

# PRILOG POVEĆANJU TAČNOSTI TRIGONOMETRIJSKOG ODREĐIVANJA VISINSKIH RAZLIKA

Doc. ing. VELJKO PETKOVIĆ — AGG Fakultet Zagreb

Problem povećanja tačnosti trigonometrijskog određivanja visinskih razlika predmet je razmatranja u inozemnoj literaturi još od kraja prošlog stoljeća, a kod nas tek od novijeg vremena.

Brzina i lakoća kojom se mogu određivati visinske razlike pomoću ove metode, za razne praktične svrhe, kao i za razna naučna ispitivanja, proširuje mogućnosti njene primjene i s obzirom na stalno povećanje tačnosti.

Rezultati ispitivanja uzroka, koji smanjuju tačnost određivanja visinskih razlika trigonometrijskim nivelmanom, primjena novih instrumenata visoke tačnosti i bolje poznavanje utjecaja mikroklimatskih uvjeta, pridonijela su i novom tretiranju ove geodetske metode.

Tačnost koja je do sada postizavana, mogla je zadovoljiti radove za čiju su svrhu izvođeni. To je gotovo isključivo bilo određivanje visina u trigonometrijskim mrežama. Srednja pogreška jedinice težine u prosjeku nije bila manja, u najpovoljnijim slučajevima, od

$$M_0 = \pm 5 \text{ cm/km}$$

Može se slobodno kazati, da je ova tačnost u potpunosti zadovoljavala i bila u skladu sa metodom mjerenja kao i sa svim utjecajima i uvjetima pri ovakvim radovima. Ako se uzme u obzir, da i koordinate istih tačaka nisu određene većom tačnosti, onda se može govoriti o korespondentnim veličinama koje definiraju naše trigonometrijske tače u prostoru.

Kad bi se zaustavili na dosadanjoj primjeni i korištenju trigonometrijskog nivelmana, ne bi imali potrebe za povećanjem tačnosti, tim više što bi u tom slučaju došlo i do izvjesnog poskupljenja radova.

Međutim, novija konstrukcija instrumenata s kojima se danas služimo, veće mogućnosti kod stabilizacija i signalizacija tačaka u nekim radovima, omogućuje širu primjenu trigonometrijskog nivelmana, jer mogu mnogo povećati njegovu tačnost.

Poznavanjem udaljenosti  $D$  između krajnjih tačaka  $A$  i  $B$  i zenitnog kuta  $Z'_a$  i  $Z'_b$  ili elevacionog i depresionog kuta  $\alpha'_a$  i  $\alpha'_b$ , te visine instrumenta  $i_a$  i  $i_b$ , visine signala  $l_a$  i  $l_b$  možemo lako prema formuli:

$$\Delta H = D \operatorname{tg} \frac{Z'_b - Z'_a}{2} + \frac{l_a - l_b}{2} + \frac{i_a - i_b}{2} \quad (1)$$

izračunati visinsku razliku, ako su izvršena obostrana opažanja. U ovom slučaju utjecaj koeficijenta refrakcije kao i zakrivljenost Zemlje se poništavaju.

Međutim, ako se uzmu u obzir jednostrana opažanja onda se dobija slijedeća formula za računanje visinske razlike:

$$\Delta H' = D \operatorname{ctg} Z'_a + \left( \frac{1 - K_a}{2} \right) \frac{D^2}{R} + i_a - i_b \quad (2)$$

U dosadašnjoj praksi trigonometrijsko mjerenje visinskih razlika primjenjivano je, kako je ranije rečeno, u triangulacijama nižih redova, a prema propisima, o »privremenim uputstvima za trigonometrijski nivelman«.

Dužine D u ovim slučajevima su bile veće od 1 km.

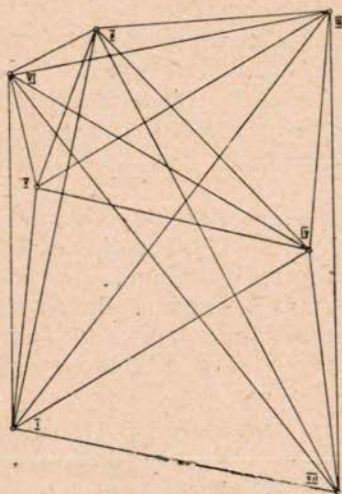
U novije vrijeme često primjenjujemo u praksi mikrotriangulacije tj.: triangulacije sa dužinama manjim od 1 km. Uvjeti tačnosti takvih triangulacija postavljaju se prema konkretnim zadacima za koje su izrađeni, a mogu biti veoma visoki.

Ovim je olakšana primjena mjerenja visinskih razlika u novim uvjetima, na kratkim dužinama.

