ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΓΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

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

Περίληψη

Μέχρι σήμερα δεν έχει διατυπωθεί κάποιο πρότυπο ISO που να ορίζει μεθόδους διακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών (ΟΓΣ) για διευθύνσεις. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια τέτοια όργανα σε έργα υποδομής και τοπογραφικές εργασίες.
Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται και αναπτύσσεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία διακρίβωσης γεωδαιτικών σταθμών (total station), χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο μετρήσεις που προέρχονται από τον έλεγχο ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών σύμφωνα με το ISO 17123 – 3.
Παρουσιάζονται τα μαθηματικά μοντέλα για τις δυο επιμέρους διαδικασίες διακρίβωσης, οι οποίες αφορούν στον έλεγχο των υπολοίπων των μετρήσεων του οργάνου και στην εξίσωση της αβεβαιότητάς του.
Εφαρμόζεται η τεχνικής της πολυκριτηριακής αξιολόγησης με σκοπό την επιλογή και την πρόταση της καταλληλότερης διαδικασίας.
Στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία βαθμονόμησης των εξωτερικών πεδίων, που έχουν εγκατασταθεί στο χώρο του Ολυμπιακού Κωπηλατοδρομίου στο Σχοινιά, στο νομό Αττικής, ώστε να είναι εφικτή η διακρίβωση των ΟΓΣ.
Τέλος πραγματοποιείται η διακρίβωση τεσσάρων ΟΓΣ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων και αποδεικνύουν την ευχρηστία και την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας διακρίβωσης ΟΓΣ για διευθύνσεις σε εξωτερικά πεδία ελέγχου.
Η εφαρμογή της μεθοδολογίας διακρίβωσης ενός ΟΓΣ, απαιτεί μιάμιση ώρα μετρήσεων επιβεβαιώνει ή όχι την αβεβαιότητα και την ορθότητα της μέτρησης των διευθύνσεων ενώ υπολογίζει οποιοδήποτε συστηματικό ή τυχαίο σφάλμα εμφανίζει ο υπό διακρίβωση ΟΓΣ.

Λέξεις-Κλειδιά: Μεθοδολογία διακρίβωσης, ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, εξίσωση της αβεβαιότητας, έλεγχος υπολοίπων, κριτήρια αξιολόγησης

TOTAL STATIONS CALIBRATION METHODOLOGY FOR DIRECTIONS MEASUREMENTS AT EXTERNAL TEST FIELDS

Abstract

Until now, an ISO standard has not been set out to define a methodology for the Total stations (TS) calibration for directions. This process is necessary in order to safely use such instruments in infrastructure and survey works.
In this paper, an integrated methodology for calibration of total stations is presented and developed, using as background measurements obtained from the checking methodology of Total stations in accordance with ISO 17123-3.
The mathematical models for the two calibration procedures are presented, which are related to the calculation of the residuals of instrument's measurement and the determination of the uncertainty equation.
The multicriteria evaluation technique is applied in order to select and propose the most appropriate procedure.
Then the calibration methodology for the external fields, which were installed at the Olympic Rowing at Schinias in the prefecture of Attica, is carried out in order to be feasible the TSs calibration.
Finally, the calibration of four TSs is carried out. The results are presented in the form of tables and diagrams and demonstrate the usability and effectiveness of the proposed calibration methodology for directions in external control fields.
The Application of the calibration methodology of a TS requires one and a half hours of measurements to confirm or not the uncertainty, accuracy and reliability of direction measurement while calculating any systematic or random error that is included in the measurements of the TS under calibration.

Key -words: Calibration methodology, total stations, uncertainty equation, residuals' test, evaluation criteria.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βαθμονόμηση και η διακρίβωση είναι δυο έννοιες, πολύ σημαντικές και διαφορετικές στη μετρολογία.
Ως **βαθμονόμηση** (**Graduation**) ενός οργάνου, ορίζεται η αναγραφή, στην κενή κλίμακα του οργάνου, των ενδείξεων με βάση ένα γνωστό και καθορισμένης ακρίβειας μέγεθος της φυσικής ιδιότητας την οποία μετρά το όργανο.
Στην παρούσα εργασία η βαθμονόμηση αφορά στα εξωτερικά πεδία ελέγχου ΟΓΣ ως προς τις διευθύνσεις. Με τη διαδικασία αυτή προσδιορίζονται οι πρότυπες τιμές των μεγεθών των δύο εξωτερικών πεδίων ελέγχου. Σημειώνεται ότι οι πρότυπες τιμές ορίζονται από μετρήσεις που πραγματοποιούνται στα πεδία ελέγχου από έναν ΟΓΣ αναφοράς, ο οποίος είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτούς που στη συνέχεια θα διακριβωθούν.
Ως **διακρίβωση** (**Calibration**) ορίζεται η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος ενός συστήματος ή οργάνου με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται σύστημα αναφοράς. Το σύστημα αναφοράς

