

KOMPARACIJA POLIGONIH VLAKOVA MJERENIH TEODOLITOM I ŽIROSKOPOM NA OSNOVI TEORETSKIH SREDNJIH POPREČNIH POGREŠAKA

Zvonimir KALAFADŽIĆ — Zagreb

Važnost poligonometrije u geodetskim radovima općenito je poznata. Danas je ona još uvijek najpovoljnija metoda za dobivanje mreže poznatih tačaka u područjima bez geodetskih podloga (tzv. zemlje u razvoju). U pojedinim terenima (ravnice bez prirodnih ili umjetnih uzvišenja) i u razvijanim dijelovima svijeta ona može zamijeniti triangulaciju, kao brža i ekonomičnija metoda. Poligonim vlakovima ugušćujemo mrežu stalnih tačaka i u terenima gdje smo razvili triangulaciju najnižih redova. Isto tako poligonometrija je metoda, koja se primjenjuje u mnogim inženjersko-geodetskim radovima.

Poligoni vlakovi s kutevima mjerenim teodolitom, teodolitni vlakovi, imaju, kako je poznato, razmjerno nepovoljan zakon gomilanja pogrešaka. Neidhardt (9) izvodi približnu formulu za srednju poprečnu pogrešku takvih vlakova

$$q_t = \pm m_t k_t L \sqrt{n} \quad (1)$$

iz koje se vidi da je ona ovisna o tačnosti mjerenja kuteva mt , dužini vlaka L , broju stranica u vlaku n , dok je k_t faktor ovisan o izjednačenju vlaka. Naročito nepovoljno djeluju kratke stranice radi jakog utjecaja pogrešaka u centriranju instrumenta i signala na tačnost mjerenja kuteva. Za teodolitne vlakove povoljne su dugačke stranice, manji n . Poboljšanja tačnosti i ekonomičnosti metode nastojala su se ostvariti uvođenjem pribora za prisilno centriranje, konstrukcijom preciznijih instrumenata za mjerenje kuteva, te raznih tipova preciznih daljinomjera.

Busolni vlakovi, poligoni vlakovi s mjerenim magnetskim azimutima, imaju mnogo povoljniji zakon gomilanja pogrešaka. Neidhardt (9) daje približnu formulu za srednje poprečno odstupanje busolnog vlaka

$$q_a = \pm m_a k_a L \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

Za busolu su povoljne kratke stranice, veći n za isti L . Pogreške centriranja kod metode mjerenja na preskok ostaju lokalizirane na mjernoj tački kod stacionarne metode te su pogreške, uz isti iznos ekscentriciteta, za oko 2,5 puta manje nego kod mjerenja teodolitom. Po tim svojim svojstvima busolni su vlakovi teoretski u prednosti pred teodolitnim, naročito u dugim vlakovima sa kratkim stranicama. Međutim praktički te prednosti ne mogu u potpunosti doći do izražaja.

Razlog je netačnost očitovanja (magnetska igla služi kao indeks za očitovanje podjele, bolje su duže igle, ali se konstruktivno ne može ići pre-daleko) i nestabilnost položaja magnetske igle (tromost, vremenske i pros-torne promjene magnetske deklinacije), što uvjetuje velike srednje pogreške magnetskih azimuta. Teodolitni vlakovi izjednačuju se u dva stupnja, prvo kutevi, zatim koordinatne razlike. Kod busolnih vlakova nema popravljanja azimuta, a završna linearna odstupanja na kraju vlakova su razmjerno velika, tako da mogu da sakriju i koju grubu pogrešku.

Povećanje tačnosti busolnih vlakova nastojalo se je ostvariti u dva prav-ca (Neidhardt [7] i [8]). Boljim konstrukcijskim rješenjima, npr. busolni teodolit Wild TO, omogućeno je lakše i tačnije očitavanje limbusnog kruga, te djelomično uklanjanje tromosti. Metodama mjerenja pokušavalo se je po-greške koje nastaju radi vremenskih promjena položaja magnetske igle, makar djelomično ukloniti, kao na pr. metoda istovremenog opažanja sa dva busolna instrumenta, jednog stacioniranog, drugog pokretnog. Sva nas-tojanja ipak nisu omogućila povećanje tačnosti busolnih vlakova u tolikoj mjeri, da bi njihove prednosti i praktički došle do izražaja.

