

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Ευαγγελία Λάμπρου<sup>1</sup>, Αντώνιος Αντωνακάκης<sup>2</sup>  
e-mail: [litsal@central.ntua.gr](mailto:litsal@central.ntua.gr)

<sup>1</sup>Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών  
<sup>2</sup>Metrica AE

## Περίληψη

Οι σύγχρονοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί (total stations) έχουν προσεγγίσει ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης και αξιοπιστίας (ορθότητας και ακρίβειας) των μετρήσεων που παρέχουν με τη βοήθεια της σύγχρονης ψηφιακής τεχνολογίας. Έτσι ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις ορισμού (χάραξης) και ελέγχου (παραμορφώσεις, μετακινήσεις) των σύγχρονων τεχνικών έργων και κατασκευών.

Η πολυπλοκότητα όμως της κατασκευής τους και η ευαισθησία των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελούνται, απαιτεί τον μετρολογικό επανέλεγχο και ίσως την διακρίβωσή τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι μόνο εξασφαλίζεται η ονομαστική (κατασκευαστική) αβεβαιότητα που παρέχουν στις μετρήσεις τους και η αξιοπιστία των εργασιών που εκτελούνται με αυτά.

Στην εργασία αυτή αρχικά αναδεικνύεται και τεκμηριώνεται η ανάγκη αυτή. Παράλληλα καταγράφονται όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν την ορθή λειτουργία τους.

Σκοπός είναι η ανεύρεση μιας μεθόδου με την οποία θα προσδιορίζεται ο χρόνος μετρολογικού επανελέγχου τέτοιων συστημάτων. Στο πλαίσιο αυτό ορίζεται ένα μοντέλο που εκφράζεται με μια κλίμακα βαθμών (grades), το οποίο καταλήγει σε μία συνάρτηση (εξίσωση) με την οποία μπορεί να υπολογιστεί το ενδεικνύμενο χρονικό διάστημα κατά το οποίο πρέπει να εκτελείται ο μετρολογικός έλεγχος ενός σταθμού.

*Λέξεις-Κλειδιά: γεωδαιτικοί σταθμοί, μετρολογικός έλεγχος, διακρίβωση, χρονικό διάστημα.*

## ESTIMATION OF THE GAUGING AND THE CALIBRATION TIME INTERVAL FOR THE MODERN TOTAL STATIONS

### Abstract

Taking advantage of the evolution of digital technology over the last few years, modern total stations have reached an all time high in the accuracy and precision of their readings and the credibility of their measurements. They successfully adhere to the high standards and requirements required for example for staking out points as well as monitoring deformations or displacements in modern technical constructions.

The complexity of their construction as well as the sensitivity of their electronic and mechanical components, calls for metrological testing, gauging, adjusting and calibration to be done at regular time intervals.

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012

Only in this way can we be reassured that the provided factory accuracy is transferred to the fieldwork which has been done with the instruments.

In this paper, this need is primarily expressed and in addition, the parameters, which affect the proper function of the instruments, are mentioned.

Aim of the paper is to find a method which will determine a proposed time interval for gauging of Total Stations. A graduated model is defined which leads to an equation for the calculation of the proposed gauging time interval.

*Key words: total station, metrological check, gauging, calibration, time interval.*

## 1. Εισαγωγή

Οι σύγχρονοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές εφαρμογές είναι προφανώς πιο εύχρηστοι από τα παλαιότερα οπτικομηχανικά όργανα και παρέχουν μικρότερη αβεβαιότητα και ευελιξία στη χρήση τους στις βασικές μετρήσεις, ενώ παράλληλα παρέχουν ένα πλήθος ειδικών λειτουργιών.

Το πλήθος των εφαρμογών που ενσωματώνουν και οι ειδικές λειτουργίες που παρέχουν αποδείχθηκαν εξαιρετικά χρήσιμα εργαλεία, στη συλλογή δεδομένων για τον σύγχρονο Μηχανικό.

