

Ενημερωτικό άρθρο

Review article

Ακρίβεια Προσδιορισμού Κατακόρυφων Μικρομετακινήσεων με τη Μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας και Χρήση¹ Θεοδόλιχων Ακριβείας

I.A. ΓΚΟΥΓΚΟΥΤΟΥΔΗΣ, E. ΛΑΜΠΡΟΥ, G. ΠΑΝΤΑΖΗΣ

Περιληψη

Το άρθρο αυτό ασχολείται με την ακρίβεια προσδιορισμού κατακόρυφων μικρομετακινήσεων με τη μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας σε συνδυασμό με τη μορφή των εργασιών (βραχυχρόνιες ή μακροχρόνιες και οριζόντιες). Αναλύονται τα σφάλματα προσδιορισμού της μεταβολής των γωνιών ύψους, της απόστασης προς τα σκοπευόμενα σημεία, της θέσης της στάσης οργάνου και του συντελεστή γεωδαιτικής διάθλασης, καθώς και η επίδραση αυτών στον προσδιορισμό των κατακόρυφων μικρομετακινήσεων. Όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται σε διαγράμματα.

Accuracy in the Determination of Vertical Displacements Using Trigonometric Levelling and Precision Theodolites

I.A. GOUGOUTOUDIS, E. LAMPROU, G. PANTAZIS

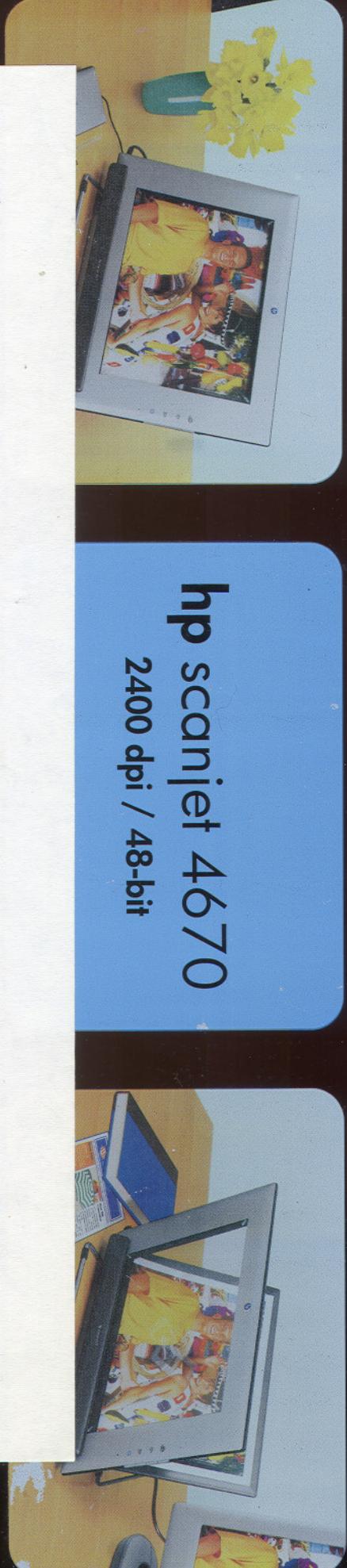
Abstract

This article is assesses the accuracy of the vertical displacements which are determined using the method of trigonometric levelling. The accuracy depends on the duration of the field work (short or long time and the type of displacements) vertical or vertical and horizontal simultaneously. Errors of the vertical angles, distances, position of the instrument point and the refraction coefficient changes are analysed and also the effect that all these errors caused to the vertical displacements determination. All the results are given in diagrams.

Υποβλήθηκε: 24.10.1991
Έγινε δεκτή: 26.2.1993

Submitted: Oct. 24, 1991
Accepted: Feb. 26, 1993

hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit





hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωδαισία είναι η επιστήμη που ασχολείται και με τον προσδιορισμό κατακόρυφων και οριζόντιων μικρομετακινήσεων, σε μεγάλα τεχνικά έργα, με την δρυση γεωδαιτικών δικτύων, συνδιάζοντας μετρήσεις γωνιών, αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών.

Η εργασία αυτή δίνει άμεσα, με τη βοήθεια διαγραμμάτων, τη δυνατότητα σχεδιασμού των απαραίτητων μετρήσεων σε ένα γεωδαιτικό δίκτυο προσδιορισμού κατακόρυφων μικρομετακινήσεων, με τη μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας και την τιμή του σφάλματος στον προσδιορισμό τους για διάφορες περιπτώσεις. Η χρήση της τριγωνομετρικής υψομετρίας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες στον εντοπισμό κατακόρυφων μικρομετακινήσεων σε σημεία ελέγχου κατασκευών που είναι απρόσιτα με γεωμετρική χωροστάθμιση.

