

O mogućnostima primjene i nekim rezultatima precizne poligonometrije kod nas

Cilj ovog kratkog članka nije da upozori na potrebu i važnost precizne poligonometrije kod rješavanja mnogih zadataka u geodeziji, koliko da ukaže na neke okolnosti, koje su prilično važne za primjenu i razvoj ove metode za naše potrebe i naše terenske prilike.

Općenito je poznato, da se precizna poligonometrija razvila kao metoda određivanja položaja stalnih točaka na velikim prostorima, gdje bi triangulacija zahtijevala daleko više vremena i materijalnih sredstava. Ona je poslužila za određivanje točaka viših redova, i prema tome su se i upobile metode mjerenja i instrumentarij, koji garantira odgovarajuću točnost za tu kategoriju točaka (invarne žice, vrpce i precizni instrumenti).

Precizna je poligonometrija uglavnom riješila ove probleme:

1) Postavljanje geodetske osnove onamo, gdje je to zahtijevala neposredna potreba detaljnog i topografskog premjera, bez većeg zahvaćanja prostora kako bi to triangulacijom bilo potrebno.

2) Ekonomičnost radova (ušteda materijala u signalizaciji i u vrenu).

3) Dobivanje radnih (približnih) koordinata neposredno poslije mjerenja, radi upotrebe detaljistima, što se kod triangulacije neda niti zamisliti.

Kakvi se problemi pojavljuju kod nas?

Naši su tereni većinom prikladni za trigonometrijski način određivanja položaja stalnih točaka, i kod nas ne postoji problem u razvijanju i određivanju točaka viših redova, on je uglavnom riješen. Međutim u sjevernom dijelu naše države, gdje su ravnice, šume i vodni tokovi sa zaraslim obalama, pravilno razvijanje trig. mreže može se izvesti do III. reda osnovne mreže. Poteškoće nastaju kod popune ove mreže za potrebe snimanja u bilo koju svrhu.

Ovome treba dodati tu okolnost što za snimanja za potrebe raznih projektiranja moramo davati podatke odmah, jer hitnost izvođenja građevinskih radova ne može čekati na pravilnost i redosljed izvođenja geodetskih radova. Ako i ove radove želimo koristiti za novu kartu 1:5000 i kod primjene aerofotogrametrije, onda će nam precizna poligonometrija dati najpovoljnije rješenje.

Napomenuo sam da će za naše potrebe doći u obzir većinom prec. poligonometrija, koja će zamijeniti triangulaciju III. reda popunjavajuće mreže te IV. i nižih redova.

Prema tome snimanja za razne tehničke potrebe upravo diktiraju primjenu precizne poligonometrije, jer to zahtijeva:

1) hitnost davanja podataka,

2) jednostavnost, a istodobno i najbolja mogućnost tehničkog rješenja za ovakove »ad hoc« slučajeve i

3) oblik snimanog područja.

Prema tome problemi koji se kod nas pojavljuju, a koje bi mogli riješiti metodom precizne zoligonometrije jesu:

1. Razvijanje mreže stalnih točaka u ravnicama pokrivenim šumom.
2. Za potrebe snimanja vodnih tokova u melioracione i hidrotehničke svrhe.
3. Za potrebe trasiranja dugačkih komunikacija, vodnih tokova i tunela.
4. Za kombinirana rješenja u vezi s triangulacijom u gradovima i teškim terenima.
5. Za pronalaženje izgubljenih trigonometrijskih točaka.

Kakva metoda rada i koji instrumentarij dolaze kod nas u obzir?

Obzirom na to, da će kod nas doći do primjene prec. poligon. većinom u nižim redovima, tu će se najbolje moći upotrijebiti metoda paralaktične poligonometrije kombinirana s optičkim mjerenjem dužina. Uslovi za primjenu ove metode postoje, jer postoje mogućnosti za nabavu instrumentarija.

Ovdje će možda netko primijeniti, da metoda optičkog mjerenja dužina ne daje zadovoljavajuće rezultate.

Svakako da mehaničko mjerenje dužina u paralaktičnoj poligonometriji t. j. mjerenje dužina pomoćnih baza invarnim žicama daje mnogo bolje rezultate. Međutim optičko mjerenje dužina ima i stanovitih prednosti, pogotovo ako kod mjerenja upotrebljavamo poligonalni pribor (stative i signalne značke).

Na osnovu teoretskih razlaganja o teoriji pogrešaka u poligonskom vlaku znamo, da je za točnost određivanja položaja točaka presudna poprečna pogreška u poligonskom vlaku, jer ona raste uglavnom s $\sqrt{L^3}$, a uzdužna je proporcionalna sa \sqrt{L} gdje je L dijagonala vlaka, uzevši kod toga približno ispruženi poligonski vlak.