Η μετάβαση από τα παλαιότερα οπτικομηχανικά μέρη στα σύγχρονα ψηφιακά, από τα οποία αποτελούνται, άλλαξε δραματικά τη ροή των γεωδαιτικών μετρήσεων, ανοίγοντας παράλληλα νέα πεδία εφαρμογών για τον Τοπογράφο Μηχανικό. Έτσι οι μετρήσεις είναι ακριβέστερες, συλλέγονται ευκολότερα και γρηγορότερα και τα παράγωγα είναι πιο λεπτομερή και αξιόπιστα, ενώ μπορούν να δημιουργούνται ακόμη και σε πραγματικό χρόνο. Η επανάσταση στην κατασκευή και στη λειτουργία των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών ξεκίνησε περίπου πριν 30 χρόνια αλλά η εξέλιξή της είναι ραγδαία τα τελευταία δέκα χρόνια.

Το κόστος αυτής της εξέλιξης αντανακλά και συνδέεται άμεσα με την αυξημένη ευαισθησία των σύγχρονων γεωδαιτικών σταθμών σε σχέση με τα παλαιά οπτικομηχανικά θεοδόλιχα. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται:

- στη βελτίωση της αβεβαιότητας των οργάνων, η οποία παρέχεται στη μοναδιαία σκόπευση-μέτρηση, και όχι ύστερα από την εκπόνηση πολλών περιόδων μέτρησης
- στο ότι σήμερα οι σταθμοί ενσωματώνουν και ηλεκτρονική μονάδα για τη μέτρηση των μηκών (EDM).

Σ' ένα παλαιότερο οπτικομηχανικό θεοδόλιχο, το οποίο μετρούσε μόνο γωνιακά μεγέθη, ελάχιστα επηρεαζόταν οι μετρητικές του διατάξεις από τις συνθήκες περιβάλλοντος, ή τη συνεχή χρήση και δεν μεταβάλλονταν με το χρόνο η αβεβαιότητα παροχής των μετρήσεων ή η οποιαδήποτε ελάχιστη μεταβολή είχε αμελητέα συμμετοχή στα παράγωγα.

Σε ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό (total station) ή ψηφιακό χωροβάτη δυστυχώς ή ευτυχώς δεν ισχύει κάτι ανάλογο.

Το γεγονός αυτό δεν έχει γίνει αντιληπτό από την πλειοψηφία των χρηστών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στις μετρήσεις ή τα παράγωγα και να ελλοχεύει ο κίνδυνος σοβαρού λάθους σε οποιαδήποτε εργασία.

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

## 2. Ο μετρολογικός έλεγχος των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

Οι σύγχρονοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί αποτελούνται από πολλά και πολύπλοκα ηλεκτρονικά τμήματα, που το καθένα δρα ανεξάρτητα αλλά και όλα μαζί συνεργάζονται και αλληλοεξαρτώνται για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος.

Τα ηλεκτρονικά αυτά τμήματα είναι ευαίσθητα και επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες. Έτσι για να εκτελεστεί σωστά το συγκεκριμένο τμήμα των υπολογισμών και να εξαχθεί η μέτρηση, είναι απαραίτητο να προηγηθεί έλεγχος ρύθμιση ή πολλές φορές και η διακρίβωσή τους.

Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η γήρανση (aging) του κρυστάλλου της παραγωγής των συχνοτήτων για τη μέτρηση του μήκους. Έχει διαπιστωθεί ότι η γήρανση αυτή επιφέρει αλλαγή έως και 200Hz/έτος στη μέτρηση του μήκους, που αντιστοιχεί σε 2 ppm. Όσο αυξάνεται ο χρόνος από το έτος κατασκευής του γεωδαιτικού σταθμού (παλαιότητα) τόσο μικρότερη γίνεται η τιμή του σφάλματος αυτού (απόσβεση).

Επιπλέον απαραίτητοι είναι οι μηχανικοί έλεγχοι των μερών του οργάνου και η λίπανση συγκεκριμένων σημείων ώστε να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του.

Έτσι οι σύγχρονοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα, να υπόκεινται σε έλεγχο για την ορθότητα και την αβεβαιότητα λειτουργίας των επιμέρους ηλεκτρονικών συστημάτων από τα οποία αποτελούνται να ρυθμίζονται, αλλά και να επαναπροσδιορίζεται η αβεβαιότητα της μέτρησης των μεγεθών που παρέχουν.

Αυτό το πρέπει είναι αναγκαίο να γίνει αντιληπτό από όλους τους χρήστες όχι ως επιπλέον κόστος συντήρησης (service) των σταθμών αυτών, ούτε ως αδυναμία κατασκευής τους και κακή ποιότητα προϊόντος αλλά αντίθετα ως εξασφάλιση της εργασίας τους και της αξιοπιστίας των παραγώγων που παρέχουν ως μηχανικοί. Επιπλέον διασφαλίζεται και η αξία μεταπώλησης ενός καλοσυντηρημένου οργάνου, στοιχείο σημαντικό για έναν επαγγελματία.