Από τη βασική σχέση της τριγωνομετρικής υψομετρίας, για τον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών, για δύο φάσεις μετρήσεων έχουμε (σχήμα 1):

$$H_A = H_x + d \tan u + (1-k) \frac{d^2}{2R} \quad (1.1)$$

$$H_{A'} = H_x' + d' \tan u' + (1-k') \frac{d'^2}{2R} \quad (1.2)$$

Από τις σχέσεις (1.1) και (1.2) έχουμε:

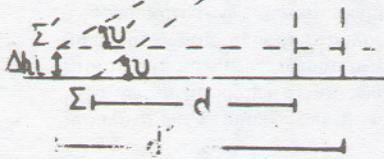
$$H_{A'} - H_A = H_x' - H_x + (d' \tan u' - d \tan u) +$$

$$+ (1-k') \frac{d'^2}{2R} - (1-k) \frac{d^2}{2R} \quad (1.3)$$

$$\Delta h_s = \Delta h_s + [d' \tan u' + (1-k') \frac{d'^2}{2R}] -$$

$$- [d \tan u + (1-k) \frac{d^2}{2R}] \quad (1.4)$$

όπου $u' = u + \Delta u$, $d' = d + \Delta d$, $k' = k + \Delta k$



Σχήμα 1.

$$\text{Av } d' \tan u' - d \tan u = (d + \Delta d) \tan(u + \Delta u) - d \tan u = d[\tan(u + \Delta u)] + \Delta d \tan(u + \Delta u) - d \tan u = d[\tan(u + \Delta u) - \tan u] + \Delta d[\tan(u + \Delta u)] \quad (1.5)$$

$$\text{Ομως } \tan(u + \Delta u) - \tan u = \frac{(1 + \tan^2 u)\Delta u}{1 - \tan u \tan \Delta u} \quad (1.6)$$

Αν θεωρήσουμε $\tan \Delta u \approx \Delta u$, $\tan u \tan \Delta u \approx 0$, $\tan(u + \Delta u) \Delta u \approx \tan u \Delta d$, τότε:

$$d' \tan u' - d \tan u = d(1 + \tan^2 u) \Delta u + \tan u \Delta d \quad (1.7)$$

Ουας:

$\Delta h_s = H$ μεταβολή της κατακόρυφης θέσης του σημείου ελέγχου.

Δh_s = H μεταβολή της κατακόρυφης θέσης του σημείου στάσης.

d = Η οριζόντια απόσταση μεταξύ σημείου στάσης και σημείου ελέγχου.

u = Η γωνία ύψους.

Δu = Η μεταβολή της γωνίας ύψους.

Δd = Η μεταβολή της απόστασης.

Δk = Η μεταβολή της τιμής του συντελεστή διάθλασης.

R = Η ακτίνα της γης.

Η σχέση (1.8) παρέχει τον προσδιορισμό της κατακόρυφης μικρομετακινήσεως του σημείου ελέγχου, σαν συνάρτηση της κατακόρυφης μικρομετακινήσεως του σημείου στάσης, της γωνίας ύψους, της απόστασης, και του συντελεστή διάθλασης.

Η επιρροή του κάθε όρου της σχέσης (1.8) στην τιμή του Δh_s , θα είναι συνάρτηση της διάρκειας των παρατηρήσεων.

Πρέπει να αναφερθούν δύο είδη μετρήσεων:

- Βραχυχρόνιες : οι μετρήσεις γίνονται μέσα σε μικρό χρονικό διά-

στημα και διαρκούν συνήθως μερικές ώρες, στις οποίες δεν έχουμε μεταβολή της θέσης της στάσης οργάνου.

- **Μακροχρόνιες** : οι μετρήσεις διαφέρουν χρονικά, στη διάρκεια των οποίων έχουμε μεταβολή της θέσης της στάσης οργάνου.
Στό αρθρό αυτό, γίνεται θεωρητική ανάλυση για κάθε μία περίπτωση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων.

