

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΕΝΟΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Κων/νος Νικολίτσας
e-mail: knikol81@survey.ntua.gr

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Το ύψος ενός γεωδαιτικού σταθμού Υ.Ο ορίζεται ως η απόσταση κατά τη διεύθυνση της κατακορύφου μεταξύ του σημείου της φυσικής γήινης επιφάνειας στο οποίο ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται και του σημείου τομής των αξόνων του εφ' όσον έχει οριζοντιωθεί και πληρούνται όλες οι συνθήκες λειτουργίας του.

Η μέτρηση του Υ.Ο. είναι η μοναδική που γίνεται με τον παραδοσιακό τρόπο τη χρήση μιας μετροταινίας ακόμη και στις μέρες μας. Η ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων που παρέχουν οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί απαιτεί στις περισσότερες εργασίες ακριβή μέτρηση του Υ.Ο.

Μια διαδικασία ακριβούς μέτρησης του Υ.Ο (μικρότερη από $\pm 1\text{mm}$) που εφαρμόζεται απαιτεί την συνδυαστική χρήση του γεωδαιτικού σταθμού και ενός συστήματος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών χωροβάτη – σταδίας.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται και αξιολογείται μία νέα μεθοδολογία μέτρησης του ύψους γεωδαιτικών σταθμών, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα, με την χρήση ενός κάτοπτρου.

Με την προτεινόμενη διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί ακρίβεια στην μέτρηση του Υ.Ο. έως και $\pm 0.5\text{mm}$.

Λέξεις-Κλειδιά:

γεωδαιτικός σταθμός, χωρίς ανακλαστήρα, κάτοπτρο – καθρέφτης, ύψος οργάνου.

Abstract

AN ALTERNATIVE METHOD FOR MEASURING TOTAL STATION'S HEIGHT

The height of a total station I.H is defined as the distance along the vertical between the point on the earth's surface, where the total station is placed and the intersection point of its the axes, as long as it is leveled and met all the operation's conditions.

The measurement of I.H. is the unique traditional measurement which is carried out by using a measuring tape even nowadays. The minimization of the uncertainty of the measurements which are provided by the modern total stations requires more accurate measurement of the I.H.

An accurate procedure for the I.H. measurement (less than $\pm 1\text{mm}$) requires the combined usage of a total station and a system for height differences determination namely a level and staff.

This paper presents a novel methodology for measuring the (I.H) of reflectorless total station by using a mirror. The proposed method provides accuracy of $\pm 0.5\text{mm}$ in the I.H measurement.

Key words: *Total station, Reflectorless, mirror, instrument height.*

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

1. Εισαγωγή

Η μέτρηση του Υ.Ο. όσον αφορά στους γεωδαιτικούς σταθμούς για τις τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες γίνεται με την χρήση μετροταινίας. Η παρεχόμενη αβεβαιότητα στις περισσότερες των περιπτώσεων καλύπτει την αβεβαιότητα των εργασιών. Μειονέκτημα αποτελεί το ότι η μετροταινία, λόγω της θέσης του τρίποδα, δεν μπορεί να τοποθετηθεί κατά μήκος της διεύθυνσης της κατακόρυφου μεταξύ του σημείου της φυσικής γήινης επιφάνειας και του σημείου τομής των αξόνων του γεωδαιτικού σταθμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καμπύλωση της μετροταινίας και την εσφαλμένη μέτρηση του Υ.Ο. Ανάλογα με την προσοχή που επιδεικνύει ο χρήστης η απόκλιση από την πραγματική τιμή του Υ.Ο. μπορεί να είναι της τάξης των $\pm 5\text{mm}$.

Σε εργασίες οι οποίες απαιτούν την μέτρηση του Υ.Ο. με αβεβαιότητα μικρότερη από $\pm 1\text{mm}$ είναι γνωστή μία μεθοδολογία με την χρήση ενός συστήματος χωροβάτη - σταδίας [Λάμπρου Ε., κ.α., 2010]. Η χρήση επιπλέον εξοπλισμού αποτελεί το βασικό μειονέκτημα για την εφαρμογή της μεθοδολογία αυτής.