Τέλος είναι δείγμα υπευθυνότητας της αντιμετώπισης των σύγχρονων απαιτητικών έργων της εποχής μας.

Ως **έλεγχος (gauging)** ενός σταθμού ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία μπορεί να διαπιστωθεί αν τα σφάλματα των ενδείξεων των μετρήσεων του (δηλ. η απόκλιση του από τα ονομαστικά χαρακτηριστικά του) βρίσκονται εντός των ορίων των προδιαγραφών του. Εφ' όσον αυτά βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων μπορεί να γίνει η αποθήκευσή τους στην εσωτερική μνήμη του σταθμού, ώστε να διορθώνονται με τις τιμές αυτές οι ενδείξεις και να παρέχονται οι ορθές μετρήσεις. Στην περίπτωση που τα σφάλματα βρίσκονται εκτός των ορίων των προδιαγραφών τότε πρέπει να ακολουθήσει η ρύθμιση (adjusting), πιθανόν η διακρίβωσή του (calibration) και η έκδοση του αντίστοιχου πιστοποιητικού (certification).

Ως **διακρίβωση (calibration)** ενός σταθμού ή ενός συστήματος ορίζεται η διαδικασία σύγκρισης των ενδείξεων μέτρησης που παρέχει ο σταθμός με τις αντίστοιχες ενός προτύπου σταθμού αναφοράς και ο προσδιορισμός της σχέσης τους. Αυτός ο προσδιορισμός όπως και η διόρθωση στις ενδείξεις πραγματοποιείται με τη χρήση κατάλληλης μετρητικής μεθόδου.

Η διαδικασία της διακρίβωσης πραγματοποιείται μόνο από επίσημα αναγνωρισμένα και διαπιστευμένα μετρολογικά εργαστήρια διακρίβωσης τα οποία διαθέτουν υποδομές, μετρολογικό εξοπλισμό, κατάλληλους χώρους, και χρησιμοποιούν ειδικές μεθοδολογίες - διαδικασίες εφαρμοζόμενες από εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό.

Επισημαίνεται ότι όλοι οι γεωδαιτικοί σταθμοί των αξιόπιστων κατασκευαστών παρέχουν τη δυνατότητα έλεγχου, ως ενσωματωμένη εφαρμογή η οποία μπορεί να εκτελεστεί στο πεδίο από τον ίδιο το χρήστη, με σκοπό αφ' ενός να διαπιστώσει αν ο σταθμός έχει σφάλμα στις μετρήσεις του και αφ' ετέρου να αποθηκευτεί η τιμή του σφάλματος στη μνήμη του σταθμού

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

ώστε να διορθώνονται οι ενδείξεις αυτόματα. Η διαδικασία αυτή δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολη, απαιτεί όμως ιδιαίτερη προσοχή και ευαισθησία από το χρήστη. Οποιοδήποτε λάθος στην εφαρμογή αυτού του ελέγχου, οδηγεί σε αποθήκευση εσφαλμένης τιμής διόρθωσης στη μνήμη του οργάνου. Έτσι οι μετρήσεις που θα πραγματοποιούνται στη συνέχεια θα περιλαμβάνουν αυτή τη λάθος διόρθωση.

Αν κατά τον έλεγχο αυτό διαπιστωθεί μεγάλο σφάλμα εκτός των επιτρεπόμενων ορίων τότε ο σταθμός πρέπει να σταλεί στο διαπιστευμένο εργαστήριο για επιπλέον μετρολογικό έλεγχο.

Επειδή η κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται ένας σταθμός εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και συνδέεται άμεσα με την πιθανότητα ανάπτυξης των σφαλμάτων και την παρεχόμενη ακρίβεια, δεν υπάρχει μέχρι σήμερα συγκεκριμένος τρόπος υπολογισμού του χρόνου επανελέγχου και διακρίβωσής του.