1.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- Δη_γ** : Η μεταβολή της κατακόρυφης θέσης του σημείου ελέγχου.
Δη_ε : Η μεταβολή της κατακόρυφης θέσης του σημείου στάσης.
Δυ : Η μεταβολή της γωνίας ύψους.
Δδ : Η μεταβολή της απόστασης.
Δκ : Η μεταβολή της τιμής του συντελεστή διάθλασης.
υ : Η γωνία ύψους.
z : Η κατακόρυφη γωνία.
d : Η οριζόντια απόσταση μεταξύ σημείου στάσης και σημείου ελέγχου.
κ : Ο συντελεστής διάθλασης.
ση_η : Η τυπική απόκλιση της κατακόρυφης μικρομετακίνησης.
ση_ε : Η τυπική απόκλιση της μεταβολής της γωνίας ύψους.
ση_δ : Η τυπική απόκλιση της μεταβολής της απόστασης.
ση_κ : Η τυπική απόκλιση της μεταβολής της τιμής του συντελεστή διάθλασης.
ση_{ηη} : Η τυπική απόκλιση της μεταβολής της κατακόρυφης θέσης της στάσης οργάνου.
R : Η ακτίνα της Γης.

2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΡΩΤΗ: Οι παραπορήσεις είναι βραχυχρόνιες και τα σημεία ελέγχου επηρεάζονται μόνο από κατακόρυφες μικρομετακίνησεις.

Στην περίπτωση αυτή η ακρίβεια προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης, εξαρτάται από το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής της γωνίας ύψους και από το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής του συντελεστή διάθλασης.

Από έρευνα που έγινε στο πεδίο σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και για αποστάσεις από 30m ως 120m, προέκυψε, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μέτρησης κατακόρυφης γωνίας (σο με $\pm 3.5^{\circ}$ για κακές καιρικές συνθήκες και (σο με $\pm 2.6^{\circ}$ για ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, αντίστοιχο με τα σφάλματα μέτρησης κατακόρυφης γωνίας σε μία περίοδο, με θεοδόλοιχο Theo 010A. [1]

Με την προϋπόθεση ότι $\sigma_u = \pm 3.0^{\circ}$ κατασκευάστηκε το διάγραμμα 2 στο οποίο φαίνεται η εξάρτηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακίνησης, από τις διάφορες τιμές γωνιών ύψους και αποστάσεων, για μετρήσεις σε δύο ή τρεις περιόδους. Ο δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης, είναι η μεταβολή του συντελεστή διάθλασης στη διάρκεια του 24ωρου. Για δύο διαδοχικές μετρήσεις ο συντελεστής διάθλασης προσδιορισμένος από τις μετρημένες κατακόρυφες γωνίες μεταξύ δύο σημείων δίνεται από τις σχέσεις:

$$K = 1 - (h - dcotz) \frac{2R}{d^2} \quad (2.1)$$

$$K_1 = 1 - (h - dcotz_1) \frac{2R}{d^2} \quad (2.2)$$

όπου :

h = η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων.

d = η απόσταση μεταξύ των σημείων.

z, z₁ = οι τιμές των κατακόρυφων γωνιών.

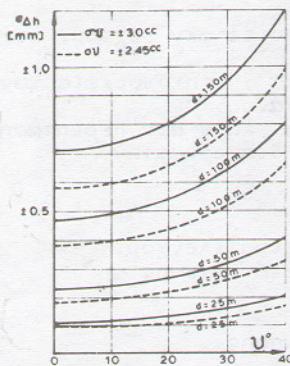
Αφαιρώντας κατά μέλο τις σχέσεις (2.1) και (2.2) έχουμε:

hp scanner 4670
2400 dpi / 48-bit



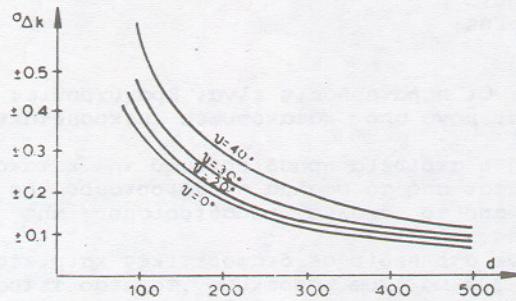


**hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit**

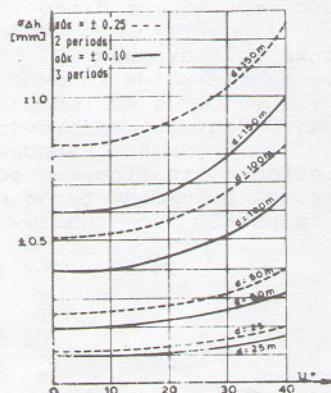


Σχήμα.2. Εξάρτηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακίνησης από τη γωνία ύψους.