O čemu ovisi poprečna pogreška? O točnosti mjerenja prelomnih kutova uzevši teoretsku pretpostavku ispruženi poligonski vlak.

U preciznoj poligonometriji upotrebljavamo instrumente tipa Zeiss Th II, kojemu odgovara Wildov T2 i Kernov DKM2. Točnost rada ovim instrumentima sastoji se baš u tome, što su oni kombinirani sa specijalnim priborom za poligonometriju. S ovim priborom je točnost mjerenja kutova i točnost centriranja i viziranja omogućena do maksimuma:

a) podatkom instrumenta 1",

b) t. zv. prisilnim centriranjem, kod kojega instrument i značke zajednički uzimaju naizmjenično iste položaje, čime je gotovo posve isključena pogreška u centriranju instrumenta i značke,

c) točnim viziranjem na trokutastu značku ili reflektor.

Moderni instrumenti pored svih svojih prednosti u jednostavnom i udobnom rukovanju imaju takvih instrumentalnih nedostataka, prema kojima njihov podatak čitanja nije realan za radove recimo na triangulaciji II. i III. reda osnovne mreže. Ovo je iz tog razloga što kod udaljenosti 7—20 km, na kojim se udaljenostima pomenuta mreža razvija, mogućnosti viziranja ne odgovaraju mogućnostima čitanja na instrumentu, odnosno njegovom podatku.

Međutim za radove na poligonometriji, gdje su udaljenosti od 300 do 1500 m, i obzirom na mogućnosti signaliziranja i centriranja, te prema

tome i viziranja, ovaj je podatak instrumenta potpuno realan, što je praksa i pokazala. Ja ću kasnije navesti nekoliko brojčanih podataka, iz kojih će se vidjeti kolika je točnost mjerenja kutova Zeiss-ovim instr. Th II.

Ostaje linearna uzdužna pogreška, koja je kod ispruženih vlakova rezultat pogrešaka u mjerenju dužina. Dužine mjerimo paralaktičnom metodom, kod koje pomoćne baze opet mjerimo ovim načinom pomoću horizontalnih bazisnih letaka Zeiss-ove, Wildove, Kern-ove ili neke druge konstrukcije. Letve su invarne dužine 2 m. Zeiss je izrađivao i trometarske invar letve od kojih imamo jednu u Geozavodu u Zagrebu.

Za ove slučajeve, gdje precizna poligonometrija treba da zamijeni triangulaciju u nižim redovima, a kod primjene bazisnih letava, teorija pogrešaka postavlja prilično strogi zahtjev, da srednja pogreška položaja čvorne točke iz 4 učvorena vlakva bude $M_x = M_y = \pm 6$ cm. Ovaj je zahtjev postavljen na temelju propisa njemačke instrukcije iz 1940. g., gdje se kaže da velika poluos elipse pogrešaka točke ekvivalentne trigonometrijskim točkama IV. reda ne smije preći ± 15 cm. Da bi se sa sigurnošću postigla ova točnost, teorija je postavila gore navedene granice, i na temelju toga došlo se do praktičnih rezultata na koje načine ćemo mjeriti poligonosku stranu obzirom na njenu dužinu.

Ovaj se zahtjev mogao postaviti baš radi visoke točnosti mjerenja kutova. U praksi su se postigli dobri rezultati ovim letvama, i to s letvama 2 m relativna točnost 1:10,000, a letvom od 3 m i veća točnost.

Iz ove kratke diskusije može se zaključiti, da optičko mjerenje dužina u slučajevima gdje se primjenjuje uz pribor za preciznu poligonometriju zadovoljava zahtjeve točnosti.

Ovo se sve odnosi na mjerenje dužina s letvama konstantne dužine a promjenljivim paralaktičnim kutom.

Možda će biti od interesa da se prodiskutira kakve mogućnosti postoje za primjenu optičkog mjerenja dužina daljinomjerima, kod kojih je paralaktične kut konstantan, a promjenljiva letva t. j. Redtom, te ostalim Zeissovim Wildovim i Kernovim daljinomjerima pomoću klinova i horizontalne letve.

Kod ove vrsti instrumenata točnost mjerenja dužina raste sa \sqrt{s} , gdje je »s« dužina poligonske strane.

Iz podataka radova Geozavoda s Redtom a i postojeće literature, može se ustanoviti da ovi instrumenti daju zadovoljavajuće rezultate, naročito u brdovitim terenima i jarugama, gdje dolaze kratke strane.

Nijemci su također Redtu koristili za poligonometrijska rješenja uz poligonalni pribor. Oni zastupaju mišljenje, da se i ovaj instrument uz poligonalni pribor može koristiti za poligonometrijsko određivanje položaja stalnih točaka. Nažalost mi ga u tom smislu još nijesmo koristili, ali se možemo koristiti tuđim iskustvom u tolikoj mjeri, da nam pokaže mogućnost.