Γεώργιος Πανταζής, Αργυρώ Μπίνη
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

μπορεί να είναι εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακρίβειας η οποία έχει μεταφερθεί σε αυτό από τα εθνικά πρότυπα. Με την παραπάνω σύγκριση βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβειά του [ΦΕΚ 139 Α/31-08-94].
Στην εργασία αυτή, προτείνονται δύο διαδικασίες διακρίβωσης ΟΓΣ ως προς τις διευθύνσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες) οι οποίες δεν συναντώνται στα διεθνή πρότυπα ISO. Ύστερα από την αξιολόγηση τους επιλέγεται ο συνδυασμός τους ως βέλτιστη μεθοδολογία διακρίβωσης.
Χρησιμοποιώντας αυτή τη μεθοδολογία διακριβώνονται τέσσερις ΟΓΣ και τα αποτελέσματα της διακρίβωσης παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ

Για να πραγματοποιηθεί η διακρίβωση ενός ΟΓΣ για διευθύνσεις (οριζόντιες ή κατακόρυφες) απαιτούνται πρότυπες-αληθείς τιμές διευθύνσεων ενός πεδίου ελέγχου. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από μετρήσεις με ένα πρότυπο όργανο, το οποίο παρέχει μετρήσεις διευθύνσεων μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτήν των υπό διακρίβωση ΟΓΣ. Οι διαδικασίες που προτείνονται στην εργασία αυτή, ονομάζονται αντίστοιχα ″Έλεγχος υπολοίπων″ και ″Εξίσωση αβεβαιότητας″.

2.1 Έλεγχος υπολοίπων (Απλή διαδικασία)

Η πρώτη διαδικασία, που εξετάζεται, είναι ο έλεγχος της διαφοράς μεταξύ των τιμών που παρέχει ο υπό διακρίβωση σταθμός με τις ακριβείς τιμές (μέτρηση του σταθμού αναφοράς) για τις ίδιες διευθύνσεις.
Οι διαφορές αυτές αποτελούν τα υπόλοιπα u_i που προκύπτουν αφαιρώντας την πρότυπη τιμή ($\hat{x}_i$) της κάθε οριζόντιας διεύθυνσης από την αντίστοιχη τιμή (x_i) που μετρήθηκε με τον υπό διακρίβωση ΟΓΣ. Η μεθοδολογία αυτή οδηγεί στον προσδιορισμό της ακρίβειας μέτρησης διευθύνσεων του σταθμού [Μπίνη Αργυρώ, 2016].
Υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα σ_i της μιας μέτρησης και η μέγιστη διαφορά u_{max} μεταξύ μετρούμενης και ακριβούς τιμής, σύμφωνα με τις σχέσεις 1, 2.

$$\sigma_i = \pm\sqrt{\frac{u^T \cdot u}{(n-1)}} \quad (1)$$

$$u_{max} = \max\left|x_i - \hat{x}_i\right| \quad (2)$$

Όπου

x_i : οι μετρήσεις με τον υπό διακρίβωση σταθμό

$\hat{x}_i$: οι πρότυπες τιμές που προέκυψαν από τον σταθμό αναφοράς

σ_i : η τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης

n : ο αριθμός των μετρήσεων

u: ο πίνακας των υπολοίπων με διαστάσεις (n,1)

u^T: ο ανάστροφος πίνακας των υπολοίπων με διαστάσεις (1,n)

u_{max} : το μέγιστο υπόλοιπο

Εάν ισχύουν οι ανισότητες 3, 4 τότε η ακρίβεια του εξεταζόμενου ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού στη μέτρηση των διευθύνσεων είναι καλύτερη ή ίση από την ακρίβεια που ορίζει κατασκευαστής του. Σε αντίθετη περίπτωση ο ΟΓΣ δεν αποδίδει την ακρίβειά του.

$$\sigma_i \leq \sigma \quad (3)$$

$$u_{max} \leq \sigma \quad (4)$$

όπου σ: η ακρίβεια μέτρησης μιας διεύθυνσης που ορίζεται από τον κατασκευαστή του ΟΓΣ.