περιέδοσις. Από το σχήμα 3 προκύπτει ότι για να προσδιοριστεί η τιμή του Δκ με σφάλμα μικρότερο του ±0.1, πρέπει ο έλεγχος της μεταβολής του συντελεστή διάθλασης, να γίνεται για σημείο που βρίσκεται σε minimum απόσταση 500m.



Σχήμα.3. Μεταβολή του σφάλματος σ.Δκ. συναρτήσει της απόστασης.



Σχήμα.4. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακίνησης, για την πρώτη περίπτωση.

$$\Delta k = \kappa_1 - \kappa = \frac{2R}{d} (\cot z_1 - \cot z_2) \quad (2.3)$$

Αν $z \approx z_1$, $\sin^2 z = \cos^2 u$ και $2R/p \approx 20$,

τότε η σχέση (2.3) γίνεται:

$$\Delta k = -20 \frac{\Delta u}{d \cos^2 u} \quad (2.4)$$

Από τη σχέση (2.4) υπολογίζεται η μεταβολή του συντελεστή διάθλασης Δκ, και εισάγεται η διόρθωση στις υπολογισμένες κατακόρυφες μικρομετακίνησεις. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της υπολογισμένης μεταβολής του συντελεστή διάθλασης Δκ, δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_{\Delta k} = 20 \frac{\sigma_{du}}{d \cos^2 u} \quad (2.5)$$

Οι μεταβολές του παραπάνω σφάλματος σαν συνάρτηση της απόστασης και για διάφορες τιμές κατακόρυφης γωνίας, δίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 3, όπου η κατακόρυφη γωνία έχει μετρηθεί σε τρεις

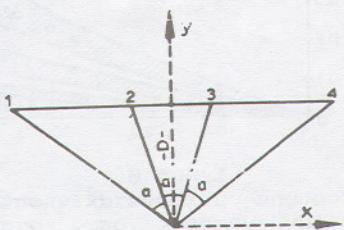
λαμβάνοντας υπόψη τη μικτή επίδραση των σφαλμάτων μέτρησης των κατακορύφων γωνιών και των σφαλμάτων μεταβολής του συντελεστή διάθλασης, προσδιορίστηκε για την πρώτη περίπτωση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης. Οι καμπύλες μεταβολής του σφάλματος αυτού, με την προηπόθεση ότι οι μετρήσεις έγιναν μόνο από μία στάση δίνονται στο σχήμα 4.

3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ: Οι παρατηρήσεις είναι μακροχρόνιες και τα σημεία ελέγχου επηρεάζονται μόνο από κατακόρυφες μικρομετακινήσεις.

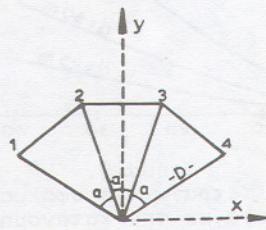
Στήν περίπτωση αυτή δύοι οι δύοι της σχέσης (1.8) επηρεάζουν την ακρίβεια προσδιορισμού των κατακόρυφων μικρομετακινήσεων. Η μεταβολή της θέσης οργάνου, οριζόντιογραφικά, μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων μπορεί να προσδιοριστεί από τις μετρήσεις των κατακόρυφων γωνιών και των οριζόντιων γωνιών ή διευθύνσεων προς τέσσερα ή περισσότερα σημεία εξάρτησης.

Η μετατόπιση του κατακόρυφου άξονα του θεοδολίχου μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων δεν είναι αποκλειστικά αποτέλεσμα της οριζόντιας μετατόπισης του σημείου της στάσης, αλλά μπορεί να προέρχεται και από τα σφάλματα κέντρωσης του οργάνου πάνω από τη στάση.

Αναλύοντας δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις κατανομής των σημείων εξάρτησης ως προς τις στάσεις (σχήματα 5 & 6) μπορούν να προσδιοριστούν τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα των οριζόντιων μετατοπίσεων του οργάνου.



Σχήμα 5.



Σχήμα 6.