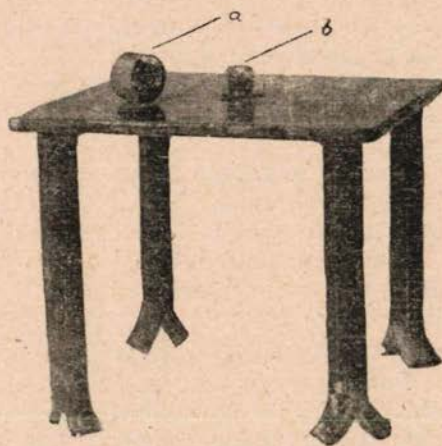
Srednju pogrešku visinske razlike dobijamo prema već poznatoj formuli:

$$m^2_{\Delta h} = \frac{m^2_z}{\rho''^2} D^2 + m^2_k \left( \frac{D^2}{2R} \right) + m^2_i + m^2_l \quad (3)$$

Iz iste je vidljivo da će se smanjivanjem dužine smanjiti i utjecaj odnosnih članova gdje dolaze do izražaja pogreške  $m_z$  i  $m_k$  tj. pogreške u mjerenju zenitnog kuta i pogreške u određivanju koeficijenta refrakcije.



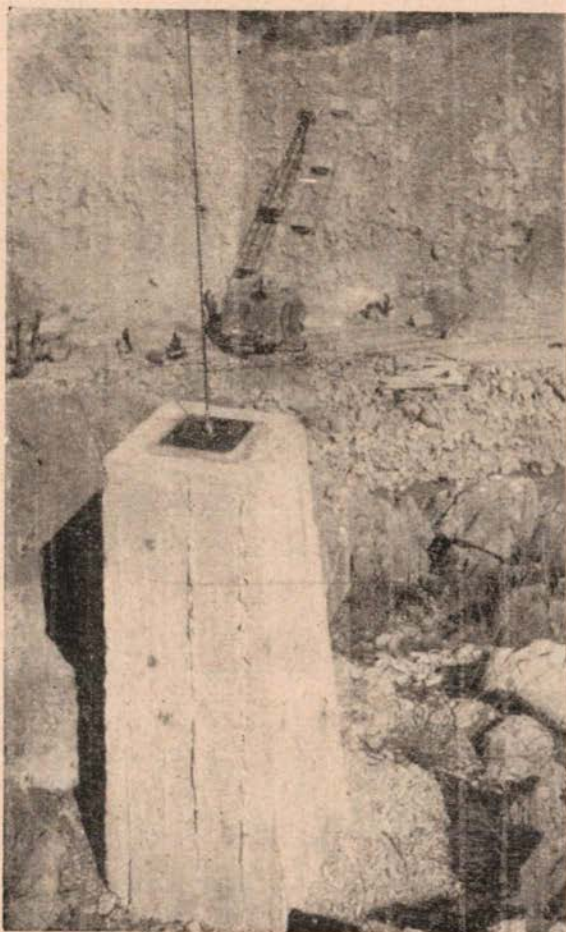
Sl. 1 — Skica mreže mikrotriangulacije HE Peruča sa svim opažanim vertikalnim pravcima.



Sl. 2 — Podnožna ploča tipa »Geomehnika« Zagreb (a zaštitna kapa, b centralni vijak)

Dok pogreška određivanja visine instrumenta i signala ulazi čitava u visinsku razliku, bez obzira na dužinu strane. Mimo spomenutih pogrešaka koje utječu na tačnost određivanja visinskih razlika, ovom metodom, ima i niz drugih, koje u ovoj formuli nisu uzete u obzir.

Analiza svih tih uvjeta u ovoj radnji je izostavljena, pošto njihov utjecaj s obzirom na dužine, s kojima ćemo se sresti u ovom zadatku, nije uopće bitan.