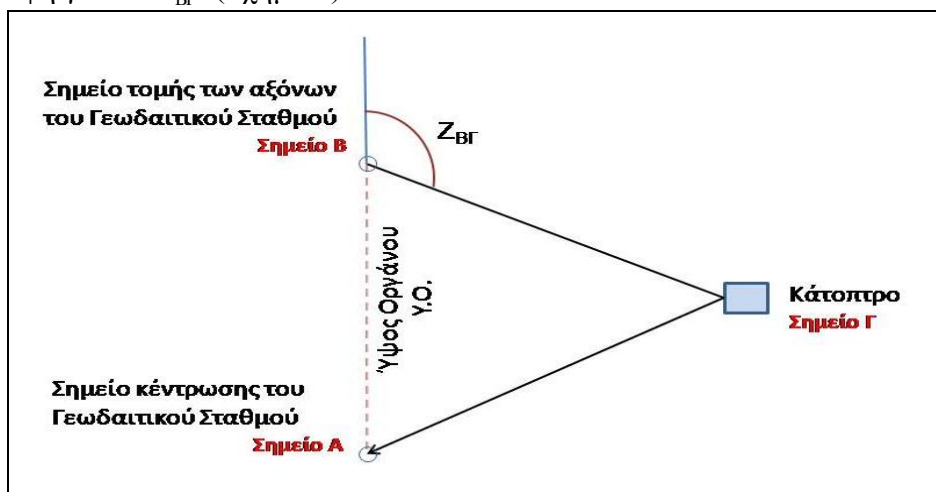
Στη παρούσα εργασία πραγματοποιείται η διερεύνηση μίας νέας μεθοδολογίας μέτρησης του Υ.Ο. για γεωδαιτικούς σταθμούς. Για την εφαρμογή της απαραίτητο είναι οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί να μετρούν μήκη χωρίς την χρήση ανακλαστήρα [Μαρκολέφα Α., 2010], [Μαυράκης Σ., 1999]. Ταυτόχρονα αναλύεται και η αβεβαιότητα που παρέχει η μεθοδολογία στον προσδιορισμό της τιμής του Υ.Ο. [JCGM 100:2008., 2008].

2. Ανάλυση μεθοδολογίας

Η χωρίς πρίσμα μέτρηση του μήκους παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης ενός μήκους έμμεσα μπορεί δηλαδή η εκπεμπόμενη ακτινοβολία να εκτρέπεται από ένα κάτοπτρο και στην συνέχεια να προσπίπτει στο επιθυμητό σημείο [Σεραφετινίδης Α.Α., 1990].

Τότε ο γεωδαιτικός σταθμός μετρά το συνολικό μήκος (διαδρομή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας), δηλαδή γεωδαιτικός σταθμός – κάτοπτρο – σημείο πρόσπτωσης.

Έστω ότι ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται στο σημείο Α και το σημείο τομής των αξόνων του Β βρίσκεται στην κατακόρυφο που περνά από το Α. Το μήκος ΑΒ είναι το Υ.Ο. Με την βοήθεια ενός κατόπτρου το οποίο τοποθετείται στο σημείο Γ μπορεί να σκοπευτεί το σημείο Α αλλά και να μετρηθεί το συνολικό μήκος $L = D_{BF} + D_{\Gamma A}$ και η κατακόρυφη γωνία Z_{BF} (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Η βασική αρχή της μεθοδολογίας

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

Το κάτοπτρο μπορεί να τοποθετηθεί με χρήση ενός αντάπτορα σε στυλαίο ο οποίος κατακορυφώνεται με την βοήθεια αεροστάθμης ή να τοποθετηθεί σε τυχαία θέση. Στην συνέχεια της εργασίας διακρίνονται και αναλύονται οι δύο αυτές περιπτώσεις και η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. που επιτυγχάνονται με την καθεμία.

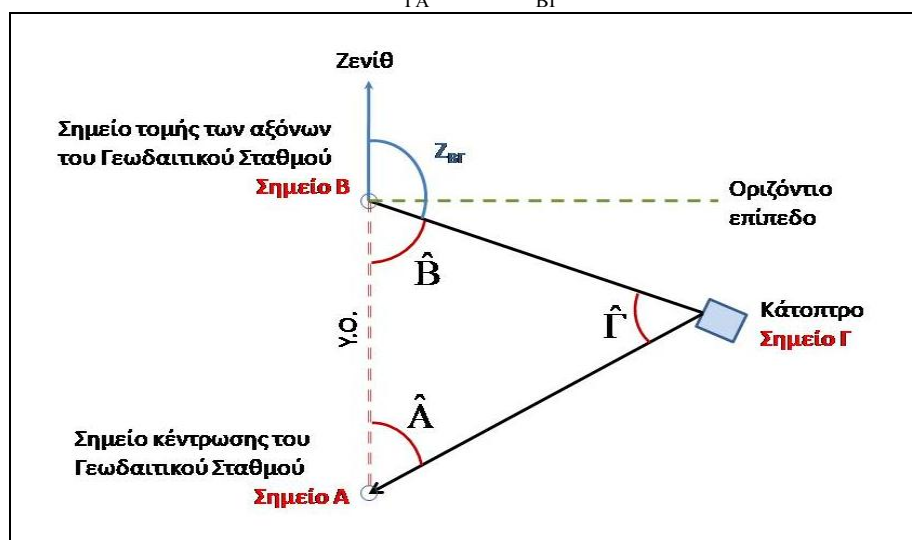
2.1 Κάτοπτρο σε τυχαία θέση.

Αν το κάτοπτρο τοποθετηθεί σε τυχαία θέση η κατοπτρική επιφάνεια θα πρέπει να έχει την κατάλληλη κλίση ώστε σε συνδυασμό με την ζενίθια γωνία μέσω του κατόπτρου να σκοπεύετε το σημείο A και μετράται το μήκος $L = D_{B\Gamma} + D_{\Gamma A}$.