2.2 Η εξίσωση αβεβαιότητας (Σύνθετη διαδικασία)

Η δεύτερη διαδικασία, που εξετάζεται, χρησιμοποιεί την εξίσωση αβεβαιότητας. Ως εξίσωση αβεβαιότητας ενός συστήματος "γεωδαιτικός σταθμός – παρατηρητής – στόχος – συνθήκες" ορίζεται η εξίσωση που εκφράζει και περιγράφει το τυχαίο και το συστηματικό σφάλμα του μεγέθους που μετράται με το σύστημα αυτό στις συγκεκριμένες συνθήκες [Λάμπρου Ε., Νικολίτσας, 2012].

Η εξίσωση αβεβαιότητας έχει τη μορφή:

$$y_i = \alpha \cdot x_i + \beta \quad (5)$$

όπου:

y_i : οι μετρήσεις του υπό διακρίβωση συστήματος σε ένα πεδίο ελέγχου

x_i : οι αντίστοιχες πρότυπες τιμές ή τιμές αναφοράς

β : το συστηματικό σφάλμα του συστήματος

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

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων [Δερμάνης Α., 1992, Αγατζά-Μπαλοδήμου, 2004] προσδιορίζονται οι άγνωστοι α, β της εξίσωσης, η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους, καθώς και η αβεβαιότητα σ_o της προσαρμογής με την προϋπόθεση ότι οι μετρήσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή. Έτσι, η τυπική απόκλιση των "πραγματικών" τιμών εκφράζεται από την αβεβαιότητα σ_o της προσαρμογής των τιμών στη σχέση (5).

Η κλίμακα **α** ενός συστήματος **εκφράζει την ομοιομορφία της κατανομής του σφάλματος** και το βαθμό ταύτισης με τις πρότυπες τιμές σε όλο το εύρος των μετρήσεων πρακτικά εκφράζει ένα αναλογικό σφάλμα των μετρήσεων .

Σε ένα σωστό μαθηματικό μοντέλο διευθύνσεων, η κλίμακα πρέπει να έχει τιμή 1 με προσέγγιση του 10^{-6}, ($|\alpha - 1| \leq 10^{-6}$) και με αβεβαιότητα της ίδιας ή μικρότερης τάξης. Αν υπάρχει χονδροειδές σφάλμα ή βλάβη του ψηφιακού δίσκου του ΟΓΣ κατά τη μέτρηση των διευθύνσεων, τότε $|\alpha - 1| \geq 10^{-6}$ ενώ η τυπική απόκλιση $\sigma_\alpha \geq \pm 10^{-5}$. Η τιμή του $|\alpha - 1|$ πολλαπλασιασμένη με 636620^{cc} εκφράζει το χονδροειδές σφάλμα του σταθμού σε cc.

Η τιμή **β εκφράζει το συστηματικό σφάλμα** του ΟΓΣ. Πραγματοποιείται έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας της τιμής της κλίμακας α και της τιμής β σύμφωνα με την κανονική κατανομή ώστε να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία του μαθηματικού μοντέλου. Ελέγχεται δηλαδή αν ισχύουν οι ανισότητες:

$$\alpha \geq \sigma_\alpha \ * z_{95\%} \quad \text{και} \quad \beta \geq \sigma_\beta \ * z_{95\%} \tag{6}$$

Τέλος, το **σ_o, που εκφράζει το τυχαίο σφάλμα** του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, συγκρίνεται με την ονομαστική αβεβαιότητα που δίνει ο κατασκευαστής του γεωδαιτικού σταθμού. Εάν ισχύει η ανισότητα 7 τότε ο σταθμός θεωρείται ότι λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

$$|\sigma_o| \ \leq \ \sigma \tag{7}$$

Η συνολική παρεχόμενη ακρίβεια του ΟΓΣ προσδιορίζεται από τη σχέση 8

$$\sigma_{o\lambda} = \pm\sqrt{\beta^2 + \sigma_o^2} \leq \sigma \tag{8}$$

Όταν το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού είναι μεγαλύτερο της ονομαστικής αβεβαιότητάς του, τότε είναι προφανές πως δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με το σύστημα αυτό.