Κατανομή των σημείων αναφοράς ως προς τη στάση οργάνου.
Για την περίπτωση κατανομής του σχήματος 5 θα έχουμε [4]:

$$\sigma_{\Delta x} = \frac{d \sigma_1}{\rho^{\circ} \sin \alpha \sin 2\alpha} = \frac{d \sigma_1}{\rho^{\circ} \circ} b \quad (3.1)$$

$$\sigma_{\Delta y} = \frac{d \sigma_1 \sqrt{2}}{\rho^{\circ} \sin^2 \alpha + \sin^3 \alpha} = \frac{d \sigma_1}{\rho^{\circ} \circ} a \quad (3.2)$$

όπου:

σ_1 = το μέσο τετραγωνικό σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής της διεύθυνσης.

d = η απόσταση μεταξύ του σημείου στάσης και του σημείου αναφοράς

a = $1/\sin \alpha \sin 2\alpha$

b = $\sqrt{2}/\sin^2 \alpha + \sin^3 \alpha$

Για την περίπτωση κατανομής του σχήματος 6 έχουμε [4]:

$$\sigma_{\Delta y} = \frac{D \sigma_1}{\rho^{\circ} \sqrt{2} [\sin^2 \alpha \sin^2 3\alpha]} = \frac{D \sigma_1}{\rho^{\circ} \circ} a' \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\Delta x} = \frac{D \sigma_1}{\rho^{\circ} [\cos \alpha - \cos 3\alpha]} = \frac{D \sigma_1}{\rho^{\circ} \circ} b' \quad (3.4)$$

Αν $\sigma_{\Delta x} \sigma_{\Delta y} = 0$ τότε το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της κατακόρυφης μικρομετακίνησης σάν αποτέλεσμα της επεξρασης των συνιστωσών της οριζόντιας μετατόπισης θα είναι:

$$\sigma^2_{\Delta h} = [\sigma^2_{\Delta y} \cos^2 \psi + \sigma^2_{\Delta x} \sin^2 \psi] \tan^2 u \quad (3.5)$$

hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit

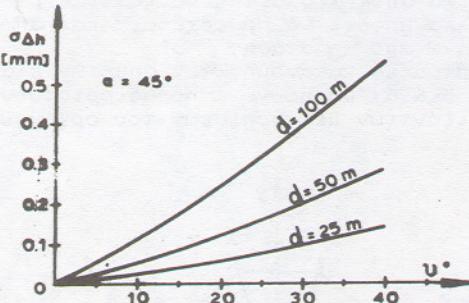


hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit



όπου ψ.η γωνία μεταξύ του μικρού αξονα της έλλειψης σφάλματος και της διεύθυνσης προς το σημείο ελέγχου.

Αν και η κατανομή των σημείων αναφοράς του σχήματος 5, δίνει μεγαλύτερα σφάλματα στις οριζόντιες μετατοπίσεις από την κατανομή των σημείων του σχήματος 6, προτιμάται λόγω μεγαλύτερων αποστάσεων των σημείων ελέγχου από τα σημεία αναφοράς. Με τη βοήθεια της σχέσης (3.5) υπολογίζονται τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα της κατακόρυφης μικρομετακίνησης και για τα δύο συστήματα κατανομής των σημείων αναφοράς και παρουσιάζονται στα σχήματα 7 & 8.



Σχήμα 7.

Μέσα τετραγωνικά σφάλματα κατακόρυφης μικρομετακίνησης ανάλογα με την κατανομή των σημείων αναφοράς όπως στα σχήματα 5-6, αντίστοιχα.

Η μεταβολή Δι του ύψους οργάνου σε διαδοχικές παρατηρήσεις, υπολογίζεται από τις μετρημένες κατακόρυφες γωνίες (ή τις υπολογισμένες γωνίες ύψους) προς τα σημεία αναφοράς.

$$\Delta i = - \frac{d}{p^{\alpha}} (1 + \tan^2 u) \Delta u \quad (3.6)$$

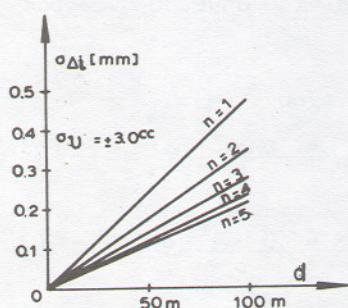
Αν τα σημεία αναφοράς ληφθούν έτσι ώστε $u_i = 0^\circ$, έχουμε:

$$\Delta i = - \frac{d}{p^{\alpha}} \Delta u \quad (3.7)$$

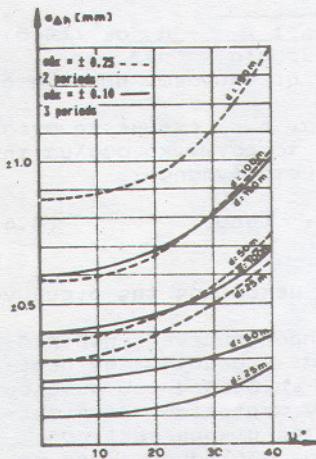
Οπότε:

$$\sigma_{\Delta i} = \sigma_{\Delta h} = \frac{d}{p^{\alpha} \sqrt{n_i}} \sigma_{\Delta u} \quad (3.8)$$