Στην περίπτωση αυτή $D_{B\Gamma} \neq D_{\Gamma A}$, ενώ το κάτοπτρο δεν είναι παράλληλο με την κατακόρυφο που περνά από το A. Έτσι η κάθετη στην κατοπτρική επιφάνεια δεν είναι παράλληλη στο οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 2).

Κατόπιν τοποθετείται μπροστά από το κάτοπτρο μία αδιαφανής επιφάνεια ώστε να εμποδίζεται η ανάκλαση της ακτινοβολίας και μετράται το μήκος $D_{B\Gamma}$. Έτσι:

$$D_{\Gamma A} = L - D_{B\Gamma} \quad (1)$$



Σχήμα 2: Κατοπτρική επιφάνεια σε τυχαία θέση

Το Υ.Ο. υπολογίζεται με την βοήθεια του νόμου των ημιτόνων και του συνημίτονου από την τριγωνομετρία σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\frac{D_{\Gamma A}}{\sin \hat{B}} = \frac{D_{B\Gamma}}{\sin \hat{A}} \quad (2)$$

$$\hat{A} = \arcsin\left(\frac{D_{B\Gamma} \cdot \sin \hat{B}}{D_{\Gamma A}}\right) \quad (3)$$

$$\hat{\Gamma} = 200 - (\hat{A} + \hat{B}) \Rightarrow \hat{\Gamma} = 200 - (\hat{A} + (200 - z_{B\Gamma})) \Rightarrow \hat{\Gamma} = z_{B\Gamma} - \hat{A} \quad (4)$$

$$Y.O.^2 = D_{B\Gamma}^2 + D_{\Gamma A}^2 - 2D_{B\Gamma}D_{\Gamma A} \cos \hat{\Gamma} \quad (5)$$

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

Η αβεβαιότητα υπολογισμού του ύψους οργάνου δίνεται από τη σχέση 6 με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης των σφαλμάτων στην σχέση 5:

$$\sigma_{Y.O.} = \pm \sqrt{\left(\frac{D_{BF} - D_{\Gamma A} \cdot \cos \hat{\Gamma}}{\sqrt{D_{BF}^2 - 2D_{BF} D_{\Gamma A} \cos \hat{\Gamma} + D_{\Gamma A}^2}} \right)^2 \cdot \sigma_{D_{BF}}^2 + \left(\frac{D_{\Gamma A} - D_{BF} \cdot \cos \hat{\Gamma}}{\sqrt{D_{BF}^2 - 2D_{BF} D_{\Gamma A} \cos \hat{\Gamma} + D_{\Gamma A}^2}} \right)^2 \cdot \sigma_{D_{\Gamma A}}^2 + \dots} \\ \sqrt{\dots + \left(\frac{D_{BF} \cdot D_{\Gamma A} \cdot \cos \hat{\Gamma}}{\sqrt{D_{BF}^2 - 2D_{BF} D_{\Gamma A} \cos \hat{\Gamma} + D_{\Gamma A}^2}} \right)^2 \cdot \sigma_{\hat{\Gamma}}^2} \quad (6)$$

όπου $\sigma_{D_{BF}}$: η αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους D_{BF} .

$\sigma_{\hat{\Gamma}}$: η αβεβαιότητα μέτρησης της υπολογιζόμενης γωνίας σε rad.

Εναλλακτικά από τον τύπο της τριγωνομετρικής υπομετρίας μπορούν να υπολογιστούν οι υπομετρικές διαφορές ΔH_{BF} και $\Delta H_{\Gamma A}$.

$$\Delta H_{BF} = |D_{BF} \cdot \cos z_{BF}| \quad \& \quad \Delta H_{\Gamma A} = |D_{\Gamma A} \cdot \cos z_{\Gamma A}| \quad (7)$$

όπου

$$z_{\Gamma A} = \hat{B} + \hat{\Gamma} \Rightarrow z_{\Gamma A} = 200 - z_{BF} + \hat{\Gamma} \quad (8)$$

άρα

$$Y.O. = \Delta H_{BF} + \Delta H_{\Gamma A} \quad (9)$$

Ενώ η αντίστοιχη αβεβαιότητα του ύψους οργάνου δίνεται από την σχέση 10, με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης στην σχέση 9, έτσι προκύπτει ότι:

$$\sigma_{Y.O.} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta H_{BF}}^2 + \sigma_{\Delta H_{\Gamma A}}^2} \quad (10)$$

όπου:

$$\sigma_{\Delta H_{BF}} = \pm \sqrt{\sin^2 z_{BF} \cdot \sigma_{D_{BF}}^2 + D_{BF}^2 \cdot \cos^2 z_{BF} \cdot \sigma_{z_{BF}}^2} \quad (11)$$