Μια γενική οδηγία που προέρχεται από τα τμήματα διασφάλισης ποιότητας των κατασκευαστικών εταιριών αναφέρει ότι καλό είναι να γίνεται έλεγχος κάθε ένα χρόνο για τα όργανα γενικής χρήσης ή δύο φορές το χρόνο για όργανα που παρέχουν μικρές αβεβαιότητες, της τάξης των λίγων mm και χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εργασίες όπως παρακολούθηση μετακινήσεων, χαράξεις σιδηροδρομικών γραμμών, σηραγγοποιία κ.α

Η επάρκεια της παραπάνω οδηγίας δεν είναι αποδεδειγμένη, αντίθετα υπάρχουν περιπτώσεις που ο έλεγχος πρέπει να είναι συχνότερος ή και λιγότερο συχνός ανάλογα με τη χρήση και τη διατήρηση του οργάνου.

Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι ένας σύγχρονος γεωδαιτικός σταθμός είναι απαραίτητο να ελέγχεται και να διακριβώνεται ακόμη και αν μείνει αποθηκευμένος και δεν χρησιμοποιείται για κάποιο χρονικό διάστημα.

### 3. Το μοντέλο αξιολόγησης των παραμέτρων

Όπως ήδη αναφέρθηκε υπάρχουν διάφορες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την ορθή λειτουργία ενός σταθμού. Οι παράμετροι αυτές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ενώ η επίδραση της κάθε μιας δεν είναι πάντα ισοδύναμη και ισόποση, δηλαδή έχει διαβαθμίσεις.

Έτσι μπορεί να ορισθεί ένα μοντέλο μέσω μιας κλίμακας ενός συστήματος βαθμών (Grades), η οποία να εκφράζει τη διαβάθμιση της επίδρασης κάθε παραμέτρου. Το μέτρο της επίδρασης κάθε παραμέτρου αντανακλά άμεσα στο χρόνο που πρέπει να γίνει ο έλεγχος του γεωδαιτικού σταθμού.

Στην εργασία αυτή επιλέγεται η κλίμακα των βαθμών να ορισθεί από το 1 έως το 4, για κάθε παράμετρο. Με τον ελάχιστο βαθμό της κλίμακας (1) βαθμολογείται η μέγιστη επίδραση της παραμέτρου στην ορθή λειτουργία του σταθμού, γεγονός που σημαίνει ότι ο έλεγχος πρέπει να γίνει σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα με τον μέγιστο βαθμό της κλίμακας (4) αξιολογείται η ελάχιστη επίδραση καθεμιάς παραμέτρου, που σημαίνει επιμήκυνση του χρόνου επανελέγχου.

Οι βασικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η ορθή και αξιόπιστη λειτουργία ενός γεωδαιτικού σταθμού και η αντίστοιχη κλίμακα των βαθμών για κάθε μια είναι:

□ **Η ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης (angle precision) (ap).** Είναι προφανές ότι όσο πιο μικρή αβεβαιότητα παρέχει ένας σταθμός, τόσο πιο ευαίσθητος είναι. Επιπλέον αυτό έχει άμεση σχέση με τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται οι σταθμοί.

Έχει διαπιστωθεί ότι ο κατακόρυφος δίσκος είναι περισσότερο ευαίσθητος από τον οριζόντιο. Το σφάλμα του κατακόρυφου δίσκου (vertical intex) σε έναν γεωδαιτικό

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

σταθμό με κανονική χρήση μπορεί να λαμβάνει τιμές από 5 έως 10<sup>cc</sup> /έτος ≈3" ή και μεγαλύτερη. Έτσι μπορεί να ορισθεί:

Ως βαθμός  $G_{ap}=4$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα μεγαλύτερη ή ίση με  $\pm 7'' (\pm 20^{cc})$ .

Ως βαθμός  $G_{ap}=3$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα ίση με  $\pm 5'' (\pm 15^{cc})$

Ως βαθμός  $G_{ap}=2$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα ίση με  $\pm 3'' (\pm 10^{cc})$ .

Ως βαθμός  $G_{ap}=1$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα ίση ή μικρότερη από  $\pm 1'' (\pm 3^{cc})$ .

□ **Η ακρίβεια της μέτρησης του μήκους (distance precision) (dp).**

Αντίστοιχα, σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο, ορίζεται:

Ως βαθμός  $G_{dp}=3$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα μεγαλύτερη ή ίση με  $\pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$  ( $\sigma \geq \pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ ).

