x_i: είναι οι μετρήσεις με κάθε υπό έλεγχο όργανο σε ένα πεδίο ελέγχου ($x_{i_{measured}}$)

β: είναι το συστηματικό σφάλμα του οργάνου

α: είναι η κλίμακα του οργάνου (μαθηματικά εκφράζει την κλίση της ευθείας προσαρμογής)

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίζονται οι άγνωστοι α, β της εξίσωσης, η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους σ_α και σ_β καθώς και η αβεβαιότητα σ_o της προσαρμογής, που εκφράζει το τυχαίο σφάλμα του οργάνου.

Οι μεταβλητές α, β στη συνέχεια ελέγχονται εάν είναι στατιστικά σημαντικές. Εάν οι μεταβλητές είναι στατιστικά σημαντικές τότε το μαθηματικό μοντέλο της εξίσωσης αβεβαιότητας λειτουργεί, και είναι εφικτός ο προσδιορισμός της απόκλισης του οργάνου από το πρότυπο, του συστηματικού και του τυχαίου σφάλματος.

Πρακτικά η κλίμακα εκφράζει ένα αναλογικό σφάλμα της απόστασης που μετρά το όργανο. Η κλίμακα (α) θα πρέπει στην ιδανική περίπτωση να είναι ίση με την τιμή 1 με προσέγγιση του 10^{-6} προκειμένου οι μετρήσεις του υπό έλεγχο ΟΓΣ να ταυτίζονται με τις πρότυπες τιμές.

Στην περίπτωση που η κλίμακα του οργάνου (α) διαφέρει αρκετά από την τιμή 1 τότε το όργανο εμφανίζει σημαντική απόκλιση από το πρότυπο και παρουσιάζει χονδροειδές σφάλμα. Το αναλογικό σφάλμα στην απόσταση μπορεί να υπολογιστεί σε ppm και σε mm ως εξής:

$$\sigma = |\alpha\text{-}1| \cdot 10^6 \cdot D \qquad (14)$$

Ο προσδιορισμός της εξίσωσης αβεβαιότητας και της κλίμακας με την προτεινόμενη μεθοδολογία παρέχει στο χρήστη:

- το τυχαίο σφάλμα σ_o που μπορεί να επιτύχει στη μέτρηση των μηκών με το συγκεκριμένο όργανο
- το συστηματικό σφάλμα β που πιθανόν να οφείλεται σε μηχανική ή ηλεκτρονική βλάβη του οργάνου
- το χονδροειδές σφάλμα της διαδικασίας εφ όσον $|1\text{-}\alpha| \geq 10^{-6}$

Εάν το συστηματικό ή το τυχαίο σφάλμα του συστήματος είναι μεγαλύτερο της ονομαστικής αβεβαιότητας του ΟΓΣ είναι προφανές πως δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με το όργανο αυτό.

Ένας ΟΓΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εργασία, όταν η ονομαστική αβεβαιότητα του είναι μεγαλύτερη από την αβεβαιότητα $(\sigma_{o\lambda})$ που συνολικά προσδίδουν το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα που ανιχνεύεται στη διακρίβωσή του (σχέση 15).

$$\sigma_{o\lambda} = \pm\sqrt{\beta^2 + \sigma_o^2} \qquad (15)$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1 βαθμονόμηση της βάσης ελέγχου

Η βαθμονόμηση της βάσης έλεγχου είναι προαπαιτούμενη διαδικασία προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και τη διακρίβωση ΟΓΣ. Η βαθμονόμηση έγινε στις 23/4/2016. Ως όργανο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός **Leica TDA 5005**. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, ενώ είχε απενεργοποιηθεί η διόρθωση τους λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών (θερμοκρασία, πίεση και υγρασία) προκειμένου να γίνει ακριβής καταγραφή των παραπάνω ατμοσφαιρικών δεδομένων για κάθε μέτρηση μήκους και να εφαρμοστεί ορθά η διόρθωση.