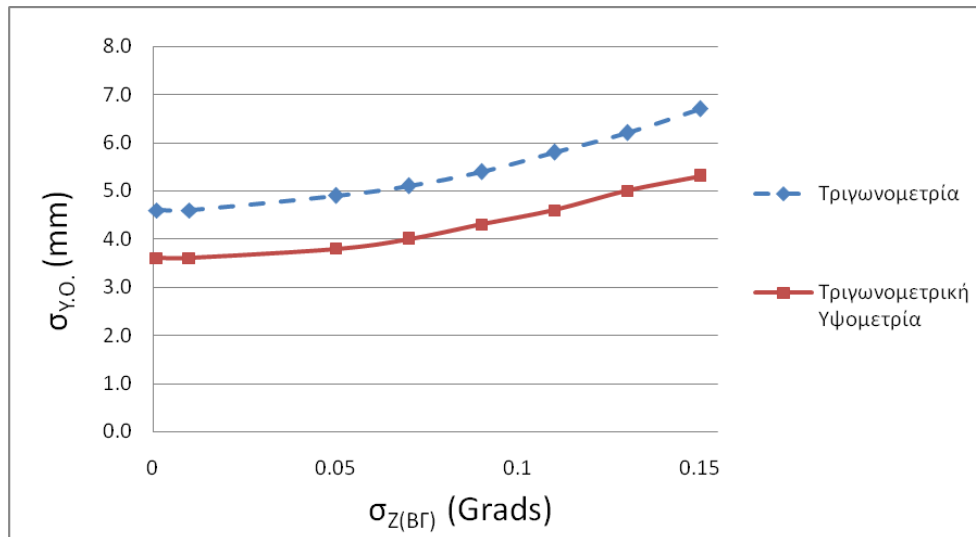
$$\sigma_{\Delta H_{\Gamma A}} = \pm \sqrt{\sin^2 z_{\Gamma A} \cdot \sigma_{D_{\Gamma A}}^2 + D_{\Gamma A}^2 \cdot \cos^2 z_{\Gamma A} \cdot \sigma_{z_{\Gamma A}}^2} \quad (12)$$

$$\sigma_{z_{\Gamma A}} = \pm \sqrt{\sigma_{\hat{B}}^2 + \sigma_{\hat{\Gamma}}^2} \quad (13)$$

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η αβεβαιότητα στην μέτρηση του Y.O. όταν το κάτοπτρο βρίσκεται σε τυχαία θέση και αν $z_{BF}=133.4126^g$, $L=3.716m$, $D_{BF}=1.914m$, $D_{\Gamma A}=1.802m$, $\sigma_{(BF)} = \sigma_{(\Gamma A)} = \sigma_L = \pm 2 \text{ mm}$ μεταβάλλοντας το $\sigma_{z_{BF}}$ από $\pm 0.0010^g$ έως $\pm 0.15^g$.

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ)
Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

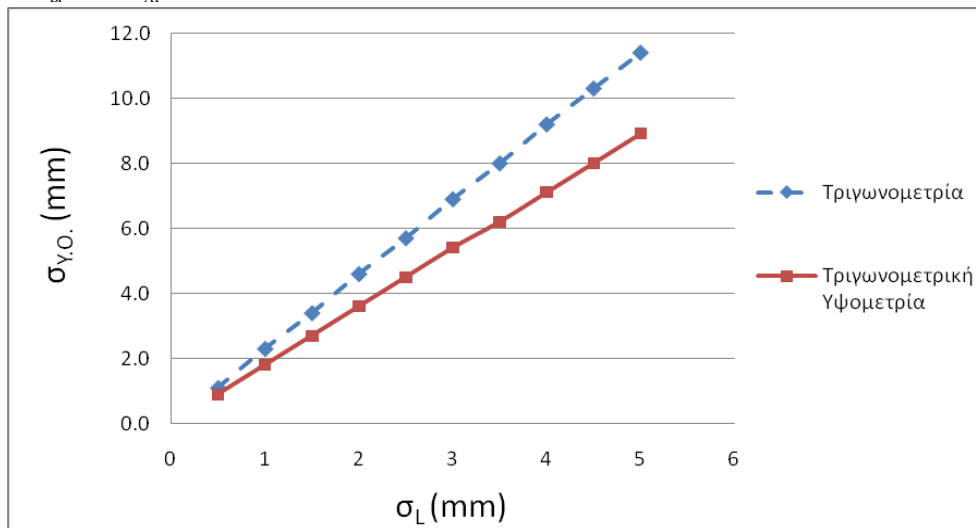


Σχήμα 3: Το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. σε σχέση με το σ_Z

Από το σχήμα 3 προκύπτει ότι η αβεβαιότητα είναι της τάξης των $\pm 4\text{mm}$ για αβεβαιότητα στην μέτρηση της κατακόρυφης γωνίας της τάξης των $\pm 10^\circ$. Λόγω των μικρών αποστάσεων η επίδραση της μεταβολής της αβεβαιότητας της ζενίθιας γωνίας στην αβεβαιότητα του Υ.Ο. είναι μικρή, αφού για μεταβολή στο σφάλμα της ζενίθιας γωνίας $\pm 0.05^\circ$ το σφάλμα του Υ.Ο. επηρεάζεται μόλις $\pm 1\text{mm}$.