Radionica Geozavoda, a i Gradski geodetski Zavod u Zagrebu izradili su pribor potreban za preciz. poligonometriju uz Redtu i njene letve. Onaj pribor, koji je izradio Gradski Geozavod, može se upotrebiti i za Wildov instrumentarij. Znači imamo mogućnosti da ispitamo primjenu ovog instrumentarija za potrebe precizne poligonometrije.

Prema naprijed navedenom mi u našoj praksi za potrebe precizne poligonometrije možemo koristiti ovaj instrumentarij:

1. Na udaljenostima od 7 do 12 km Zeissov bazisni pribor s invar letvom od 3 m.

2. Na udaljenostima od 5 do 7 km Wildov i Zeissov polig. pribor s letvom od 2 m.

3. Na udaljenostima do 5 km, Redtu s poligonalnim priborom te sve precizne daljinomjere konstrukcije Zeiss-Dimes, Wild, Kern s poligonalnim priborom i horizontalnom letvom.

Ovo je sve važno za naše prilike i potrebe u svrhu brzog davanja podataka za razna projektiranja i izradu karte u mjerilu 1:5000. Instrukcija o izradi karte (čl. 24.) predviđa poligonsku mrežu i bez trajne stabilizacije polig. točaka. Ovdje se može vrlo dobro koristiti prednosti poligonalnog pribora, za određivanje priključnih točaka detaljnih poligona.

Naši su stručnjaci izveli već priličan broj radova sa Zeissovom 3 m invar letvom, koji po kvaliteti potpuno zadovoljavaju.

U zadnje vrijeme postavljena su dva dugačka vlaka na Rijeci i to jedan od rta nasuprot Kraljevice do Martinšćice u dužini od 7 km, a drugi od svjetionika na ulazu u riječku luku do Voloskog u dužini od 9 km. Prvi je određen s relativnom točnošću od 1:12.000, a drugi 1:75.000 t. j. $f_s = 0.12$ m. Za grad Karlovac postavljena je kombinirano triangulacija do III. reda a onda poligonometrija. Zatim je postavljena poligonometrija uz rijeku Bosnu od Šamca do Modriče, te za potrebe trasiranja tunela kroz Zagrebačku goru.

Ovdje bih želio navesti i nekoliko brojčanih podataka. U karlovačkoj mreži postavljeno je 11 vlakova s dvije čvorne točke. Vlakovi koji se učvornju određeni su s ovom relativnom točnošću:

Prva čvorna točka:

I. vlak	3.7 km	rel. točnost	1:12.000
II. „	4.7 km	„ „	1:26.000
III. „	2.3 km	„ „	1:10.000
IV. „	4.3 km	„ „	1:17.000

Druga čvorna točka:

V. vlak	2.3 km	rel. točnost	1:15.000
VI. „	3.9 km	„ „	1:35.000
VII. „	2.1 km	„ „	1:11.000
VIII. „	2.7 km	„ „	1:11.000

Priključne točke ovih vlakova bile su crkve s vrlo nezgodnim uslovima za priključak.

Ovom prilikom napravio sam nekoliko interesantnih upoređenja. Od ovih vlakova može se napraviti zatvoreni poligonski vlak dužine 15 km sa 19 strana. Prelazi preko 3 crkve a kutno odstupanje $f_\beta = + 2^c$. Kod priključka na trigonometrijske točke povećava se kutno odstupanje ali je još uvijek daleko u granicama tolerancije. Linearno odstupanje u ovom zatvorenom poligonskom vlaku je $f_y = + 0.02$ m, $f_x = - 0.03$ m.

Kako se iz ovoga vidi, onamo gdje ne dolaze do izražaja sistematske pogreške mjerila daje prec. poligonometrija u pravom smislu precizne rezultate, na temelju kojih se može prosuditi točnost mjerenja. Priključak na triangulaciju je kontrola za grube i sistematske pogreške.

Sa čvornih točaka uzeta je orijentacija na trigonometrijsku točku II. reda Karlovac, a vizure na čvorne točke su vraćene. Iz ovih podataka, a također iz još nekoliko drugih mjerenja računao sam indirektno poligonom metodom pravce između ovih točaka i uporedio ih s direktno mjerenim pravcima. Evo nekoliko podataka:

I. Smjer računat preko dvije polig. točke	108,6310 ^{gr}
S = 2,2 km	opažan 108,6313
	$\Delta \varphi = 3'' = 1''$
II. S = 2,4 km smjer računat	125,2377
	opažan 125,2357
	$\Delta \varphi = 20'' = 6'',5$
III. S = 3,2 km smjer računat	320,0006
	opažan 320,0000
	$\Delta \varphi = 6'' = 2''$

Suma kutova u trokutu, čiji su kutovi sračunati kao razlike indirektno računatih pravaca u jednom slučaju je 199,9986, a u drugom 200,0015.