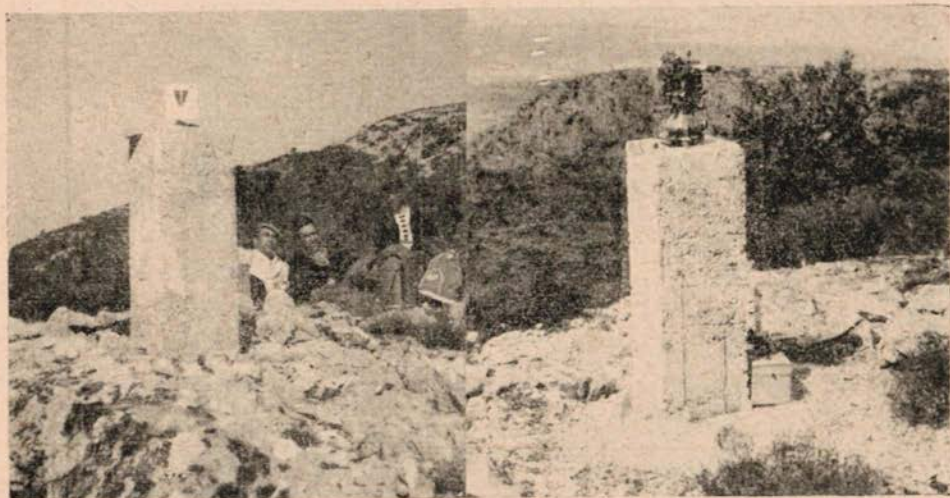


Sl. 3 — Stup, vanjski dio, u mreži HE Peruča

Za potrebe opažanja horizontalnih pomaka zemljane, lučne brane HE Peruča kod Sinja, razvijena je mikrotrigonometrijska mreža (slika 1). Izmjerena je osnovica i izvršeno izjednačenje kao samostalne mreže, koja nije priključena na drž. triangulaciju.

Stabilizacija je izvršena betonskim stupovima  $35 \times 35 \times 120$  cm sa ukopanim temeljem  $70 \times 70 \times 100$  cm. U gornju plohu stupa usadena je ploča tipa »Geomehanika« Zagreb (slika 2) sa centralnim vijkom, na koji se mogu učvrstiti naizmjenično instrument i značka (slika 3, slika 3a i slika 3b).

Solidnu i izvanrednu stabilizaciju koju je izvršila geodetska grupa Elektroprojekta, u cilju što tačnijeg određivanja horizontalnih pomaka koji se vrše u okviru zadatka zavoda za višu geodeziju AGG fakulteta, dakle što tačnijeg mjerenja horizontalnih kuteva, iskoristila se je za adekvatno određivanje visinskih pomaka, odnosno mjerenja visinskih ku-



Sl. 3a — Stup, vanjski dio sa značkom.  
Mreža za tunel Hvar.

Sl. 3b — Stup, vanjski dio sa teodolitom.  
Mreža za tunel Hvar.

teva. Opažanja su vršena univerzalnim teodolitom tipa Wild T3 br. 8623. Kako taj teodolit nema nitnog križa sa tri horizontalna konca, to se opažanje vertikalnih kuteva, da bi dobili tri nezavisna mjerenja, izvršilo na tri različita mjesta značke tipa Zeiss (slika 4).

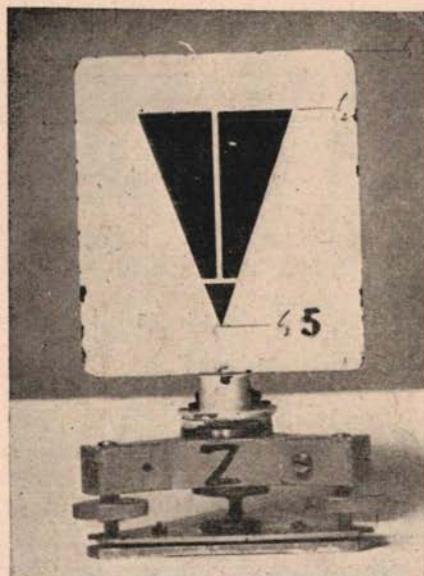
Na taj način opažanjem na  $l_1, l_2, l_3$  dobijena su tri nezavisna mjerenja, koja bi nakon reduciranja visinskih razlika na gornju plohu vijka b, morala dati istu vrijednost (v. sl. 2).

Visinski kutevi mjereni su neposredno nakon mjerenja horizontalnih kuteva. Prilikom signaliziranja stupova pazilo se, da uvijek ista značka dođe na isti stup. Mjerenje je vršeno preko cijelog dana. Podaci u ovoj radnji odnose se na dvije serije mjerenja i to:

I. serija — izvršena u VI. mjesecu 1961. g. sa prosječnom temperaturom u danima mjerenja od  $33^{\circ}\text{C}$  na suncu, a u hladu odnosno pri zemlji  $23^{\circ}\text{C}$ .

II. serija — izvršena u XI. mjesecu 1961. g. sa prosječnom temperaturom u danima mjerenja 12°C na suncu i 8°C u hladu, odnosno pri zemlji.

Visine instrumenta i visine signala  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  (v. sl. 4) mjerene su do na 1 mm tačno, kompariranim čeličnim metrom.



Sl. 4 — Signalna značka tipa Zeiss sa označenim visinama  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ , na koje su mjereni visinski kutevi.

Za dobijanje visine signala  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  mjerena je značka na oba kraja i onda uzimana aritmetaska sredina. Visina »i« mjerena je dva puta. Prije toga je posebnim mjerenjima određena tačka na teodolitu koja bi trebala definirati sjecište vizurne osi i obrtne osi durbina, kao idealno mjesto do kojega treba mjeriti visinu instrumenta. U slučaju obostranog određivanja visinskih razlika, ova eventualna pogreška, nema utjecaja na tačnost trigonometrijskog nivelmana. Međutim, u cjelosti ulazi u jednostrano određivanje visinskih razlika i deformira odnos:

$$d = (\Delta H_a) - (\Delta H_b)$$

Promjena visine stupa, s obzirom na rastezanje betona, ako uzmemo interval promjene temperature 30°C, dosiže u našem slučaju do maksimum 0,5 mm.