Στο σχήμα 4, παρουσιάζεται το σφάλμα στο Υ.Ο. αν η αβεβαιότητα μέτρησης της ζενίθιας γωνίας είναι $\sigma_{Z_{B\Gamma}} = \pm 0.0010^\circ$ και μεταβάλλεται η αβεβαιότητα των μετρούμενων

μηκών $\sigma_{D_{B\Gamma}} = \sigma_{D_{A\Gamma}} = \sigma_L$ παρατηρούμε ότι:



Σχήμα 4: Το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. σε σχέση με το σ_L

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι η αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους χωρίς ανακλαστήρα από τον γεωδαιτικό σταθμό αποτελεί τον βασικό παράγοντα συνεισφοράς στην αβεβαιότητα υπολογισμού του ύψους οργάνου είτε αυτός γίνεται από τις σχέσεις τις τριγωνομετρίας είτε από τις σχέσεις των υψομετρικών διαφορών.

Στην περίπτωση που η κατοπτρική επιφάνεια βρίσκεται σε τυχαία θέση, η μέχρι σήμερα (2014) ονομαστική ακρίβεια των γεωδαιτικών σταθμών για την μέτρηση του μήκους Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

χωρίς την χρήση ανακλαστήρα επιτρέπει τον υπολογισμό του Υ.Ο. με αβεβαιότητα ίδιας τάξης μεγέθους με αυτή που παρέχει μία απλή μετροταινία.

2.2. Κάτοπτρο σε κατακόρυφη θέση.

Έστω ότι το κάτοπτρο είναι παράλληλο με την κατακόρυφο που διέρχεται από το σημείο Α, τότε η κάθετη στην κατοπτρική επιφάνεια είναι παράλληλη στο οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 5).

Μέσω του κατόπτρου σκοπεύετε το σημείο Α και τότε $L = D_{BF} + D_{GA}$ και $D_{BF} = D_{GA} = L/2$.

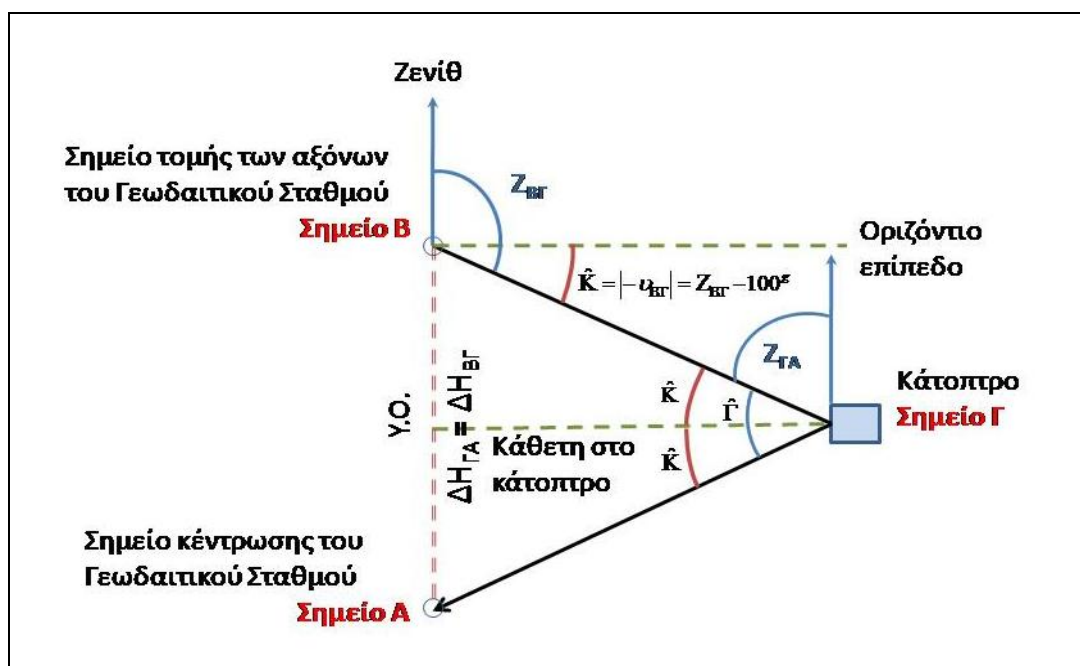
Από το σχήμα 5 προκύπτει ότι:

$$\hat{K} = z_{BF} - 100^s = | -\nu_{BF} | \quad (15)$$

$$\sigma_{\hat{K}} = \sigma_{z_{BF}} \quad (16)$$

$$\hat{\Gamma} = 2 \cdot \hat{K} \quad (17)$$

$$\sigma_{\hat{\Gamma}} = \pm 2 \cdot \sigma_{\hat{K}} \Rightarrow \sigma_{\hat{\Gamma}} = \pm 2 \cdot \sigma_{z_{BF}} \quad (18)$$