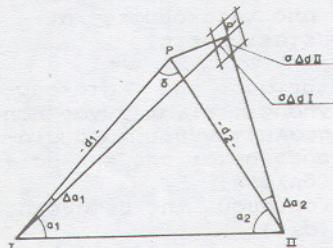
όπου n_i το πλήθος των σημείων αναφοράς. Στο σχήμα 9 απεικονίζεται η εξάρτηση του σφάλματος $\sigma_{\Delta h}$ από την απόσταση και το πλήθος των σημείων αναφοράς, θεωρώντας ότι $\sigma_u = 3.0^\circ$.



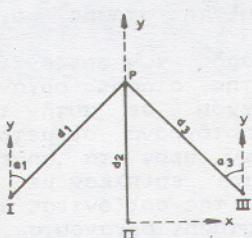
Σχήμα 9. Εξάρτηση του σφάλματος $\sigma_{\Delta h}$ από την απόσταση και το πλήθος των σημείων αναφοράς.



Σχήμα.10. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακινήστρης, για την δεύτερη περίπτωση.



Σχήμα.11. Σφάλματα εξαιτίας μεταβολής της απόστασης.



Σχήμα.12. Χρήση πολλαπλής εμπροσθοτομίας για τον προσδιορισμό οριζόντιας μικρομετακινήστρης.

Συνδυάζοντας τα σφάλματα μέτρησης κατακόρυφης γωνίας, τα σφάλματα προσδιορισμού της μεταβολής του συντελεστή διάθλασης, τα σφάλματα λόγω οριζόντιας μετατόπισης της στάσης οργάνου καθώς και λόγω μεταβολής του ύψους οργάνου, υπολογίζονταν τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα της κατακόρυφης μικρομετακινήστρης και οι καμπύλες τους παρουσιάζονταν στο σχήμα 10.

4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΡΙΤΗ: Οι παρατηρήσεις είναι βραχυχρόνιες και τα σημεία ελέγχου επηρεάζονται από κατακόρυφες και οριζόντιες μικρομετακινήσεις.

Η ακρίβεια προσδιορισμού των κατακόρυφων μικρομετακινήσεων στην περίπτωση αυτή, εξαρτάται από τα σφάλματα της πρώτης περίπτωσης που αναφέρθηκαν, και επιπλέον από τα σφάλματα προσδιορισμού μεταβολής της απόστασης, μεταξύ της στάσης οργάνου και των σημείων ελέγχου, που επηρεάζονται από οριζόντιες μικρομετακινήσεις.

Τα σφάλματα λόγω μεταβολής των απόστασεων, θα είναι : (σχ.11)

$$\sigma_{ΔΗ} = \frac{\sigma_{ΔΗ}}{ρ \cdot \sin \delta} dz \quad (4.1)$$

$$\sigma_{ΔΗ\alpha} = \frac{\sigma_{ΔΗ}}{ρ \cdot \sin \delta} d_1 \quad (4.2)$$

Αν θεωρηθεί $d_1 = d_2 = d$, τότε το σφάλμα προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακινήστρης δινεται από τη σχέση :

$$\sigma_{ΔΗ} = \frac{\sigma_{ΔΗ}}{ρ \cdot \sin \delta} d \tan u \quad (4.3)$$

Το σφάλμα $\sigma_{ΔΗ}$ στη σχέση (4.3), πού είναι το σφάλμα μεταβολής της γωνίας θα είναι συνάρτηση [3] :

-Των σφαλμάτων μέτρησης των διευθύνσεων στην αρχική και την τρέχουσα φάση των μετρήσεων.

-Του σφάλματος απόκλισης του πρωτεύοντος άξονα του θεοδολίου.

Οι οριζόντιες μικρομετακινήσεις των σημείων ελέγχου, προσδιορίζονται μέσω της πολλαπλής εμπροσθοτομίας (σχήμα 12).