Savijanje stupa, koje bi u ovom slučaju imalo veći utjecaj ne dolazi u obzir, jer ga kompenziramo horizontiranjem instrumenta. Prema za-

konu o prirastu pogrešaka dobija se ukupna vrijednost za sve tri veličine, ako se označi sa:

$$m_i = \text{pogreška mjerene visine instrumenta} = \pm 1 \text{ mm}$$

$$m_l = \text{pogreška mjerenja visine signala} = \pm 1 \text{ mm}$$

$$m_s = \text{promjena visine stupa} = \pm 0.5 \text{ mm}$$

$$m_v = \pm \sqrt{m_i^2 + m_l^2 + m_s^2} \quad (4)$$

ako se u formulu (4) uvrste odgovarajuće vrijednosti dobija se za

$$m_v = \pm 1,5 \text{ mm}$$

Potrebno je ovdje napomenuti da su ove maksimalne veličine, pošto je mjerenje »i« i »l« bilo tačnije, a interval promjene temperature mnogo manji, pa smo promjene visine stupa mogli i zanemariti.

Radi ocjene tačnosti mjerenja visinskih kuteva, izvršeno je sa stupa VII prema stupu VI opažanje značke tj.  $l_1, l_2, l_3$  u 4 ponavljanja.

Prema već poznatim formulama, dobilo se je za srednju pogrešku pojedinog mjerenja

$$m = \pm 1'' \cdot 45$$

a za srednju pogrešku aritmetičke sredine

$$M = \pm 0'' \cdot 78$$

Gotovo iste vrijednosti dobijene su i za mjerenje horizontalnih kuteva.

Za sva dalja računanja u ovom zadatku usvojene su ove veličine pošto je sva mjerenja vršio jedan te isti opservator, sa istim instrumentom i uz iste uvjete signalizacije. Drugi način određivanja srednjih pogrešaka mjerenog pravca nije ni bio moguć s obzirom na način i redosljed samog opserviranja.

Prosječna dužina strane u ovoj mreži iznosi 424 m, a najmanja dužina 118 m, najveća 721 m.

Ako se srednju pogrešku mjerenog pravca aritmetičke sredine zaokruži na 1'' onda linearna pogreška za:

srednju vrijednost dužine iznosi 2 mm

za najmanju dužinu iznosi 1 mm

a za najveću dužinu iznosi 3 mm

Razlike veličine

$$2 (H. V.) = K. L. + K. D.$$

za pojedina opažanja u obe serije iznose u srednjem 3''.

Visinske razlike računane su iz obostranih mjerenja prema uobičajenim formulama uz pomoć tablica za vrijednosti.

$$\left(\frac{1-K}{2}\right) \frac{D^2}{R} \text{ i } \lambda \text{ uz } K = 0,13 \text{ i srednji } R = 6\,368\,910 \text{ m}$$

Dužine za računanje dobijene su iz koordinatnih razlika u proizvoljnom koordinatnom sistemu. Dakle dobijene visinske razlike bi se odno-

sile na sferoid. Za prelaz na elipsoid trebalo bi priključiti mrežu na drž. triangulaciju.

Međutim, s obzirom na kratke strane i računanje visinskih razlika iz obostranih mjerenja, kod čega se eliminira utjecaj zakrivljenosti zemaljske površine i svi drugi utjecaji sa tim u vezi možemo smatrati, da se visinske razlike odnose na plohu geoida kao i za slučaj geometrijskog nivelmana.

Visinske razlike koje se koriste u daljnjim računanjima dobijene su kao prosta aritmetička sredina na pojedinoj stanici iz tri mjerenja na  $l_1, l_2, l_3$ . Radi ocjene tačnosti ovako dobijenih podataka i uvida u samo mjerenje sračunate su na svakoj tački za obe serije srednje pogreške, ovako dobijene aritmetičke sredine, pa je po formuli

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[M^2]}{n}}$$

sračunata srednja vrijednost za prvu seriju

$$\mu = \pm 1,4 \text{ mm}$$

a za drugu seriju

$$\mu = \pm 1,0 \text{ mm}$$

Za ocjenu tačnosti samog nivelanja a priori, poslužila je formula za srednju totalnu pogrešku nivelanja u jednom pravcu na jedinicu težine za dvostruka mjerenja (sredina visinskih razlika na  $l_1, l_2, l_3$ )