3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Η αξιολόγηση των δύο διαδικασιών γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Ως χαρακτηριστικά εννοούνται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προσφέρει η κάθε μια. Από τον πίνακα 1 παρατηρείται ότι η κάθε διαδικασία δίνει διαφορετικές πληροφορίες.

Κριτήρια Αξιολόγησης	**Μέθοδος Εξίσωσης Αβεβαιότητας**	**Μέθοδος Υπόλοιπων**
Ερευνά την ύπαρξη χονδροειδούς σφάλματος	+	-
Ερευνά την ύπαρξη συστηματικού σφάλματος	+	-
Ερευνά την ύπαρξη τυχαίου σφάλματος	+	+
Ευκολία στους υπολογισμούς	-	+
Γρήγορα αποτελέσματα (μέσω λογισμικού)	+	+
Δεν απαιτείται περαιτέρω έλεγχος των αποτελεσμάτων	-	+

Πίνακας 1: Αξιολόγηση διαδικασιών διακρίβωσης

Προτείνεται λοιπόν η διακρίβωση των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών να πραγματοποιείται με μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία συνδυάζοντας τις δύο προαναφερόμενες διαδικασίες, έτσι ώστε να παρέχονται στον χρήστη όλες αυτές οι πληροφορίες οι οποίες είναι σημαντικές για τον γεωδαιτικό του σταθμό.

4. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΕΔΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στο πλαίσιο εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας διακρίβωσης, απαιτείται η δημιουργία δύο (2) εξωτερικών πεδίων ελέγχου, ένα για τις οριζόντιες διευθύνσεις και ένα για τις κατακόρυφες.

Η βαθμονόμηση των πεδίων ελέγχου αποσκοπεί στον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών, από μετρήσεις με έναν σταθμό αναφοράς, ώστε να ακολουθήσει η εφαρμογή της μεθοδολογίας διακρίβωσης. Ως σταθμός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ο Leica TDA 5005. Η βαθμονόμηση των εξωτερικών πεδίων ελέγχου συνίσταται να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

4.1 Βαθμονόμηση πεδίου ελέγχου οριζόντιων διευθύνσεων

Το εξωτερικό πεδίο ελέγχου οριζόντιων διευθύνσεων αποτελείται ένα μόνιμο βάθρο όπου τοποθετείται ο ΟΓΣ και από πέντε, περιμετρικά, σταθερούς στόχους ομοιόμορφα κατανεμημένους σε αποστάσεις από 72m έως 260m από το σημείο τοποθέτησης του σταθμού, ώστε να καλύπτουν εξ ολοκλήρου τον οριζόντιο δίσκο του (εικόνα 1). Οι ειδικά κατασκευασμένοι στόχοι, αφού τοποθετήθηκαν πάνω σε ειδική επιφάνεια Plexiglas διαστάσεων 6cm x 6cm, πακτώθηκαν με ειδικούς κοχλίες στις επιλεγμένες θέσεις [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ, 2016].

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο ISO 17123 – 3 για τον έλεγχο τον οριζόντων διευθύνσεων. Πραγματοποιούνται από τον σταθμό αναφοράς 4 σειρές μετρήσεων, των 3 σετ, σε I και II θέση τηλεσκοπίου.