Konstrukcijom žiroskopa za upotrebu u geodeziji, žiroskopskih teodo-lita, izgleda da je dobiven instrument, kojim će se sa dosta velikom tačnosti moći određivati astronomski azimuti. Žiroskopski vlakovi ponašaju se po istim zakonima kao i busolni. Tačnost mjerenja busolom sigurno je mnogo niža od mjerenja žiroskopom, a osim toga važno je što mjerenja žirosko-pom nisu podvrgnuta vremenskim promjenama onog intenziteta kao busola. Po ispitivanjima Williams-a i Belling-a (13) kod vremenski dužih serija opa-žanja konstatirana je doduše pojava oscilacija u obliku sekundarnih harmo-nika prividno sistematske prirode, ali opažanjem raspona »najviše — najni-že« vrijednosti azimuta dobivaju se rezultati razmjerno visoke tačnosti.

II

Pogreške u mjerenju kuteva teodolitom, odnosno azimuta žiroskopom, utječu kod ispruženih, istostranih vlakova isključivo na poprečnu pogrešku. Vlakovi mogu biti slobodni (neizjednačeni) ili vezani (priključeni po smje-ru i koordinatama i izjednačeni). O vlakovima priključenim samo po smjeru neće biti govora, jer taj slučaj postoji samo kod teodolitnih vlakova. Veličina poprečne pogreške najveća je na kraju slobodnog i u sredini vezanog vlaka, a ovisna je o tačnosti mjerenja kuteva, dužini vlaka i broju poligonih stranica. Navodim poznate formule za srednju poprečnu pogrešku ispruže-nih, istostranih teodolitnih, odnosno žiroskopskih vlakova (Neidhardt [7]):

$$M_{qt} = \pm \frac{mt}{\rho} L \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}} \quad (3) \quad M_{qa} = \pm \frac{ma}{\rho} L \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$m_{qt} = \pm \frac{mt}{\rho} L \sqrt{\frac{(n+1)^4 + 2(n+1)^2 - 3}{192n^2(n+1)}} \quad (5) \quad m_{qa} = \pm \frac{ma}{\rho} L \sqrt{\frac{1}{4n}} \quad (6)$$

Formule (3) i (4) daju srednju poprečnu pogrešku na kraju slobodnog teo-dolitnog, odnosno žiroskopskog vlaka, a formule (5) i (6) istu pogrešku u sredini vezanih vlakova. U formuli mt i ma znače srednju pogrešku mjerenja jednog poligonog kuta, odnosno azimuta, L je dužina vlaka, n broj poligonih stranica. Formule (3) i (5) su posve analogne onima koje navodi Janković (2), samo što ondje n znači broj tačaka u vlaku.

Ako želimo dobiti koordinate tačkaka žiroskopskog vlaka u nekom zadanom koordinatnom sustavu, moramo mjeriti i t.zv. vezne azimute prema poznatim tačkama, te odrediti orijentacioni kut

$$\delta_a = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^{i=z} (v_i - \mu_i)$$

gtje z znači broj izmjerenih veznih azimuta. Pomoću orijentacionog kuta računaju se smjerni kutevi u vlaku $v = \mu + \delta_a$.

U slučaju da se u žiroskopskom vlaku mjere vezni azimuti ne vrijedi formula (4), nego Neidhardt (6) izvodi posebnu formulu (7) za srednju poprečnu pogrešku na kraju slobodnog busolnog, dakle i žiroskopskog vlaka, uz pretpostavku da su i vezni i azimuti u vlaku mjereni istom tačnošću.

$$M'_{qa} = \pm \frac{m_a}{\rho} L \sqrt{\frac{1}{z} + \frac{1}{n}} \quad (7) \quad M''_{qa} = \pm \frac{m_a}{\rho} L \sqrt{\frac{1}{2n}} \quad (8)$$

Formula (4) nastaje iz formule (7), ako se uvede da je $z = 0$. Iz formule se vidi da je pogreška, naročito za vlakove s velikim n , ovisna o tačnosti veznih azimuta. Tačnost veznih azimuta kod veznih (izjednačenih) busolnih, dakle i žiroskopskih vlakova, kako izvodi Neidhardt (6), ne igra ulogu, jer se izjednačenjem utjecaj pogrešaka orijentacije poništava.

Srednja poprečna pogreška na kraju slobodnog žiroskopskog vlaka dužine $L/2$ u kojem nisu mjereni vezni azimuti, računa se po formuli (8).