Κάθε μια από τις 21 αποστάσεις μετρήθηκε 3 φορές, υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους και διορθώθηκαν σύμφωνα με τη σχέση των Barrel και Sears (σχέση 22). Οι πρότυπες τιμές των μηκών της βάσης που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	D(m)	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	D(m)	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	D(m)
1	2	45.4121	2	4	302.5024	3	7	428.6045
1	3	161.3847	2	5	453.7392	4	5	151.2374
1	4	347.9157	2	6	534.4370	4	6	231.9308
1	5	499.1534	2	7	544.5769	4	7	242.0739
1	6	579.8521	3	4	186.5295	5	6	80.6934
1	7	589.9911	3	5	337.7669	5	7	90.8367
2	3	115.9721	3	6	418.4611	6	7	10.1427

Πίνακας 1 Πρότυπες τιμές βάσης ελέγχου στο Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο του Σχοινιά

Στη συνέχεια έγινε έλεγχος του πρότυπου οργάνου σύμφωνα με το ISO 17123-4 προκειμένου να επιβεβαιωθεί εάν ακολουθεί την ακρίβεια του κατασκευαστή ή όχι. Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, με αποτέλεσμα να προσδιοριστούν οι καλύτερες τιμές των 6 μηκών μεταξύ των 7 βάθρων και το τυπικό σφάλμα του οργάνου ίσο με ±1.2mm τιμή, σύμφωνη με την ακρίβεια του κατασκευαστή του.

4.2 Διακρίβωση γεωδαιτικών σταθμών

Εφαρμόστηκε η διαδικασία ελέγχου καθώς και η διαδικασία της διακρίβωσης σε τέσσερεις ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς προκειμένου να εξεταστεί εάν ακολουθούν την ακρίβεια που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή τους (***έλεγχος εσωτερικής ακρίβειας***), καθώς και το εάν παρουσιάζουν κάποιο συστηματικό ή τυχαίο σφάλμα (***έλεγχος εξωτερικής ακρίβειας***).

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της διαδικασίας του ελέγχου και της διακρίβωσης των σταθμών.

Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται αντιληπτό ότι οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί λειτουργούν σύμφωνα με την ακρίβεια του κατασκευαστή ως προς την μέτρηση μηκών (***εσωτερική ακρίβεια***). Όσον αφορά στην διακρίβωση το TCR 405 εμφανίζει μικρό σφάλμα αλλά παρόλα αυτά δεν ικανοποιεί την διακρίβωση και οι ΟΓΣ Leica TCR 303 και Topcon GTS 226, εμφανίζουν μεγάλο, συστηματικό και τυχαίο σφάλμα και συνεπώς δεν ικανοποιούν επίσης τη διακρίβωση (***εξωτερική ακρίβεια***).

ΣΤΑΘΜΟΣ	*TCR 405*		*TCR 303*		*GTS226 UN 4768*		*GTS226 UN 5638*	
Ονομαστική Αβεβαιότητα (mm)	±2							
s=σ·1.30 (mm)	±2.6							
ΕΛΕΓΧΟΣ								
Έλεγχος κατά ISO 17123-4 (εσωτερική)	±1.2mm	**PASS**	±2.4mm	**PASS**	±2.1mm	**PASS**	±2.1	**PASS**
Έλεγχος μηδενικού σφάλματος	**PASS**		**PASS**		**PASS**		**PASS**	
ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ								
Αναλογικό σφάλμα στα 600m (mm)	± 0.1		± 1		± 16.6		± 10.5	
Συστηματικό σφάλμα(mm)	± 0.5		± 1.9		± 5.1		± 4.6	
Τυχαίο σφάλμα (mm)	± 1.6		± 2.4		± 12.3		± 12	
$\lvert \upsilon_{max} \rvert$ (mm) **σ_{x_i} (mm)**	**3.3** > 2 **FAIL** **1.7** < 2 **PASS**		**11** > 2 **FAIL** **2.8** > 2 **FAIL**		**27.7** > 2 **FAIL** **13.5** > 2 **FAIL**		**23.5** > 2 **FAIL** **12.2** > 2 **FAIL**	

Πίνακας 2 Αποτελέσματα ελέγχου και διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία διακρίβωσης συνδυάζει τον ***προσδιορισμό των υπολοίπων***, αλλά και τον ***προσδιορισμό της εξίσωσης αβεβαιότητας.*** Έτσι είναι δυνατός ο υπολογισμός του συστηματικού και τυχαίου σφάλματος που μπορεί να παρουσιάζει ο ΟΓΣ. Οι διαδικασίες ελέγχου και διακρίβωσης ΟΓΣ διευκολύνονται με τη χρήση των αντίστοιχων λογισμικών που επιταχύνουν τη διαδικασία επεξεργασίας των απαραίτητων μετρήσεων ώστε να εξάγονται τα αποτελέσματα άμεσα προς τον χρήστη, σε ειδικές φόρμες πιστοποίησης.