Ως βαθμός  $G_{dp}=2$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα μεγαλύτερη ή ίση με  $\pm 2\text{mm} \pm 1\text{ppm}$  και μικρότερη από  $\pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ , ( $\pm 2\text{mm} \pm 1\text{ppm} \leq \sigma < \pm 5\text{mm} \pm 5\text{ppm}$ ).

Ως βαθμός  $G_{dp}=1$ , όταν ο σταθμός παρέχει αβεβαιότητα μικρότερη από  $\pm 2\text{mm} \pm 1\text{ppm}$  ( $\sigma < \pm 2\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ ).

□ **Η ηλικία του σταθμού (age) (a).** Η ηλικία ενός σταθμού μετρά από την στιγμή της κατασκευής του στο εργοστάσιο και όχι από τη στιγμή αγοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία ενός σταθμού τόσο πιο τακτικός πρέπει να είναι ο έλεγχος του ώστε να ρυθμίζεται αλλά και να αντικαθίστανται τα φθαρμένα ηλεκτρονικά ή μηχανικά του μέρη. Έτσι ορίζεται:

Ως βαθμός  $G_a=3$ , αν η ηλικία του οργάνου δεν ξεπερνά τα 2 έτη.

Ως βαθμός  $G_a=2$ , αν η ηλικία του οργάνου κυμαίνεται από 2 έως 5 έτη.

Ως βαθμός  $G_a=1$ , αν η ηλικία του οργάνου είναι μεγαλύτερη από 5 έτη.

□ **Ο χρόνος χρήσης (time of use) (t)** του σταθμού, μετά τον τελευταίο (πιο πρόσφατο) έλεγχο, όπου σημαντικός είναι ο ρόλος της ευαισθησίας - δεξιότητας των χρηστών. Έτσι μπορεί να ορισθεί:

Ως βαθμός  $G_t=3$ , αν ο προηγούμενος έλεγχος έχει γίνει έως πριν από 1 έτος.

Ως βαθμός  $G_t=2$ , αν ο προηγούμενος έλεγχος έχει γίνει πριν περισσότερο από 1 έως 2 έτη.

Ως βαθμός  $G_t=1$ , αν ο προηγούμενος έλεγχος έχει γίνει πριν περισσότερο από 2 έτη.

□ **Η απορύθμιση του αντισταθμιστή (compensator) (c).** Ο αντισταθμιστής είναι η διάταξη που υπολογίζει τις στιγμιαίες αποκλίσεις από την ορθή θέση του γεωδαιτικού σταθμού, και αποκαθιστά τις συνθήκες που πρέπει να ισχύουν ώστε οι μετρήσεις που παράγονται να είναι σωστές.

Αν η διάταξη αυτή δεν βρίσκεται σε ορθή θέση, τότε υπολογίζονται λάθος αποκλίσεις και διορθώνονται εσφαλμένα οι μετρήσεις.

Το σφάλμα του αντισταθμιστή ή η απορύθμισή του εξαρτάται κυρίως από τη χρήση του οργάνου, τις μεταφορές και τους κραδασμούς που θα υποστεί κατά τη διάρκεια των μεταφορών.

Οι αντισταθμιστές δεν έχουν όλοι την ίδια ευαισθησία. Συνηθίζεται οι γεωδαιτικοί σταθμοί που παρέχουν μικρότερη αβεβαιότητα στη μέτρηση των γωνιών να φέρουν περισσότερους και πιο ευαίσθητους αντισταθμιστές. Έχει διαπιστωθεί ότι ένα σύνηθες σφάλμα αντισταθμιστή είναι της τάξης των  $\pm 3^{cc}$  (ευαισθησία αντισταθμιστή).

Έτσι ορίζεται:

Ως βαθμός  $G_c=4$ , όταν το όργανο έχει υποστεί ελάχιστες μεταφορές, κατά τη διάρκεια της χρήσης του.

Ως βαθμός  $G_c=3$ , όταν το όργανο έχει υποστεί συνήθεις μεταφορές σε καλό οδικό δίκτυο, με ελάχιστους κραδασμούς κατά τη διάρκεια της χρήσης του.

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

Ως βαθμός  $G_c=2$ , όταν το όργανο έχει υποστεί λίγες επίπονες μεταφορές, σε δύσβατες περιοχές με χωματόδρομους και αρκετούς κραδασμούς, κατά τη διάρκεια της χρήσης του.  
Ως βαθμός  $G_c=1$ , όταν το όργανο έχει υποστεί πολλές επίπονες μεταφορές σε δύσβατες περιοχές με χωματόδρομους και αρκετούς κραδασμούς, κατά τη διάρκεια της χρήσης του.