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}} \quad (5)$$

$d$  = razlika nivelanja napred-natrag

$n$  = broj mjerenja — 20

1

$$p = \frac{1}{D^2}$$

pa se dobilo za prvu seriju

$$m_o = \pm 20,0 \text{ mm/km}$$

a za drugu seriju

$$m_o = \pm 14,3 \text{ mm/km}$$

Za srednju slučajnu pogrešku dvostrukog mjerenja na jedinicu dužine prema formuli

$$M_o = \pm \frac{m_o}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[ \frac{d^2}{D} \right]} \quad (6)$$

dobija se za

prvu seriju  $M_o = \pm 14,1 \text{ mm/km}$

drugu seriju  $M_o = \pm 10,0 \text{ mm/km}$

Kako se dalje vidi, ove veličine se mnogo razlikuju od onih, koje se dobiju u ocjeni tačnosti ovog rada i njegove usporedbe sa geometrijskim nivelmanom.

Radi ilustracije sračunate su iste pogreške a priori prema istim formulama (5) i (6) samo se za težinu uzelo

$$p = \frac{1}{D}$$

tj. težinu geometrijskog nivelmana, pa se dobija za prvu seriju:

$$m_o = \pm 10.8 \text{ mm/km}$$

$$M_o = \pm 7.7 \text{ mm/km}$$

za drugu seriju:

$$m_o = \pm 8.7 \text{ mm/km}$$

$$M_o = \pm 6.1 \text{ mm/km}$$

Ove veličine u usporedbi sa geometrijskim nivelmanom bit će mnogo realnije. To govori u prilog mišljenju, da bi težine za kratke strane u oba slučaja trebale biti iste.

Da se uoči kako se mijenja utjecaj težine sa promjenom dužine kod trigonometrijskog i geometrijskog nivelmana tj. prema izrazima

$$p = \frac{1}{D^2}$$

i

$$p = \frac{1}{D}$$

dat je grafički prikaz u slici 5.

Srednja pogreška visinskih razlika sračunata je prema formuli (3) kod čega je uzeto za

$$m_i \text{ i } m_j = \pm 1 \text{ mm}$$

$$m_z = \pm 1''5$$

$$m_k = \pm 0.03$$

pa se dobilo za slučaj

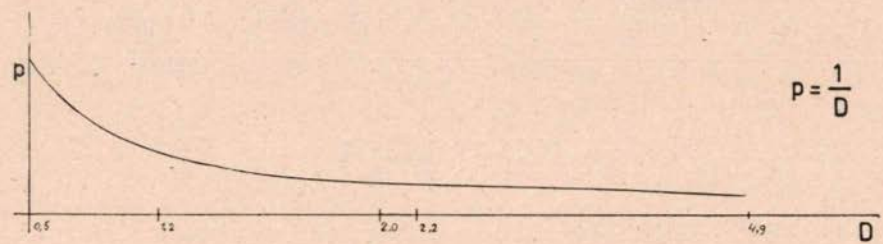
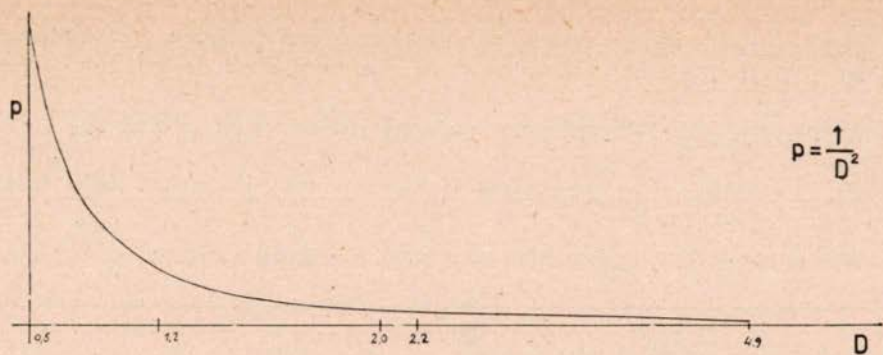
$$\text{srednje dužine } m_{\Delta h} = \pm 0.0039 \text{ m; } M_{\Delta h} = \pm 0.0055 \text{ m}$$

$$\text{najmanje dužine } m_{\Delta h} = \pm 0.0024 \text{ m; } M_{\Delta h} = \pm 0.0034 \text{ m}$$

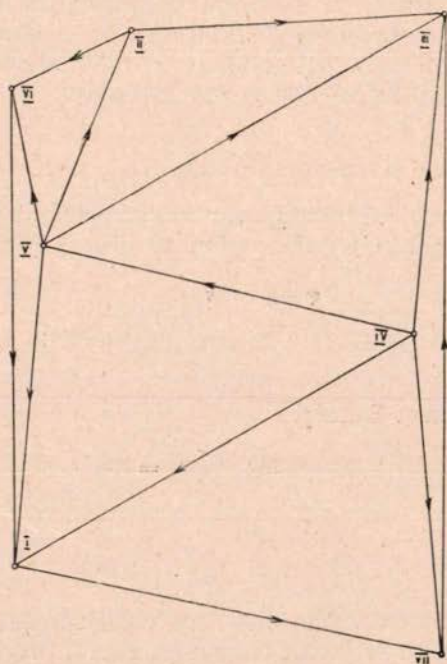
$$\text{najveća dužina } m_{\Delta h} = \pm 0.0059 \text{ m; } M_{\Delta h} = \pm 0.0083 \text{ m}$$

$M_{\Delta h}$  = srednja pogreška obostranog mjerenja visinske razlike na jednoj stranici. U ovim mjerenjima  $m_k$  je sigurno veći, ali i  $K$  nije jednak 0,13.