Σχήμα 5: Κατοπτρική επιφάνεια παράλληλη στην κατακόρυφο που διέρχεται από το Α

Από τον νόμο συνημίτονων στο τρίγωνο ΒΓΑ προκύπτει το Υ.Ο. από την σχέση:

$$Y.O. = \sqrt{D_{BF}^2 + D_{AG}^2 - 2D_{BF}D_{AG}\cos\hat{\Gamma}} = \sqrt{\frac{L^2}{2}(1 - \cos\hat{\Gamma})} \quad (18)$$

Η αβεβαιότητα υπολογισμού του Υ.Ο. με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης των σφαλμάτων στην σχέση 18, υπολογίζεται:

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

$$\sigma_{Y.O.} = \pm \sqrt{\sin^2\left(\frac{\Gamma}{2}\right) \cdot \sigma_L^2 - \left(\frac{L^2 \cdot \sin^2(\Gamma)}{8 \cdot (1 - \cos(\Gamma))}\right) \cdot \sigma_\Gamma^2} \quad (19)$$

όπου:

$\sigma_{\hat{\Gamma}} = \sigma_{z_{BF}}$: η αβεβαιότητα μέτρησης της ζενίθιας γωνίας σε rad

L: Το συνολικό μήκος $D_{BF} + D_{FA}$, που μετράται από τον γεωδαιτικό σταθμό

σ_L : η αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους χωρίς ανακλαστήρα από τον γεωδαιτικό σταθμό

Ακόμη από τον τύπο της τριγωνομετρικής υψομετρίας υπολογίζονται οι υψομετρικές διαφορές ΔH_{BF} και ΔH_{FA} οι οποίες είναι ίσες.

$$\Delta H_{BF} = |D_{BF} \cdot \cos z_{BF}| \Rightarrow Y.O. = 2 \cdot \Delta H_{BF} \quad (20)$$

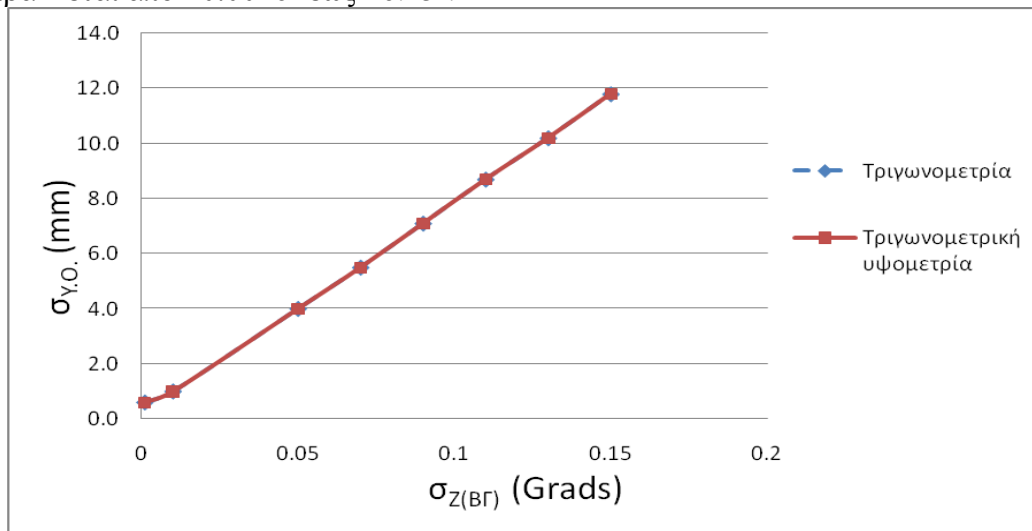
Η αβεβαιότητα υπολογισμού του Y.O. με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης των σφαλμάτων στην σχέση 20, υπολογίζεται:

$$\sigma_{Y.O.} = \pm 2 \cdot \sigma_{\Delta H_{BF}} \quad (21)$$

$$\sigma_{\Delta H_{BF}} = \pm \sqrt{\cos^2 z_{BF} \cdot \sigma_{D_{BF}}^2 + D_{BF}^2 \cdot \sin^2 z_{BF} \cdot \sigma_{z_{BF}}^2} \quad (22)$$

$$\sigma_{D_{BF}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sigma_L \quad (23)$$

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται το σφάλμα υπολογισμού του Y.O. αν η ζενίθια γωνία είναι $z_{BF}=120.8645^g$, το συνολικό μήκος είναι $L=5.282m$ και η αβεβαιότητα του μετρούμενου μήκους είναι $\sigma_L = \pm 2 mm$ και $\sigma_{D_{BF}} = \pm 1 mm$, ενώ η αβεβαιότητα της μετρούμενης γωνίας μεταβάλλεται από $\pm 0.0010^g$ έως $\pm 0.15^g$.