- **Οι συνθήκες περιβάλλοντος (environmental conditions of use) (ec)** στις οποίες χρησιμοποιείται ένας σταθμός. Τέτοιες είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η σκόνη, κ.α. Έχει παρατηρηθεί ότι οι γεωδαιτικοί σταθμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στις χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι μπορεί να οριστεί ο βαθμός δυσκολίας του περιβάλλοντος χρήσης του οργάνου:

Ως βαθμός  $G_{ec}=3$ , όταν ο σταθμός χρησιμοποιείται σε καλές συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία από  $15^{\circ}\text{C}$  έως  $35^{\circ}\text{C}$  και καθαρή ατμόσφαιρα, χωρίς υγρασία και σκόνη.

Ως βαθμός  $G_{ec}=2$ , όταν ο σταθμός χρησιμοποιείται σε μέτριες συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία από  $0^{\circ}\text{C}$  έως  $15^{\circ}\text{C}$  και  $35^{\circ}\text{C}$  έως  $45^{\circ}\text{C}$  και ατμόσφαιρα με λίγη σκόνη.

Ως βαθμός  $G_{ec}=1$ , όταν ο σταθμός χρησιμοποιείται σε κακές συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασία μικρότερη από  $0^{\circ}\text{C}$  και μεγαλύτερη από  $45^{\circ}\text{C}$  και ατμόσφαιρα με πολύ σκόνη και υγρασία.

- **Οι συνθήκες φύλαξης (maintenance) (m)** του σταθμού σε περιβάλλον με σωστή θερμοκρασία και υγρασία. Μπορεί λοιπόν να οριστεί :

Ως βαθμός  $G_m=3$ , όταν ο σταθμός φυλάσσεται σε καλές συνθήκες, δηλαδή σε καθαρό, ξηρό μέρος, με θερμοκρασία της τάξης των  $25^{\circ}\text{C}$ .

Ως βαθμός  $G_m=2$ , όταν ο σταθμός φυλάσσεται σε υγρό περιβάλλον με θερμοκρασίες από  $10^{\circ}\text{C}$  έως  $35^{\circ}\text{C}$ .

Ως βαθμός  $G_m=1$ , όταν ο σταθμός φυλάσσεται σε ακάθαρτο και υγρό περιβάλλον, με θερμοκρασία μικρότερη από  $10^{\circ}\text{C}$  ή μεγαλύτερη από  $35^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. Προσδιορισμός του χρόνου επανελέγχου

Ο προσδιορισμός του χρόνου επανελέγχου ή διακρίβωσης μπορεί να γίνει με τη χρήση του παραπάνω συστήματος βαθμών, ώστε να μπορεί ο κάθε χρήστης εύκολα να το χρησιμοποιεί προκειμένου να υπολογίζει τον χρόνο επανελέγχου του δικού του γεωδαιτικού σταθμού.

Το μαθηματικό μοντέλο που εκφράζει το χρόνο επανελέγχου ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, αξιοποιώντας τις βασικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, μπορεί να ορισθεί ως εξής:

Θεωρείται ότι ο χρόνος επανελέγχου είναι μια συνάρτηση της μορφής :

$$f(t) = f\{ap, dp, a, t, c, ec, m\} \quad (1)$$

Έτσι για κάθε παράμετρο, που αναφέρθηκε στην §3, κάθε χρήστης προσθέτει τον βαθμό  $G$  που αντιστοιχεί στο δικό του όργανο, ανάλογα με την αβεβαιότητα της μέτρησης, τον χρόνο χρήσης, κ.λ.π.

Υιοθετώντας την υπόθεση ότι η συνάρτηση  $f(t)$  είναι γραμμική, καθώς οι παράμετροι είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση που αποδίδει το άθροισμα των βαθμών  $G$ , για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του και τη χρήση του:

$$G_{\text{Total}} = G_{ap} + G_{dp} + G_a + G_t + G_c + G_{ec} + G_m \quad (2)$$

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

Το άθροισμα των βαθμών  $G_{Total}$  που θα προκύψει, μπορεί να αντιστοιχισθεί με το χρονικό διάστημα που πρέπει να γίνει ο επόμενος έλεγχος ή η διακρίβωση του γεωδαιτικού σταθμού, όπου κάθε βαθμός αντιστοιχεί σε χρόνο ενός μήνα.