Από την εφαρμογή διαπιστώθηκε ότι ο έλεγχος της εσωτερικής ακρίβειας κατά ISO δεν επαρκεί. Κάποιοι σταθμοί που ικανοποιούσαν τον έλεγχο κατά ISO εντούτοις παρουσίασαν μεγάλο συστηματικό σφάλμα με αποτέλεσμα να μην παράγουν ορθές μετρήσεις. Αυτό γίνεται αντιληπτό μόνο με τη διακρίβωση του ΟΓΣ.

Ο χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή των μετρήσεων για κάθε έναν υπό έλεγχο ΟΓΣ είναι περίπου 30 min. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων απαιτούνται 2 άτομα, ενώ είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο η χρήση οχήματος, όσο και η χρήση ασυρμάτων για την άμεση επικοινωνία του συνεργείου, προκειμένου να λαμβάνονται κατά τη στιγμή της μέτρησης οι αντίστοιχες μετρήσεις των μετεωρολογικών συνθηκών.

Η ένταση του ανέμου δεν επηρεάζει τους συνήθεις ΟΓΣ κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων, όμως επηρεάζει τον σταθμό αναφοράς. Επομένως η βαθμονόμηση της βάσης, όταν απαιτείται, με το πρότυπο όργανο θα πρέπει να πραγματοποιείται σε μέρες με καλές καιρικές συνθήκες, ώστε η ένταση του ανέμου στην περιοχή να μην ξεπερνά τα 2 μποφόρ. Η βαθμονόμηση της βάσης θα πρέπει να γίνεται σε τακτά διαστήματα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η αβεβαιότητα των πρότυπων τιμών των μηκών και να πλησιάσουν οι πρότυπες τιμές πρακτικά τις αληθείς τιμές.

Η εξωτερική βάση ελέγχου στο Σχοινιά, αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πεδίο, όπου μπορούν να ελεγχθούν και να διακριβωθούν ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί. Έχει κατασκευαστεί με έναν ευέλικτο και αρκετά οικονομικό τρόπο, από 9 φορητά μεταλλικά βάθρα σε απόσταση 2 km, προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιείται εύκολα. Η βάση

ελέγχου μπορεί να πιστοποιηθεί από τον ΕΛ.Ο.Τ. προκειμένου να χρησιμοποιείται επίσημα για τη διακρίβωση ΟΓΣ.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bertacchini Eleonora, Capra Alessandro, Castagnetti Cristina, Corsini Alessandro, *"Atmospheric corrections for topographic monitoring systems in landslides"*, Italy 2011
2. 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. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., *"Το πρότυπο εξωτερικό πεδίο ελέγχου & Διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών"*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Geotech ΕΠΕ– Λύσεις Γεωπληροφορικής, 6ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 13-14 Μαΐου 2016
4. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *"Εφαρμοσμένη γεωδαισία"*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
5. Πανταζής Γ., *"Τα εργαστήρια διακρίβωσης γεωδαιτικών οργάνων στην Ελλάδα το παρόν και το μέλλον"* , ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, 6ο Τακτικό εθνικό συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα, 13-14 Μαΐου 2016
6. Rueger, J.M.. *"Refractive index formulae for electr-optical distance measurement. Proceeding of International Federation of Surveyors (FIG'98)"*, Paper TS28/1: 191 – 208, 1998
7. Rüeger J.M.R.*"Electronic distance measurement: An introduction"* (4th edition), Springer, Berlin, 300pp, 1996
8. Thomas Busuyi AFENI, *"An approach to eradicate the effects of atmospheric variations on total station distance measurement in a surface mine environment. The impact of taking measurement through a glass medium "*, Johannesburg 2011
9. Tony Watson, Volker Janssen *"Current Status of EDM Calibration Procedures in NSW"*, Australia 2014
10. ΦΕΚ 1013, Τεύχος Β, 02.08.2001
11. ΦΕΚ 173, Τεύχος Α, 08.08.2013