Nažalost nijesam dospio da slična ispitivanja obavim i kod drugih radova pogotovo na elaboratu sljemenskog tunela i polig. Šamac—Modriča, ali ovo može dati povoda da se ispita mogućnost kombinacije precizne poligonometrije i triangulacije u onim slučajevima, gdje bilo kakve terenske okolnosti priječe pravilnom određivanju trig. točaka.

Naime vrlo je česti slučaj, da na rubovima šuma, blizu vodotoka i slično možemo s neke točke postići stanoviti broj pravaca na trigon. točke, koje ili nijesu dovoljne za trig. određivanje ili nijesu pravilno raspoređene. Tu bi problem riješila precizna poligonometrija, pomoću koje bi se mogli koz šumu postići indirektni pravci, i time bi omogućila pravilno riješenje ili riješenje uopće.

Na mogućnost ovakovog rješenja skrenuo sam svojedobno pažnju drugovima koji na ovim poslovima rade, da bi kod svojih radova ispitali nekoliko ovakvih slučajeva, pa da se onda stvori neki zaključak.

Pravci ovako sračunati ušli bi u izjednačenje trig. točke kao sredine iz neposredno mjerenih pravaca.

O metodama i točnosti rada u ovakovom slučaju ja neću ovdje govoriti; to je pitanje za sebe, ali bih želio upozoriti na jednu okolnost, a ta je da i ako radimo s letvama konstantne dužine ipak će točnost indirektnog određivanja pravca ostati zadovoljavajuća.

Srednja pogreška pravca zavisi od srednje pogreške mjerenja prelomnih kutova i srednje pogreške mjerenja strana. Prva je upotrebom prisilnog centriranja i poligonalnog pribora smanjena na minimum. Druga zavisi od metoda mjerenja i upotrebljene mjerače sprave. Ako radimo s letvama konstantne dužine, tu će srednja pogreška mjerene strane zavisi o točnosti mjerenja paralaktičnog kuta. Pogreška mjerila ovdje nema nikakvog utjecaja, jer i u slučaju da postoji sistematska pogreška mjerače sprave relativni odnosi će ostati dobri. Osim toga srednja pogreška pravca zavisi i o broju strana »s«, pa je naravno poželjno da broj strana bude što manji. Najbolje riješenje je s jednom polig. točkom.

Iz ovog bi se mogao stvoriti zaključak, da se ovaj način računanja smjera između dvije točke može primijeniti u kombiniranim radovima triangulacije i precizne poligonometrije u ravninama u mreži IV. reda, gdje terenske prilike i šume onemogućavaju pravilno postavljanje triangulacije.

Spomenuo sam još pronalaženje izgubljenih trigonom. točaka pomoću poligonometrije. Ova metoda je već u Njemačkoj primjenjivana i dala je dobre rezultate. Kod nas postoji još jedna mogućnost u vezi korišćenja starih podataka triangulacije za potrebe izrade karte 1:5.000. Tu bi se mogle stare točke u nedostatku druge mogućnosti poligonometrijski odrediti u našem koordinatnom sistemu radi lakše i točnije transformacije ostalih točaka.

Kako se iz navedenog može zaključiti, metoda precizne poligonometrije s instrumentarijem kojim raspolažemo ili s kojim u doglednoj budućnosti možemo raspolagati, pruža velike mogućnosti korišćenja u primijenjenoj i čistoj geodoziji i s potpuno zadovoljavajućom točnošću.

Obuka stručnjaka je vrlo jednostavna, pod uslovom da dotični ima smisla za precizno mjerenje.

U pogledu efekta našeg dosadašnjeg rada ne bi imali još dovoljno podataka iz razloga, što su na ovim radovima do sada radili uvijek novi ljudi radi osposobljavanja, čiji se efekat ne bi mogao uzeti kao definitivno mjerilo. Preduslov je da se raspolaže sa stalnim i priučenim radnicima i odgovarajućim prevoznim sredstvom. Ako bi se kao neko mjerilo mogao uzeti efekat kod navedenih radova stručnjaka Geozavoda u Zagrebu, onda mogu navesti da se za 8-satno radno vrijeme mjerilo 2,5 do 3 km preciznog poligonskog vlaka sa 6 do 9 stabiliziranih točaka.

Potreba da geodetska služba posluhuje druge grane proističe otuda što ne postoje planovi koji bi mogli poslužiti za sve tehničke radove. Stoga se pred geodetsku službu postavlja slijedeći najpreči zadaci: premjer cijele zemlje, geofizička mjerenja i drugo. Slijedeće, 1949 godine: treba za potrebe melioracije izvršiti premjer i izraditi planove i karte na površini od oko milion hektara.

(Iz ekspozee Marišala Tita prilikom pretresa prijedloga općedržavnog budžeta za 1949. g.)