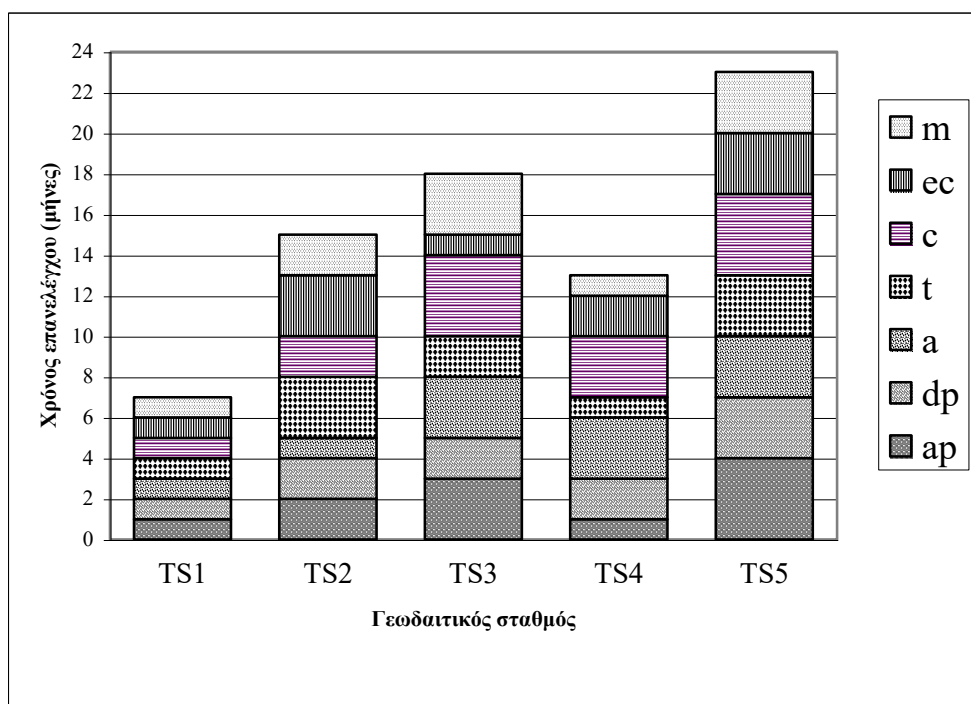
$$T_{\text{μήνες}} = G_{\text{total}} \quad (3)$$

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η μεταβλητή  $G_{total}$  βρίσκονται στο διάστημα

$7 \leq G_{total} \leq 23$ . Αν υπολογισθεί με την παραπάνω μέθοδο ο χρόνος επανελέγχου ενός γεωδαιτικού σταθμού, προκύπτει ένας ελάχιστος χρόνος 7 μηνών, και ένας μέγιστος 23 μηνών. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο αξιολόγησης που περιγράφηκε, δημιουργούνται  $n$  συνδυασμοί, που εκφράζουν το συνολικό αριθμό των περιπτώσεων ελέγχου των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Υπενθυμίζεται ότι από τις 7 παραμέτρους του μοντέλου αξιολόγησης, οι 5 αξιολογούνται με βαθμό (grade) από 1 έως 3 και οι υπόλοιπες 2 με βαθμό από 1 έως 4, δηλαδή δημιουργούνται 23 βαθμοί (grades) που συνδυάζονται με τις 7 παραμέτρους.

Για να υπολογισθούν αυτοί οι συνδυασμοί  $n$  ακολουθείται η σχέση:

$$n = \binom{23}{7} = \frac{23!}{7! \cdot (23-7)!} = \frac{23!}{7! \cdot 16!} = 245157 \quad (4)$$



Σχήμα 1: Απεικόνιση της επίδρασης των παραμέτρων του μοντέλου, για τυχαίες περιπτώσεις

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται ο χρόνος επανελέγχου, για 5 τυχαίους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς (TS), από τους οποίους ο σταθμός TS1 και TS5 αντιστοιχούν στον ελάχιστο και στο μέγιστο χρόνο.

## 5. Συμπεράσματα - Επισημάνσεις

- Οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί αποτελούνται από πολύπλοκα και ευαίσθητα ηλεκτρονικά μέρη τα οποία πρέπει σε τακτά χρονικά διαστήματα να:

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

- Συντηρούνται
- Ελέγχονται
- Ρυθμίζονται
- Διακριβώνονται

ώστε να αποδίδουν μετρήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους.