III

Tačnost teodolitnih i žiroskopskih vlakova može se uporediti tako, da se izračunaju i zatim uporede teoretske srednje poprečne pogreške navedenih vrsta vlakova i to za razne tačnosti mjernja kuteva, za razne dužine vlakova i poligonih stranica. Uporedit će se vezani i slobodni teodolitni i odgovarajući žiroskopski vlakovi. Interesantna je i uporedba srednje poprečne pogreške središnje tačke vezanog teodolitnog vlaka dužine L sa pogreškom na kraju slobodnog žiroskopskog vlaka dužine $L/2$, te upotreba slobodnih žiroskopskih vlakova sa mjerenim veznim azimutima, sa onima u kojima ta mjerenja nisu izvršena.

Prema Pravilniku za državni premjer II dio, čl. 16, dužine poligonih stranica mogu iznositi 50 — 250 m, a dozvoljene su dužine i do 500 m u izuzetnim slučajevima. Dužine vlakova mogu se kretati od 1 — 2,5 km. Po Pravilniku II-a, čl. 35, poligone strane mogu biti dugačke 100 — 300 m, a vlakovi 400 — 2000 m. Tačnost kuteva se propisuje obzirom na razred premjeravanog zemljišta. Traže se vrlo visoke unutrašnje tačnosti kuteva. Za razred A primjenjuju se odredbe Pravilnika II-a.

U svojoj studiji Narobe (5) je analizirajući poligonu mrežu I reda grada Zagreba došao do zaključka, da vrlo visoke unutrašnje tačnosti kuteva ne osiguravaju i visoke vanjske tačnosti, ako nije dosljedno primijenjen kvalitetan pribor za prisilno centriranje. Tako je za istraživanu mrežu izračunata pogreška $mt = + 7,5''$, dok je unutrašnja tačnost bila oko 5 puta veća. Dužine vlakova i poligonih stranica su dugačke 80 — 280 m, prosječno 190 m, a vlakovi 600 — 2200 m, prosječno 1280 m.

U literaturi se navode podaci o tačnosti postignutoj sa geodetskim žiroskopima. Tako Schwendener (12) ispituje žiroskop Wild GAK 1 montiran na teodolite Wild T 1A, T 16, T 2, uz razne metode opažanja.

Predorijentacija instrumenta u pravcu sjevera *metodom opažanja dvije povratne tačke* i t. zv. »*brzom metodom*« može se izvršiti s tačnošću $\pm 3' - 5'$ z avrijeme od 3—9 min. *Amplitudnom metodom* određuju se azimuti sa vanjskom tačnošću $\pm 1'$, za vrijeme od 8 — 12 min, zajedno sa postavljanjem instrumenata uz predorijentaciju tačnom busolom. *Metoda opažanja povratnih tačaka i metoda prolaza* daju vanjsku tačnost azimuta od $\pm 15''$ do $30''$, za 19 — 23 min, zajedno sa postavljanjem instrumenata uz predorijentaciju busolom. Produženje vremena opažanja po Schwendeneru nema utjecaj na vanjsku tačnost azimuta.

Williams i Belling (13) navode da je ispitivanjem istog Wildovog žiroskopa na teodolitu Wil T 2, opažanjem azimuta 9 km duge strane, kojoj je bio poznat astronomski azimut, dobivena tačnost reda veličine $\pm 10''$ za *metodu opažanja povratnih tačaka i metodu prolaza*. Grafarend (1) ispituje instrument Fennel TK 3 na test-mreži TH Causthal i dobiva za svoju novu *metodu kronometriranja* pogrešku pojedinog mjerenja od $\pm 0,4'$, za metodu prolaza po Schwendeneru $\pm 1,5'$, a za metodu opažanja povratnih tačaka $\pm 1,2'$.

Po formulama (3) do (8) izračunate su srednje poprečne pogreške, koje koje se mogu očekivati u teodolitnim i žiroskopskim vlakovima. Uzimajući u obzir odredbe Pravilnika, a i primjer zagrebačke mreže, u računu su uzete dužine vlakova 0,5 1, 2, 3, 4, 5 i 10 km.