Τα σφάλματα προσδιορισμού της οριζόντιας μικρομετακινήστρης του σημείου ελέγχου, αν θεωρηθεί :

$$d_1 = d_2 = d_3 = d \text{ και } \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$$

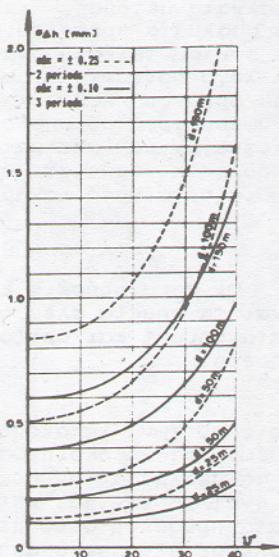
Θα είναι :

$$\sigma_{ΔΗ\beta} = \sqrt{\frac{n_0+1}{2n_0}} \frac{d}{ρ \cdot \sin \alpha} \sigma_1 \quad (4.4)$$

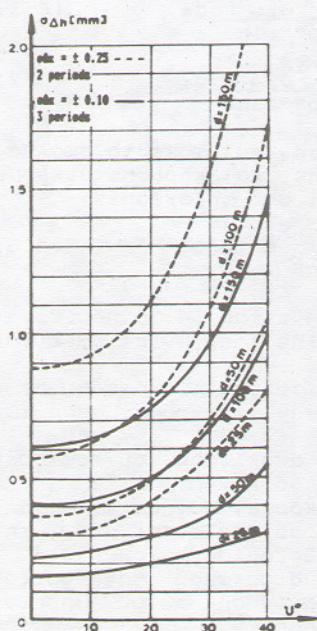
hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit



**hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit**



Σχήμα.13. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακίνησης, για την τρίτη περίπτωση.



Σχήμα.14. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος κατακόρυφης μικρομετακίνησης για την τέταρτη περίπτωση.

$$\sigma_{\Delta h_p} = \sqrt{\frac{n_0 + 1}{n_0(1+2\cos^2\alpha)}} \frac{d}{\rho \infty} \sigma_1 \quad (4.5)$$

όπου n_0 το πλήθος διευθύνσεων προσανατολισμού.

Θεωρώντας $\alpha=60^\circ$ και $n_0=3$ έχουμε τη σχέση που δίνει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της κατακόρυφης μικρομετακίνησης :

$$\sigma_{\Delta h} = 0.942 \frac{d}{\rho \infty} \sigma_1 \tan \alpha \quad (4.6)$$

όπου σ_1 το σφάλμα μεταβολής της διεύθυνσης.

Ομοία με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις έγινε και για αυτήν την περίπτωση, ανάλυση της επέδρασης του συνόλου των σφαλμάτων, στην ακρίβεια προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής παρουσιάζονται με την μορφή καμπυλών, στο σχήμα 13.

5. ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗ : Οι παρατηρήσεις είναι μακροχρόνιες και τα σημεία ελέγχου επηρεάζονται από κατακόρυφες και οριζόντιες μικρομετακίνησης.

Η ακρίβεια προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης, είναι συνάρτηση του συνόλου των σφαλμάτων που παρουσιάστηκαν και που προέρχονται από τη βασική εξισωση (1.8), δηλαδή:

-Το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής της γωνίας ύψους (σΔh).

-Το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής του συντελεστή διάθλασης (σΔe).

-Το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής της απόστασης μεταξύ της στάσης οργάνου και των σημείων ελέγχου, που επηρεάζονται από οριζόντιες μικρομετακίνησης (σΔa).

-Το σφάλμα προσδιορισμού της μεταβολής της κατακόρυφης θέσης της στάσης οργάνου (σΔr).

Επειδή ο προσδιορισμός των οριζόντιων μικρομετακίνησεων της στάσης οργάνου και των σημείων ελέγχου, σε αυτήν την περίπτωση γίνεται ταυτόχρονα, οι μετρήσεις των διευθύνσεων προς τα σημεία ελέγχου επιβαρύνονται επιπλέον με το σφάλμα προσδιορισμού της οριζόντιας μικρομετακίνησης της στάσης οργάνου, σε . Η επέδραση του σφαλμάτος σε στον προσδιορισμό του σφαλμάτος της οριζόντιας γωνίας μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση του Helmert [5].