Sl. 5 — Grafički prikaz za funkciju  $p = \frac{1}{D^2}$  i  $p = \frac{1}{D}$



Sl. 6 — Skica mreže sa pravcima koji su uzeti u izjednačenje.

Za usvojeni K uzeta je i pogreška sa kojom je on određen, bez obzira na razliku u uvjetima rada. Uz to se može spomenuti da je njegov utjecaj na određivanje pogreške mjerene visinske razlike u odnosu na  $m_z \frac{1}{30}$

Za izjednačenje mjerenih podataka usvojena je mreža koju formiraju visinske razlike prema sl. 6.

Nesuglasice u 7 izabranih nezavisnih figurinih uvjeta:

$$\begin{array}{ll} W_1 = + 2 \text{ mm} & W_5 = - 5 \text{ mm} \\ W_2 = - 2 \text{ mm} & W_6 = - 2 \text{ mm} \\ W_3 = - 4 \text{ mm} & W_7 = \pm 0 \text{ mm} \\ W_4 = + 5 \text{ mm} & W = - 6 \text{ mm vanjski poligon} \end{array}$$

Nakon izjednačenja srednja pogreška na jedinicu težine sračunata je prema formuli

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[p \ v v]}{K}}$$

dobijena je vrijednost

$$m_o = \pm 6,2 \text{ mm/km}$$

iako je samo u jednom slučaju popravka  $v = 3 \text{ mm}$ , a u svim drugim slučajevima manja od 2 mm.

Izjednačenje je izvršeno samo po podacima prve serije mjerenja. Radi analize i bolje mogućnosti komparacije sa geometrijskim nivelmanom izvršeno je zatvaranje poligona u svim mogućim kombinacijama opažanih visinskih razlika za obe serije mjerenja. Nesuglasice su prikazane u tabeli I.

$W_I$  i  $W_{II}$  su nesuglasice u identičnim figurama prve i druge serije mjerenja.  $\varphi_{\max}$  je dozvoljeno odstupanje u zatvorenom poligonu preciznog geometrijskog nivelmana II reda, računato prema formuli:

$$\varphi_{\max} = 2\tau\sqrt{F}$$

Za  $\tau$  u ovom slučaju uzeta je vrijednost 2, a  $F$  je odgovarajući opseg poligona.

Suma nesuglasica u I seriji

$$[W_I] = - 18; ([w] = 92)$$

a u drugoj

$$[W_{II}] = + 24; ([w] = 66)$$

U zagradama dane su sume apsolutnih vrijednosti nesuglasica. Lako se može zaključiti da se ni jedan stupac ne ravna prema zakonima o slučajnim pogreškama. S obzirom na različite predznake sume nesuglasica

Tabela I.

$W_I$ mm	$W_{II}$ mm	$\varphi_{\max}$
+2	-1	4.7
-2	+2	4.5
-4	+2	4.2
+5	+3	4.3
-5	$\pm 0$	4.0
-2	+1	2.7
$\pm 0$	-2	3.7
-11	-2	4.9
+3	-5	3.8
+2	+2	4.8
-1	+3	4.8
-6	+2	5.0
-4	$\pm 0$	5.2
+1	+5	4.0
+1	+5	4.6
+5	-4	4.6
-9	-3	4.9
-2	+3	4.1
+4	+3	5.0
+3	+6	4.0
+2	+3	5.3
-1	-2	5.1
-6	+5	6.1
+9	-2	8.3

u jednoj i drugoj seriji, ne možemo donijeti nikakav siguran zaključak, o karakteru sistematskih pogrešaka.

Prema izrazu

$$m = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{n}}$$

sračunata je srednja pogreška zatvaranja pojedinog trokuta za obe serije mjerenja

$$m_I = \pm 4,6 \text{ mm}$$

$$m_{II} = \pm 3,1 \text{ mm}$$

Upoređenjem vrijednosti u stupcima za  $W_I$ ,  $W_{II}$  i  $\varphi_{\max}$ , od kojih se prva dva odnose na trigonometrijski nivelman, a treći za slučaj geometrijskog nivelmana, na istoj dužini, vidi se da samo u 9 od 25 slučajeva, nesuglasice dobijene trigonometrijskim nivelmanom su veće. Prema formuli

$$\Delta = 8\tau\sqrt{L}; (\tau = 1.5)$$

za odstupanje nivelanja u dva pravca za precizni nivelman II reda, sračunali smo vrijednost za svaku nivelmansku stranu naše mreže tj. u našem slučaju za svaku opaženu visinsku razliku.