Vlakovi duži od 3 km uzeti su zato, jer se kod raznih posebnih zadataka, naročito u geodetski »praznim« područjima, često moraju vući i dugi vlakovi. Stranice su uzete duge 50, 100, 200 i 300 m. Pretežno kratke stanice dolaze u praksi u specijalnim slučajevima (rudarska mjerenja), no mogu doći i u slučajevima izmjere, a i Pravilnik ih tolerira.

Na temelju tako odabrainh dužina stranica određen je tada broj stranica n u vlakom određene dužine. U teodolitnim vlakovima za pogrešku jednog mjerenog kuta (mt) uzeto je $+ 30'', 10', 5''$. Pogreška od $\pm 30''$ odgovarala bi za izmjeru nižih razreda zemljišta (D, E), za srednje razrede može se uzeti $\pm 19''$, a za najviše $\pm 5''$. Prema podacima u literaturi o tačnosti određivanja azimuta žiroskopskim teodolitima za pogrešku jetnog mjerenog azimuta (ma) uzeto je $\pm 60'', 30''$ i $15''$.

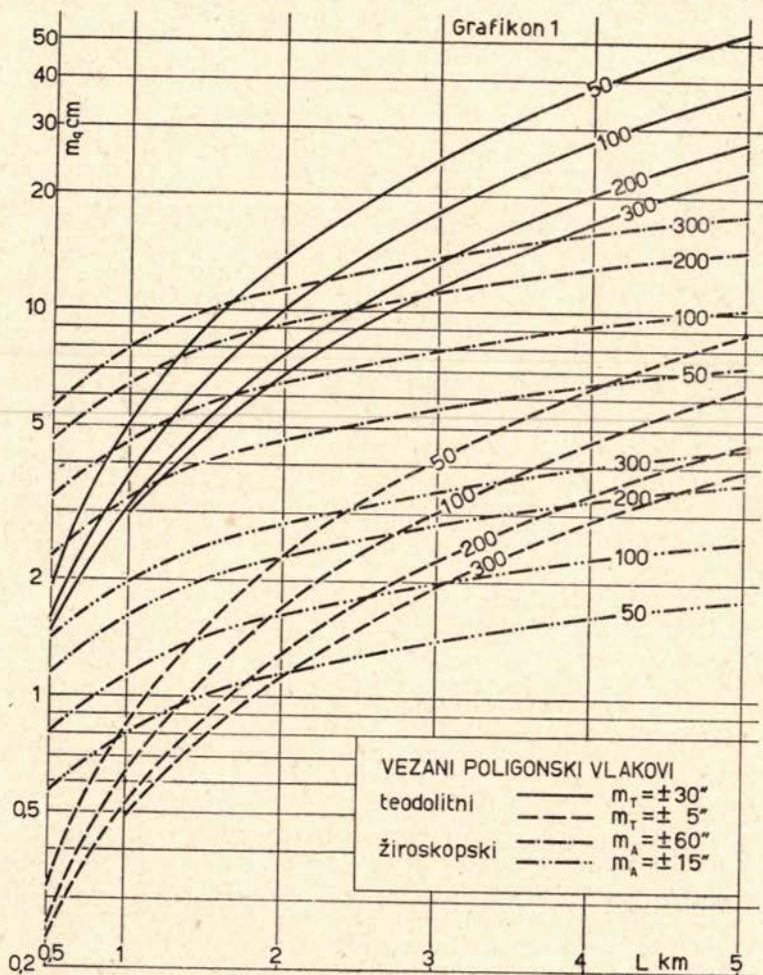
Kod računanja srednjih poprečnih pogreški uzete su, kako to i drugi autori čine, iste pogreške kuta za razne dužine stranica. No pitanje je dali je to pravilno. Po Macarolu [4] tek se poligone stranice duže od 150 m mogu uzet kao jednake obzirom na tačnost mjerenja kuteva. Kod kraćih stranica trebalo bi voditi računa o dužini. Jer pogrešku $m_t = \pm 30''$ za stranice od 50 m ne možemo gotovo ni postići bez prisilnog centriranja. To pitanje bi trebalo pobliže istražiti i možda uvesti neki faktor dužine stranica.