Η πρότυπη τιμή ($\hat{x}_i$) προκύπτει ως εξής:

Υπολογίζονται οι μέσες τιμές των αναγνώσεων και στις δύο θέσεις (I και II) του τηλεσκοπίου:

$$x_{j,k} = \frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 180^{o}}{2} \left(\frac{x_{j,k,I} + x_{j,k,II} \pm 200^{gon}}{2} \right) \quad (9)$$

όπου : j = 1,2,3 (σετ) ; k = 1,...,5 (στόχοι)

Ακολούθως υπολογίζονται οι μέσες ανοιγμένες τιμές:

$$x'_{j,k} = x_{j,k} - x_{j,1} \quad (10)$$

Οι μέσες τιμές των διευθύνσεων οι οποίες προκύπτουν από n=3 σετ προς k στόχους για κάθε σειρά I είναι:

$$\bar{x}_{k_i} = \frac{x'_{1,k} + x'_{2,k} + x'_{3,k}}{3} \quad (11)$$

Στη συνέχεια, για κάθε μια από τις τέσσερεις διευθύνσεις υπολογίζεται η καλύτερη τιμή (η πρώτη διεύθυνση αποτελεί την αναφορά) διότι οι σειρές θεωρούνται ανεξάρτητες [International standard ISO – 17123 – 3, 2001].

$$\hat{x}_i = \frac{\sum \bar{x}_{k_i}}{4} \quad (12)$$

Η τελική μορφή του πεδίου ελέγχου οριζοντίων διευθύνσεων με τις πρότυπες τιμές και τα αντίστοιχα σφάλματα απεικονίζεται στο σχήμα 1.

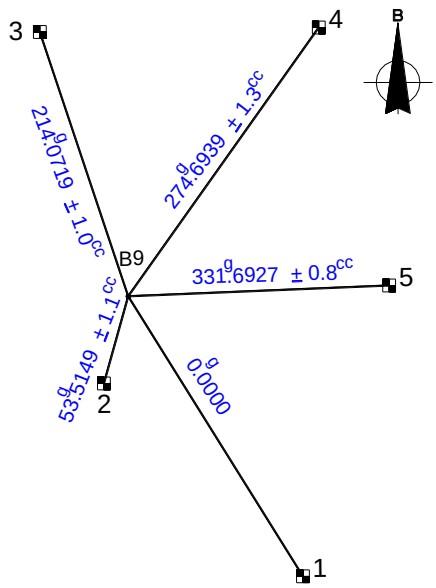
Επιπλέον, υπολογίζονται τα τυπικά σφάλματα των καλύτερων τιμών.

$$s_i = \pm \sqrt{\frac{\sum u_i^2}{r}} = \pm \sqrt{\frac{\sum u_i^2}{8}} \quad (13)$$

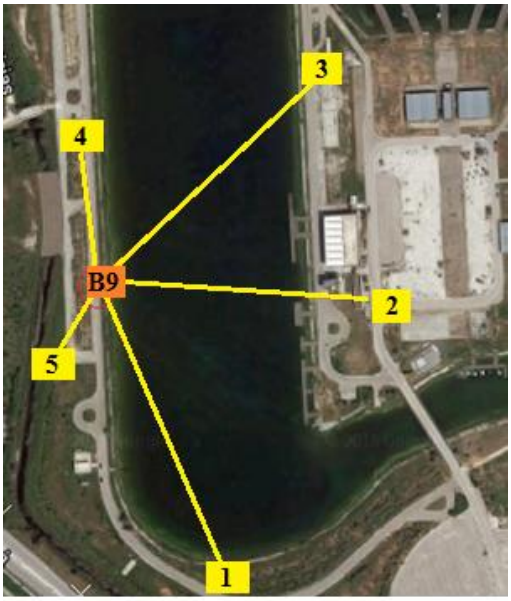
Όπου για n=3 σετ για k=5 στόχους οι βαθμοί ελευθερίας (r) είναι:

$$r = (3 - 1) \cdot (5 - 1) = 8 \quad (14)$$

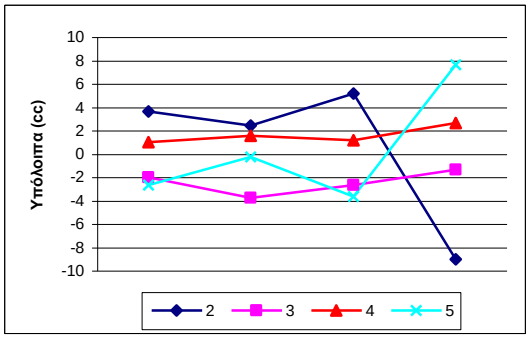
Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται τα υπόλοιπα της βαθμονόμησης του εξωτερικού πεδίου ελέγχου οριζόντιων διευθύνσεων για την κάθε μια από τις τέσσερις διευθύνσεις.