Σχήμα 6: Το σφάλμα στον προσδιορισμό του Y.O. σε σχέση με την αβεβαιότητα $\sigma_{z_{BF}}$ μέτρησης της ζενίθιας γωνίας

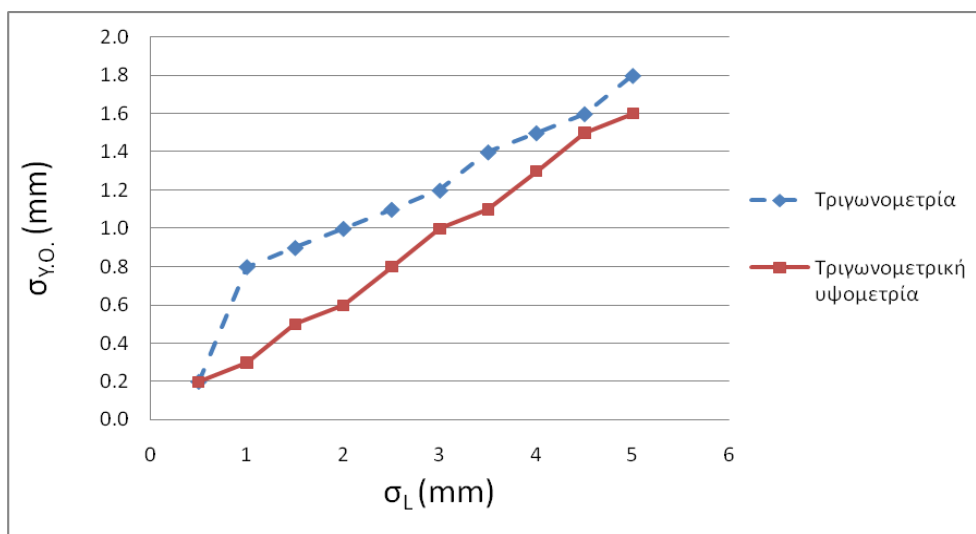
Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ)
Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

Οι δύο γραμμές του σφάλματος στο διάγραμμα ταυτίζονται άρα, το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. είναι το ίδιο είτε χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις της τριγωνομετρίας είτε αυτές της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

Επίσης, από το σχήμα 6 προκύπτει ότι επιτυγχάνεται αβεβαιότητα του προσδιορισμού του Υ.Ο. μικρότερη από $\pm 1\text{mm}$ όταν η αβεβαιότητα μέτρησης της ζενίθιας γωνίας είναι μικρότερη από $\pm 0.01^\circ$.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται το σφάλμα στο Υ.Ο. αν η αβεβαιότητα μέτρησης της ζενίθιας γωνίας είναι $\sigma_\Gamma = \pm 0.001^\circ$ και η αβεβαιότητα του μετρούμενου μήκους L μεταβάλλεται από $\pm 0.5\text{mm}$ έως $\pm 5\text{mm}$. Διαπιστώνεται ότι το σφάλμα του Υ.Ο. υπολογιζόμενο με τις σχέσεις της τριγωνομετρικής υψομετρίας είναι μικρότερο από το αντίστοιχο με την χρήση των σχέσεων της τριγωνομετρίας.



Σχήμα 7: Το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. σε σχέση με την αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους σ_L

Τέλος μελετήθηκε το σφάλμα στον υπολογισμό του Υ.Ο. και στις δύο περιπτώσεις (τριγωνομετρική υψομετρία – τριγωνομετρία) σε σχέση με την απόσταση του κατόπτρου από τον γεωδαιτικό σταθμό.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο., μεταβάλλοντας την απόσταση μεταξύ του κατόπτρου και του γεωδαιτικού σταθμού θεωρώντας ότι το Υ.Ο. έχει τιμή ίση με 1.70m. Σε αυτήν την περίπτωση το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. αποκτά την ελάχιστη τιμή όταν η οριζόντια απόσταση μεταξύ του γεωδαιτικού σταθμού και της κατοπτρικής επιφάνειας είναι περίπου 6m.



Σχήμα 8: Το σφάλμα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. και στις δύο περιπτώσεις (τριγωνομετρική υψομετρία – τριγωνομετρία) ανάλογα με την οριζόντια απόσταση μεταξύ κατόπτρου και γεωδαιτικού σταθμού.

3. Εφαρμογή

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής προσδιορίστηκε το Υ.Ο. ενός γεωδαιτικού σταθμού με τους εξής τρόπους:

1. Με την χρήση απλής μετροταινίας
2. Με την εφαρμογή και των δύο περιπτώσεων της προτεινόμενης μεθοδολογίας
3. Με την χρήση του γεωδαιτικού σταθμού και ενός συστήματος χωροβάτη – σταδίας.

Ο γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο TM30 της εταιρίας Leica, [Leica Specification Data TM30., 2010] ο οποίος έχει αβεβαιότητα στην μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$, ενώ η γωνιακή αβεβαιότητα είναι $\pm 1.5''$.