m	L	TABELA A				TABELA B			
		$s_t = s_a \cdot m$							
		50	100	200	300	50	100	200	300
		srednja poprečna pogreška cm							
km	vezani teodolitni vlak				slobodni teodolitni vlak				
	vezani žiroskopski vlak				slobodni žiroskopski vlak z=0				
slobodni žiroskopski vlak $\frac{L}{2}$				slobodni žiroskopski vlak z=2					
$m_t = \pm 30''$ $m_a = \pm 60''$	0,5	1,9 2,3 3,3	1,6 3,3 4,6	1,5 4,6 6,5	- - -	14,3 <u>4,6</u> 11,3	10,8 6,5 12,2	8,6 9,2 13,8	7,8 11,3 15,2
	1	5,1 <u>3,3</u> 4,6	3,9 4,6 6,5	3,2 6,5 9,2	3,0 8,0 11,3	39,0 6,5 21,6	28,5 9,2 22,5	21,6 13,0 24,3	18,7 15,9 26,0
	2	13,8 4,6 6,5	10,1 6,5 9,2	7,7 9,2 13,0	6,8 11,3 15,9	108,2 9,2 42,2	77,9 13,0 43,1	57,1 18,4 45,1	48,2 22,6 46,9
	3	24,8 5,6 7,9	18,1 7,9 11,3	13,5 <u>11,3</u> 15,9	11,6 13,8 19,6	197,6 11,3 62,6	141,4 15,9 63,7	102,5 22,5 65,7	85,6 27,6 67,6
	4	38,3 6,5 9,2	27,6 9,2 13,0	20,3 13,0 18,4	17,2 <u>16,0</u> 22,6	303,2 13,0 83,3	216,4 18,4 84,3	155,9 26,1 86,3	129,6 32,0 88,2
	5	53,3 7,3 10,2	38,2 10,3 14,5	27,9 14,5 20,5	23,5 <u>18,0</u> 25,2	423,0 14,5 103,9	301,4 20,5 104,9	216,2 29,1 106,9	179,0 35,9 108,9
	10	149,6 10,3 14,5	106,6 14,5 20,4	76,3 20,5 29,1	63,4 25,2 35,5	977,0 20,4 206,7	846,1 29,1 207,7	602,7 41,0 209,8	495,7 50,3 211,8
	0,5	0,6 1,2 1,6	0,5 1,6 2,3	0,5 2,3 3,3	- - -	4,8 <u>2,3</u> 5,6	3,6 3,3 6,1	2,9 4,6 6,9	2,6 5,6 7,6
	1	1,7 <u>1,6</u> 2,3	1,3 2,3 3,3	1,1 3,3 4,6	1,0 4,0 5,6	13,0 3,3 10,8	9,5 4,6 11,3	7,2 6,5 12,2	6,3 8,0 13,0
	2	4,6 2,3 <u>3,3</u>	3,4 <u>3,3</u> 4,6	2,6 4,6 6,5	2,3 5,6 8,0	2,3 4,6 21,1	36,1 6,5 21,6	26,0 9,2 22,5	19,0 11,3 23,5
3	8,3 2,8 4,0	6,0 4,0 <u>5,6</u>	4,5 5,6 7,9	3,9 6,9 9,7	65,9 5,6 31,3	47,1 7,9 31,9	34,2 11,3 32,8	28,5 13,8 33,8	
4	12,8 3,3 4,6	9,2 4,6 6,5	6,8 <u>6,5</u> 9,2	5,7 8,0 11,3	101,1 6,5 41,7	72,1 9,2 42,2	52,0 13,0 43,1	43,2 16,0 44,1	
5	17,8 3,6 5,1	12,7 5,1 7,3	9,3 7,3 10,2	7,8 9,0 12,6	141,0 7,3 51,9	100,5 10,2 52,4	72,1 14,5 53,4	59,7 18,0 50,5	
10	49,9 5,2 7,3	35,5 7,3 10,2	25,5 10,3 <u>14,5</u>	21,1 <u>12,6</u> 17,7	325,6 10,2 103,4	282,0 14,5 103,9	200,9 20,5 104,9	165,2 25,2 105,9	
$m_t = \pm 10''$ $m_a = \pm 30''$	0,5	0,3 0,6 0,8	0,3 0,8 1,2	0,2 1,2 1,6	- - -	2,4 <u>1,2</u> 2,8	1,8 <u>1,6</u> 3,0	1,4 2,3 3,5	1,3 2,8 3,8