Σχήμα 1: Διάταξη στόχων για τον έλεγχο κατά ISO 17123-3 στις μετρήσεις οριζόντιων διευθύνσεων



Εικόνα 1: Διάταξη πεδίου ελέγχου οριζόντιων διευθύνσεων



Σχήμα 2: Υπόλοιπα οριζόντιων διευθύνσεων

4.2 Βαθμονόμηση εξωτερικού πεδίου ελέγχου κατακόρυφων διευθύνσεων

Το εξωτερικό πεδίο ελέγχου κατακόρυφων διευθύνσεων αποτελείται από 4 σημεία στην όψη κτιρίου, ώστε να σκοπεύονται από σημείο που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 25m. Επιπλέον, έχουν τοποθετηθεί έτσι ώστε οι μεταξύ τους κατακόρυφες γωνίες να διαφέρουν περίπου κατά 10grad [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ, 2016]. Η μορφή του συγκεκριμένου πεδίου απεικονίζεται στην εικόνα 2.

Για τη βαθμονόμηση του πεδίου κατακόρυφων διευθύνσεων, μετρούνται **τέσσερις** κατακόρυφες διευθύνσεις. Ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε τρίποδα, σε τυχαία θέση. Πραγματοποιούνται 4 σειρές μετρήσεων, των 3 σετ, σε Ι και ΙΙ θέση τηλεσκοπίου. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο ISO 17123 – 3 για τον έλεγχο τον κατακόρυφων διευθύνσεων.

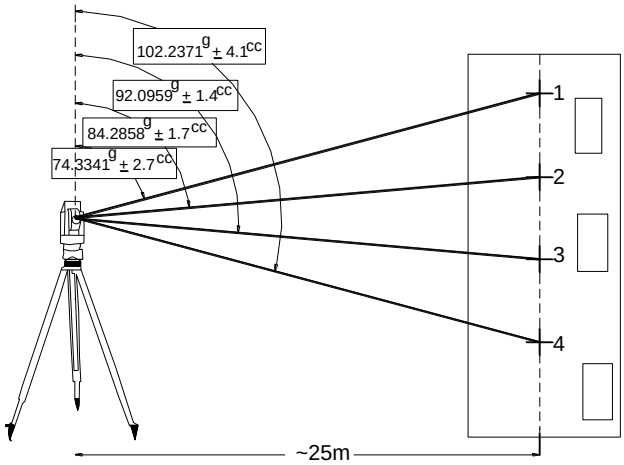
Η καλύτερη τιμή της κάθε διεύθυνσης υπολογίζεται αντίστοιχα σύμφωνα με τις σχέσεις 9,11 και 12 [International standard ISO – 17123 – 3, 2001]. Επιπλέον, υπολογίζονται τα τυπικά σφάλματα των καλύτερων τιμών από τη σχέση 13

όπου για n=3 σετ μετρήσεων προς k=4 στόχους, οι βαθμοί ελευθερίας (r) είναι:

$$r = (3 - 1) \cdot 4 = 8 \qquad (15)$$

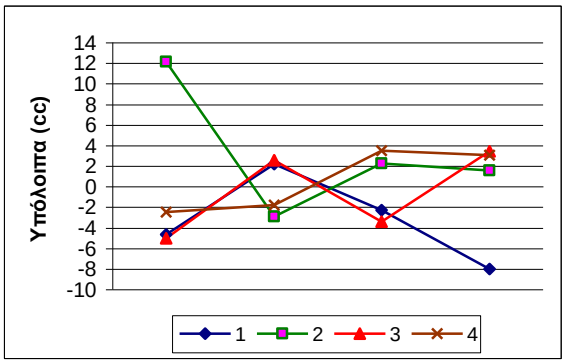
Οι καλύτερες τιμές των τεσσάρων διευθύνσεων αποτελούν τις αληθείς τιμές του πεδίου ελέγχου κατακόρυφων διευθύνσεων

Στο σχήμα 3 δίνονται οι τιμές που προέκυψαν από τη βαθμονόμηση του πεδίου κατακόρυφων διευθύνσεων και στο σχήμα 4 δίνονται τα υπόλοιπα για την κάθε μια από τις τέσσερις κατακόρυφες διευθύνσεις.



Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση πεδίου ελέγχου κατακόρυφων διευθύνσεων κατά ISO 17123-3

Εικόνα 2 : Πεδίο ελέγχου κατακόρυφων διευθύνσεων



Σχήμα 4: Υπόλοιπα κατακόρυφων διευθύνσεων

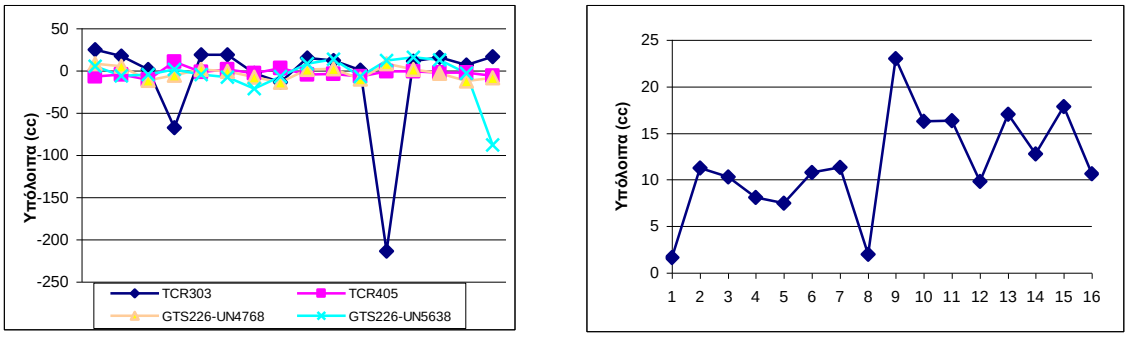
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η προτεινόμενη μεθοδολογία διακρίβωσης ως προς τις οριζόντιες διευθύνσεις εφαρμόστηκε σε τέσσερις ΟΓΣ (Leica TCR 303, Leica TCR 405, Topcon GTS-226 UN4768 και Topcon GTS-226 UN5638). Αντίστοιχα η τιμή x_i για κάθε διεύθυνση από τις μετρήσεις του υπό διακρίβωση σταθμού υπολογίζεται από τις σχέσεις 9, 10, 11 και 12 για τις οριζόντιες διευθύνσεις, ενώ από τις σχέσεις 9, 11 και 12 για τις κατακόρυφες διευθύνσεις. Από τους τέσσερις ΟΓΣ οι Leica TCR 405 και Topcon GTS-226 UN4768 προέκυψε ότι λειτουργούν ορθά ως προς τη μέτρηση οριζόντιων διευθύνσεων. Η μεθοδολογία διακρίβωσης εφαρμόστηκε για τις κατακόρυφες

διευθύνσεις στον ΟΓΣ Leica TCR 405, για τον οποίο αποδείχτηκε ότι δεν λειτουργεί ορθά. Τα αποτελέσματα της διακρίβωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 4, ενώ στο σχήμα 5, απεικονίζονται τα υπόλοιπα της διακρίβωσης των σταθμών ως προς τις οριζόντιες διευθύνσεις και του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού TCR 405 ως προς τις κατακόρυφες διευθύνσεις.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ									**ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ**	
	TCR 303 (9^{cc})		**TCR 405 (15^{cc})**		**GTS - 226 UN4768 (18^{cc})**		**GTS-226 UN5638 (18^{cc})**		**TCR 405 (15^{cc})**	
ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ										
umax (cc)	213.6	**FAIL**	10.9	**PASS**	14.0	**PASS**	88.0	**FAIL**	**23.0**	**FAIL**
σx$_i$(cc)	59.6	**FAIL**	5.5	**PASS**	7.8	**PASS**	24.9	**FAIL**	±13.3	**PASS**
ΕΞΙΣΩΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ										
α	1.000033 ± 0.000012		0.999998 ± 0.000001		1.000003 ± 0.000002		1.000010 ± 0.000005		1.000014 ±0.000014	
χονδροειδές σφάλμα (cc)	21.2		1.1		1.9		6.3		9.1	
συστηματικό σφάλμα β (cc)	81.2 ± 28.2		1.4 ± 2.7		9.1 ± 4.0		26.7 ± 13.2		1 ± 12	
σο (cc)	±48.5		±4.7		±6.9		±22.6		±5.6	