Τρόπος Μέτρησης		Υ.Ο	$\sigma_{\text{Y.O.}}$
Μετροταινία		1.5600m	$\pm 5.0\text{mm}$
Συνδυασμός με χωροβάτη		1.5620m	$\pm 0.25\text{mm}$
Προτεινόμενη μεθοδολογία	Κατακόρυφο Κάτοπτρο	1.5627m	$\pm 0.5\text{mm}$
	Τυχαία θέση Κατόπτρου	1.5615m	$\pm 4\text{mm}$

Πίνακας 1: Συγκριτικά αποτελέσματα

4. Συμπεράσματα

Με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι εφικτός ο προσδιορισμός του Υ.Ο. με αβεβαιότητα $\pm 0.5\text{mm}$.

Στην περίπτωση που η κατοπτρική επιφάνεια τοποθετείται σε **τυχαία θέση**, η αβεβαιότητα υπολογισμού της γωνίας \hat{A} στο τρίγωνο ΒΓΑ με το νόμο των ημιτόνων, είναι της τάξης των $\pm 0.10^{\text{g}}$ (για αβεβαιότητα στα μετρούμενα μήκη της τάξης των $\pm 1\text{mm}$)

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

γεγονός που προκαλεί και αντίστοιχη αβεβαιότητα της γωνίας $\hat{\Gamma}$. Έτσι προκύπτει αβεβαιότητα της τάξης των $\pm 4\text{mm}$ στον προσδιορισμό του Υ.Ο.

Ο υπολογισμός του Υ.Ο. στην περίπτωση αυτή είναι καλύτερα να γίνει με την βοήθεια των σχέσεων της τριγωνομετρικής υψομετρίας, που παρέχει αβεβαιότητα μικρότερη της τάξης των $\pm 3\text{mm}$.

Και στις δύο περιπτώσεις η αβεβαιότητα προσδιορισμού του Υ.Ο. είναι εφάμιλλη με αυτή που επιτυγχάνεται με την χρήση της απλής μετροταινίας.

Όταν η κατοπτρική επιφάνεια είναι σε **κατακόρυφη θέση** επιτυγχάνεται αβεβαιότητα στον προσδιορισμό του Υ.Ο. της τάξης των $\pm 0.5\text{mm}$. χρησιμοποιώντας είτε τις μαθηματικές σχέσεις της τριγωνομετρίας είτε της τριγωνομετρικής υψομετρίας.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία πλεονεκτεί στο γεγονός ότι απαλλάσσει τον χρήστη από την χρήση του συστήματος χωροβάτη – σταδίας, που απαιτεί επιπλέον εξοπλισμό και άρα είναι οικονομικά ασύμφορη.

Η τοποθέτηση του κατόπτρου στην ιδανική θέση, δηλαδή κατακόρυφα και σε απόσταση περίπου 6m από τον γεωδαιτικό σταθμό, είναι δυνατή με την χρήση ενός απλού αντάπτορα που προσαρμόζεται σε ένα στυλαίο.

Η μέτρηση του Υ.Ο. ενός γεωδαιτικού σταθμού στις τρέχουσες τοπογραφικές εφαρμογές πραγματοποιείται απλά και γρήγορα με την χρήση μιας μετροταινίας.

Ο αριθμός των μαθηματικών σχέσεων στην προτεινόμενη μεθοδολογία δημιουργεί την εντύπωση ότι ίσως είναι αντιπαραγωγική.

Όμως οι σύγχρονοι γεωδαιτικοί σταθμοί αποτελούν πλέον μικρές υπολογιστικές μονάδες στις οποίες μπορούν να καταχωρούνται διάφορα λογισμικά για την διευκόλυνση των χρηστών.

Έτσι και οι απλές μαθηματικές σχέσεις της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορούν να εισαχθούν ως λογισμικό στον γεωδαιτικό σταθμό μέσα από το οποίο ο χρήστης μπορεί να πληροφορηθεί και να καταγράψει το Υ.Ο. και την αβεβαιότητα υπολογισμού του στην μνήμη του γεωδαιτικού σταθμού.

Βιβλιογραφία

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Εφαρμοσμένη Γεωδαισία, Εκδόσεις: Ζήτη Αθήνα, 2010

Leica Geosystems., Accreditation - Producer Inspection Certificate M in accordance with DIN 55350-18-4.2.2", Switzerland, 2010.

Μαρκολέφα Α., Αξιολόγηση της μέτρησης του μήκους και του ποσοστού της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας με Reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς, Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π., 2010

Μαυράκης Σ., Διερεύνηση της αξιοπιστίας μέτρησης μηκών χωρίς την χρήση ανακλαστήρα με τους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς, Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., 2009.

Σεραφετινίδης Α.Α., Εισαγωγή στην Οπτοηλεκτρονική, Εκδόσεις: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1990.

Leica Specification Data TM30., 2010.

JCGM 100:2008., «Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement», 2008.

Κων/νος Νικολίτσας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εναλλακτική μεθοδολογία μέτρησης του ύψους ενός γεωδαιτικού σταθμού.

5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ)
Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014