U tabeli II date su numeričke vrijednosti: u prva dva stupca za dobijene razlike nivelanja napred-natrag, u obe serije trigonometrijskog nivelmana prema formuli:

$$d = u + p$$

u = visinska razlika u usponu

p = visinska razlika u padu

a u trećem vrijednosti za

$$\Delta = 2 \tau \sqrt{L}$$

Tabela II.

od — do	$d_I$ mm	$d_{II}$ mm	$\Delta$ km/m
I—VII	— 1	— 9	8,1
I— VI	+ 6	+ 4	8,0
I— II	+ 9	— 1	8,6
I— V	—15	— 9	6,7
III— II	—10	+ 1	6,7
VII— IV	— 8	— 1	7,2
VII— III	+13	+18	16,5
IV— II	— 3	$\pm$ 0	7,4
IV— III	+ 1	+ 4	6,9
II— IV	— 9	— 5	4,2
II— V	— 2	— 6	5,5
V— VI	— 1	+ 4	4,5
III— V	+ 2	+ 9	6,8
II—VII	+ 9	— 3	8,4
VI—VII	+13	+17	8,5
I— III	+14	+24	8,3
III— IV	—14	$\pm$ 0	6,5
IV— VI	— 1	+ 5	6,6
IV— V	—10	— 5	5,8
[d]	—26	+45	
[d/]	160	125	152,5

Kako se vidi mnoge razlike nivelanja napred-natrag, trigonometrijskog nivelmana, su manje od dozvoljenog prema formuli za precizni nivelman. Što više, sume apsolutnih vrijednosti razlika u II seriji su manje, dok u I neznatno veće, od sume dozvoljenih odstupanja za geometrijski nivelman.

Međutim, ako bi uzeli za

$$\tau = 3$$

što bi bilo realnije za slučaj ove usporedbe, dobili bi za sve

$$d_I > \Delta$$

$$d_{II} > \Delta$$

Pošto su stupovi III, I, IV, VI, nivelirani i geometrijskim nivelmanom ( $m_0 = 1.5 \text{ mm/km}$ ) pruža se prilika još jedne usporedbe za ocjenu tačnosti trigonometrijskog mjerenja visinskih razlika. Razlike dobijenih vrijednosti između trigonometrijskog i geometrijskog nivelmana označene su sa  $f$ , pa iz 12 tako dobijenih kombinacija, a prema formuli

$$m_0 = \mp \sqrt{\frac{[pff]}{n}}$$

dobila se za trigonometrijski nivelman srednja pogreška na jedinicu težine

$$m_0 = \pm 7.1 \text{ mm/km}$$

Ta ista vrijednost sračunata izjednačenim visinskim razlikama trigonometrijskog nivelmana jednaka je

$$m_0 = \pm 4.8 \text{ mm/km}$$

Razlike koje su dobijene prema izrazu

$$f = T - g$$

$T$  = visinska razlika dobijena trigonometrijskim nivelmanom

$g$  = visinska razlika dobijena geometrijskim nivelmanom

sve su pozitivne, tj. one određene trigonometrijskim putem su veće. Očito je, da se ovdje radi o sistematskoj pogreški, koja je u ovom slučaju paralelno pomaknula niveau-plohu, za veličinu koju se može približno odrediti.

Ako se izračuna srednja vrijednost  $f_s$  prema izrazu  $\frac{[f]}{n}$ , pa izvrši redukcija, onda prije sračunate srednje pogreške se smanjuju za 50%. To bi vjerovatno i bila najrealnija tačnost trigonometrijskog nivelmana u sličnim uvjetima.

Identična mjerenja (isti instrument, isti opažatelj, odgovarajuća stabilizacija i signalizacija), izvršena su u mikrotriangulaciji projektiranoj za iskolčenje tunela na Hvaru. Dužine su u ovom slučaju u srednjem 650 m, dakle nešto duže nego u slučaju Peruče. Nakon izvršenih računanja u cilju određivanja ocjene tačnosti istim redom kao i u ovoj radnji, dobijeni su gotovo isti rezultati. Radi toga se ovdje i ne iznose.

Svakako je u ovom slučaju potrebno podvući, da su ipak mjerenja vršena u različita doba godine, u raznim klimatskim i geografskim prilikama i u bitno različitim terenskim (odnosi se naročito na konfiguraciju) prilikama. Podatak, koji je u slučaju tunelske mreže najinteresantniji, daje uvid u tačnost mjerenja.