Πίνακας 4 : Αποτελέσματα της διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών ως προς τη μέτρηση οριζόντιων και κατακόρυφων



(α) (β)

Σχήμα 5 : Διάγραμμα υπολοίπων της διακρίβωσης των σταθμών ως προς τις οριζόντιες διευθύνσεις (α) & του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού Leica TCR 405 ως προς τις κατακόρυφες διευθύνσεις (β).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε και προτείνεται μια συνολική ολοκληρωμένη μεθοδολογία διακρίβωσης ΟΓΣ. Η ανάγκη αυτή προέκυψε επειδή δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο ISO, το οποίο να υποδεικνύει κάποια διαδικασία διακρίβωσης ΟΓΣ.
Η διακρίβωση ενός ΟΓΣ εξασφαλίζει όχι μόνο την ακρίβεια των παραγόμενων μετρήσεων αλλά και την ορθότητα τους .
Από την αξιολόγηση και την εφαρμογή δύο διαδικασιών διακρίβωσης σε τέσσερις ΟΓΣ προέκυψε ότι τα βέλτιστα αποτελέσματα προκύπτουν με τον συνδυασμό τους. Η

απλή διαδικασία πραγματοποιεί των έλεγχο των υπολοίπων, ενώ η σύνθετη εξετάζει την εξίσωση αβεβαιότητας ενός συστήματος "γεωδαιτικός σταθμός – παρατηρητής – στόχος – συνθήκες", η οποία εκφράζει και περιγράφει το τυχαίο και το συστηματικό σφάλμα του μεγέθους που μετράται με το σύστημα αυτό στις συγκεκριμένες συνθήκες.

Από τους τέσσερις ΟΓΣ που διακριβώθηκαν προέκυψε ότι οι δυο μετρούν ορθά οριζόντιες διευθύνσεις, ενώ ο ΟΓΣ που διακριβώθηκε ως προς τις κατακόρυφες διευθύνσεις προέκυψε ότι δεν μετρά ορθά κατακόρυφες διευθύνσεις.

Η βαθμονόμηση των πεδίων ελέγχου είναι μια απαιτητική διαδικασία που διαρκεί 2 περίπου ώρες. Είναι σκόπιμο να επαναλαμβάνεται σε τακτά διαστήματα προκειμένου να βελτιώνεται η αβεβαιότητα των τιμών αναφοράς του πεδίου ελέγχου.

Τέλος η προτεινόμενη μεθοδολογία διακρίβωσης είναι κατάλληλη και βολική για τον χρήστη και απαιτεί χρόνο μιάμισης ώρας για τη διακρίβωση ενός ΟΓΣ και στα δυο εξωτερικά πεδία ελέγχου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά - Μπαλοδήμου Α.Μ., *"Θεωρία Σφαλμάτων και Μ.Ε.Τ"*, Σημειώσεις ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2004
2. Δερμάνης Α., Φωτίου Α., *"Μέθοδοι και εφαρμογές συνόρθωση παρατηρήσεων"*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1992
3. International standard ISO – 17123 – 3, *"Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments , Part 3: Theodolites, First edition"*, 2001 – 12 – 01
4. Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., *"Ανίχνευση της αβεβαιότητας του συστήματος ανάγνωσης διευθύνσεων"*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 4ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012
5. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Μπαλλής Β., *"Το πρότυπο εξωτερικό πεδίο ελέγχου & Δδιακρίβωσης ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών"*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Geotech ΕΠΕ–Λύσεις Γεωπληροφορικής, 6ο Τακτικό εθνικό συνέδριο μετρολογίας, Αθήνα, 13-14 Μαΐου 2016
6. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., *"Σημειώσεις μαθήματος: Μετρολογία, Βασικές έννοιες και ορισμοί – Στατιστικοί έλεγχοι για την αξιοπιστία των οργάνων"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα, 2012
7. Μπίνη Αργυρώ, *"Βαθμονόμηση Εξωτερικού Πεδίου Ελέγχου Διευθύνσεων - Διερεύνηση Μεθοδολογιών Διακρίβωσης και Έλεγχος Ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών για Διευθύνσεις Σύμφωνα με το ISO 17123 - 3 "*, ΕΜΠ, ΣΑΤΜ, Αθήνα, 2016