Σύμφωνα με το σχήμα 11, θεωρώντας ότι $\delta=90^\circ$ ενώ $d_1=d_2=d$, θα ισχύει:

$$\sigma_{\Delta a} = \frac{d \infty \sigma e}{2d} \quad (5.1)$$

$$\text{όπου } \sigma_e = \sqrt{\sigma^2_{\Delta x} + \sigma^2_{\Delta y}} \quad (5.2)$$

Αντικαθίστανται στη σχέση (4.3), την τιμή του $\sigma_{\Delta e}$, όπως προκύπτει από τη σχέση (5.1), προκύπτει η επίδραση του σφάλματος σ_e , στην ακρίβεια προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης με απλή εμπροσθοτομία από δύο στάσεις, που σύμφωνα με τη σχέση (4.4), (4.5) θα είναι [4]:

$$\sigma_{\Delta e} = \frac{\sigma_e}{2} \tan u \quad (5.3)$$

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των σφαλμάτων προσδιορισμού κατακόρυφων μικρομετακίνησεων για την περίπτωση αυτή, παρουσιάζονται με τη μορφή καμπυλών, στο σχήμα 14.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στό στάδιο της μελέτης, έτσι ώστε οι παρατηρήσεις να γίνουν με την απαιτούμενη ακρίβεια, προκειμένου ο προσδιορισμός των κατακόρυφων μικρομετακίνησεων να γίνει με την αντίστοιχη απαιτούμενη ακρίβεια.
2. Στην πρακτική εφαρμογή οι ακρίβειες είναι δυνατό να απέχουν από αυτές που παρουσιάζονται στα διαγράμματα της εργασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί: α) οι θέσεις των κατασκευών και οι συνθήκες υπαλθρου δεν θα επιτρέπουν την (δρυστικάνων δικτύων ελέγχου, β) οι ακρίβειες μέτρησης γωνιών και διευθύνσεων μπορεί να απέχουν από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.
3. Για τον προσδιορισμό της πιθανής μετακίνησης του σημείου στάσης, είναι απαραίτητη η χρήση σημείων αναφοράς. Η κατανομή των σημείων που αναφέρεται στην εργασία είναι ιδανική. Πιθανόν μια τυχαία κατανομή σημείων αναφοράς, να μεταβάλλει την ακρίβεια προσδιορισμού κατακόρυφης μικρομετακίνησης.
4. Παρατηρώντας τα σχήματα 4, 10, 13, 14, συμπεραίνουμε ότι η ακρίβεια προσδιορισμού της μεταβολής της γωνίας ύψους και επομένως η ακρίβεια μέτρησης της κατακόρυφης γωνίας, επηρεάζει πιο πολύ το τελικό σφάλμα προσδιορισμού της κατακόρυφης μικρομετακίνησης. Γι' αυτό πρέπει να δινεται ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό μέτρησης κατακορύφων γωνιών (δργανο, χρόνος, καιρικές συνθήκες).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bahnert, G., "Theo 010A aus Cart Zeiss Jena", Vermessung-Informationen (1974), Heft 29.
- [2] Cubranic,N., "Rozwazania nad wielkoscia, i wpływem refrakcji przy trygonometrycznym pomiarze wysokości", Geodetski List nr.7-9/1962.
- [3] Janusz,W., "Metody wyznaczenia odchylen osi obrotu teodolitu od linii pionu miejsca obserwacji" I.G. i K., tom IX.nr.1.(19). Warszawa 1962.
- [4] Lazzarini , T., "Geodezyjne ,pomiary przemieszczen budowli i ich otoczenia" P.P.W.K. Warszawa ,1977.
- [5] Lukasiewicz , E., "Poligonizacja" P.P.W.K. , Warszawa, 1973.
- [6] Marcak,P., "Odkladnosci metody trygonometrycznego pomiaru wysokości przy wyznaczaniu przemieszczen budowli ", Pasegla Geodezyjny, nr.7/1971.

Ιωάννης Α. Γκουγκουτούδης, Λέκτορας Ε.Μ.Π. - Τ.Α.Τ.Μ., Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Ζωγράφος.

Λάμπρου Ευαγγελία, Διπλωματούχος Αγρ.Τοπογράφος Μηχ., Σοφούλη 30, 171 22 Ν.Σμύρνη.

Πανταζής Γεώργιος, Διπλωματούχος Αγρ.Τοπογράφος Μηχ., Αγίας Ελένης 11, 157 72 Ζωγράφος.



hp scanjet 4670
2400 dpi / 48-bit