Visinska razlika stupova na krajevima osi tunela, određena trigonometrijskim i geometrijskim nivelmanom razlikuje se za

$$\Delta = 3 \text{ mm na cca } 2 \text{ km}$$

Dužine za računanje visinskih razlika u ovom slučaju bile su svedene na elipsoid.

**ZAKLJUČAK:** Sigurno da se ne može govoriti, makar ne još danas, o zamjeni geometrijskog nivelmana trigonometrijskim u njegovoj najvišoj skali. Nova ispitivanja koja su izvršena trigonometrijskim mjerenjem visinskih razlika pokazuju očito, da tačnost ove metode mjerenja još nije dosegla svoj maximum. Primjenom novih instrumenata, boljom stabilizacijom i signalizacijom, većom pažnjom kod mjerenja, otklanjanjem svih onih utjecaja koji smanjuju tačnost mjerenja, povećava se stalno tačnost, a time i veća mogućnost primjene trigonometrijskog nivelmana. Da to nije slučaj samo na kratkim dužinama, pokazuje najjasnije rad prof. dr Čubranića na povezivnju Dalmatinskih otoka, i ing. Činklovića na određivanju refracije u Crnoj Gori, gdje su dužine veće od 5 km.

Zaključci i analize u ovoj radnji izvršene su na osnovu ograničenog broja podataka. Međutim, vjerovatno bi u slučaju mjerenja za veći broj slučajeva, koji bi omogućio sigurniju ocjenu tačnosti, rezultati ispitivanja bili mnogo povoljniji u korist trigonometrijskog određivanja visinskih razlika.

Ispitivanje sistematskih i slučajnih pogrešaka u ovoj radnji nije izvršeno, pošto prije toga treba dati ocjenu i analizu koeficijenta terestričke refracije na odgovarajućim dužinama.

Usporedbom ovih dviju metoda određivanja visinskih razlika, može se lako donijeti zaključak, da u praksi ima mnogo zadataka, gdje se može bez bojazni za tačnost, primjeniti trigonometrijsko određivanje visinskih razlika. One će biti i ekonomičnije, naročito u uvjetima mikrotrigonometrijskih mreža i preciznih poligonskih vlakova.

Tereni na kojima su vršeni radovi, ni izdaleka ne ispunjavaju uvjete za precizni nivelman. Za to bi bolje odgovaralo da je usporedba vršena sa tehničkim nivelmanom ili eventualno tehničkim nivelmanom povećane tačnosti. To bi odgovaralo i uvjetima rada i zahtjevu tačnosti za ovakve i njima slične zadatke kod kojih primjena trigonometrijskog nivelmana može biti ekonomičnija.

**Sadržaj:** Na osnovu rezultata postignutih u mjerenjima visinskih razlika trigonometrijskim putem u mikrotrigonometrijskim mrežama HE Peruća i tunel Hvar, prikazana je u komparaciji sa geometrijskim nivelmanom, mogućnost povećanja tačnosti trigonometrijskog nivelmana.

Analizom srednjih pogrešaka, prema već poznatim formulama pokazano je, da su one zadovoljavajuće, i uvjetima kratkih strana omogućuju širu primjenu trigonometrijskog mjerenja visinskih razlika. Posebno treba istaknuti postignutu tačnost kod mjerenja visine instrumenata i signala. Ukazano je da bi u uvjetima kratkih strana i u slučaju trigonometrijskog nivelmana bilo pravilnije za težinu uzimati

$$p = \frac{1}{D}$$

tj. isto kao i u slučaju geometrijskog nivelmana. Mjerenja su vršena Wildovim teodolitom T3, uz slučaj specijalne stabilizacije koja se u zadacima ovakvih ispitivanja kao što su pomaci brana i trigonometrijskih mreža, kao što je u slučaju tunela, praktikuju.

#### L I T E R A T U R A :

Činklović: O ispitivanju koeficijenata refrakcije u Crnoj Gori G 154/58.

Čubranić: Viša geodezija.

Čubranić: Tačnost visinskog povezivanja otoka pomoću trigonometrijskog nivelmana.

Čubranić: Trigonometrijsko mjerenje visina i njegova praktična upotreba.

Klak-Petković: Ispitivanje pomaka brane HE Peruča Gl. 196/1—3.

Međunarodna Asocijacija za geodeziju: Ocjena tačnosti jednog nivelmana Gl. 1952/1—3.

G. G. U.: Uputstvo o izvršenju nivelmana visoke tačnosti i preciznog nivelmana Gl. 1955/3—4.

Zavod za višu geodeziju: Izvještaji o radovima na ispitivanju pomaka brane HE Peruča.

Izjednačenje i obradu mjerenja izvršila je u okviru svog diplomskog rada u Zavodu za višu geodeziju ing. Vondra-Dvornik Radojka.