- Επειδή ο χρόνος επανελέγχου ή και διακρίβωσης κάθε γεωδαιτικού σταθμού εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, οι οποίες επιδρούν διαφορετικά σε κάθε σταθμό, το μοντέλο που αναπτύσσεται στην εργασία αυτή δίνει τη δυνατότητα σε κάθε χρήστη να τον υπολογίζει ανεξάρτητα, ανάλογα με την αξιολόγηση των παραμέτρων αυτών για το δικό του σταθμό.
- Σύμφωνα με το μοντέλο του συστήματος βαθμών που ορίστηκε μπορεί να γίνει ένας αντικειμενικός – ρεαλιστικός προσδιορισμός του χρόνου επανελέγχου ή διακρίβωσης ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Όπως προέκυψε από την ανάλυση που προηγήθηκε, ο χρόνος αυτός κυμαίνεται από 7 μήνες έως περίπου 2 χρόνια.
- Η απουσία του τακτικού – περιοδικού ελέγχου του σταθμού, στην καλύτερη περίπτωση μπορεί να επιβαρύνει την αβεβαιότητα μέτρησης των μεγεθών μια ή δύο τάξεις μεγέθους, ενώ στη χειρότερη μπορεί να προσδίδει συστηματικά μεγάλα σφάλματα σε αυτά.
- Οι γεωδαιτικοί σταθμοί που ακολουθούν τακτικό πρόγραμμα επανελέγχου μπορούν να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια στις εργασίες πεδίου.
- Ειδικά για τους γεωδαιτικούς σταθμούς μικρής αβεβαιότητας όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κάποια εργασία όπου απαιτείται η εξάντληση του μεγέθους της αβεβαιότητας που παρέχουν στις μετρήσεις, πρέπει να ελέγχονται οπωσδήποτε πριν την έναρξη των μετρήσεων αλλά και μετά την ολοκλήρωσή τους ώστε να διαπιστωθεί η ορθή λειτουργία τους σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Το κόστος της εργασίας ελέγχου ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού κυμαίνεται σήμερα (2011) από 100 – 300 ευρώ ανάλογα με το είδος του σταθμού και επομένως δεν είναι αποτρεπτικό ούτε και ο καθοριστικός παράγοντας για την αμέλεια του τακτικού του ελέγχου.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Alvanos M., Personal notes, Topcon non paper, 2008

Andonakakis A., Personal notes. Leica instructions for total station calibration, 2010

Andonakakis A., Personal notes. Leica non paper, 2010

DIN 18723-3 Field procedure for precision testing of surveying instruments; theodolites, Publication date: 1.7.1990

DIN 18723-4 Field procedure for precision testing of surveying instruments; optical distance measuring instruments, Publication date: 1.7.1990

Heunecke Otto, The geodetic calibration line of the UniBw Munich–Conception and implementation, The 11<sup>th</sup> international workshop on Accelerator Alignment, Invited talk on calibration, Hamburg Germany, 2010

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE

Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012



JCGM, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM), 2008

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 Reference number ISO 17123-3:2001(E) © ISO 2001

International Standard ISO 17123-4 Optics and optical instruments; Field procedures for testing geodetic and surveying instruments; Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments), First edition 2001-12-01 Corrected version 2002-04-15

Καραχάλιου Χ., Μανσούρ Γ., *Διαστατική Μετρολογία*, ISBN 978-960-456-074-5, Εκδόσεις Ζήτη, 2007.

Leica, TPS1200<sup>+</sup> user manual, version 5.5, 2007

Reischmann Sabine, Accreditation Creates Confidence, The Global Magazine of Leica Geosystems, Reporter No 63, September 2010

Topcon, Instruction manual pulse total station GPT3000LN, 2009

Topcon, Instruction manual Imaging station IS, 2009

Trimble VX Spatial station, users Guide, Version 01.00, 2007

<http://www.leica-geosystems.com>

<http://global.topcon.com/>

<http://www.trimble.com/>

Ευαγγελία Λάμπρου, Αντώνιος Αντωνακάκης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Metrica AE  
Εκτίμηση του χρονικού διαστήματος μετρολογικού επανελέγχου και διακρίβωσης των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών

4<sup>ο</sup> Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου  
Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2012