	1	0,8 <u>0,8</u> 1,2	0,6 1,2 1,6	0,5 1,6 2,3	0,5 2,0 2,8	6,5 1,6 5,4	4,8 2,3 5,6	3,6 <u>3,3</u> 6,1	3,1 4,0 6,5
	2	2,3 1,2 <u>1,6</u>	1,7 <u>1,6</u> 2,3	1,3 2,3 3,3	1,1 2,8 4,0	18,0 2,3 10,5	13,0 3,3 10,8	9,5 4,6 11,3	8,0 <u>5,6</u> 11,7
	3	4,1 1,4 2,0	3,0 2,0 2,8	2,2 2,8 4,0	1,9 3,5 4,9	32,9 2,8 15,7	23,6 4,0 15,9	17,1 5,6 <u>12,4</u>	14,3 6,9 16,9
	4	6,4 1,6 2,3	4,6 2,3 <u>3,3</u>	3,4 <u>3,3</u> 4,6	2,9 4,0 5,6	50,5 3,3 20,8	36,1 4,6 21,1	26,0 8,5 21,6	21,6 8,9 22,1
	5	8,9 1,8 2,6	6,4 2,5 3,6	4,6 3,6 5,1	3,9 4,5 6,3	70,5 3,6 26,0	50,2 5,1 26,2	36,0 7,3 26,7	29,8 9,0 27,2
	10	24,9 2,6 3,6	17,8 3,6 5,1	12,7 5,1 <u>7,3</u>	10,6 <u>6,3</u> 8,9	162,8 5,1 51,7	141,5 7,3 51,9	100,5 10,3 52,4	82,6 12,6 52,9
	0,5	0,3 0,6 0,8	0,3 0,8 1,2	0,2 1,2 1,6	- - -	2,4 <u>1,2</u> 2,8	1,8 <u>1,6</u> 3,0	1,4 2,3 3,5	1,3 2,8 3,8
	1	0,8 <u>0,8</u> 1,2	0,6 1,2 1,6	0,5 1,6 2,3	0,5 2,0 2,8	6,5 1,6 5,4	4,8 2,3 5,6	3,6 <u>3,3</u> 6,1	3,1 4,0 6,5
	2	2,3 1,2 <u>1,6</u>	1,7 <u>1,6</u> 2,3	1,3 2,3 3,3	1,1 2,8 4,0	18,0 2,3 10,5	13,0 3,3 10,8	9,5 4,6 11,3	8,0 <u>5,6</u> 11,7
3	4,1 1,4 2,0	3,0 2,0 2,8	2,2 2,8 4,0	1,9 3,5 4,9	32,9 2,8 15,7	23,6 4,0 15,9	17,1 5,6 <u>12,4</u>	14,3 6,9 16,9	
4	6,4 1,6 2,3	4,6 2,3 <u>3,3</u>	3,4 <u>3,3</u> 4,6	2,9 4,0 5,6	50,5 3,3 20,8	36,1 4,6 21,1	26,0 8,5 21,6	21,6 8,9 22,1	
5	8,9 1,8 2,6	6,4 2,5 3,6	4,6 3,6 5,1	3,9 4,5 6,3	70,5 3,6 26,0	50,2 5,1 26,2	36,0 7,3 26,7	29,8 9,0 27,2	
10	24,9 2,6 3,6	17,8 3,6 5,1	12,7 5,1 <u>7,3</u>	10,6 <u>6,3</u> 8,9	162,8 5,1 51,7	141,5 7,3 51,9	100,5 10,3 52,4	82,6 12,6 52,9	

IV

Rezultati računanja prikazani su u tabelama A i B, te u grafikonima 1 i 2. U tabeli A, odnosno u grafikonu 1, upoređeni su vezani teodolitni i žiroskopski vlakovi dužine L , te slobodni žiroskopski vlakovi dužine $L/2$, a u tabeli B i grafikonu 2, slobodni teodolitni vlakovi, te slobodni žiroskopski vlakovi sa $z = 0$ i $z = 2$. Uzeti se slijedeći odnosi teodolitnih i žiroskopskih vlakova obzirom na pogreške mjerenja kuteva: 1. $m_T = \pm 30''$ i $m_A = \pm 60''$, 2. $m_T = \pm 15''$ i $m_A = \pm 30''$, 3. $m_T = \pm 5''$ i $m_A = \pm 15''$. To smatramo da odgovara današnjim mogućnostima instrumenata. Grafikonu su crtani na tzv. polulogaritamskom papiru, a radi preglednosti nije grafički prikazan odnos 2 ($m_A = \pm 15''$ i $m_A = \pm 30''$).

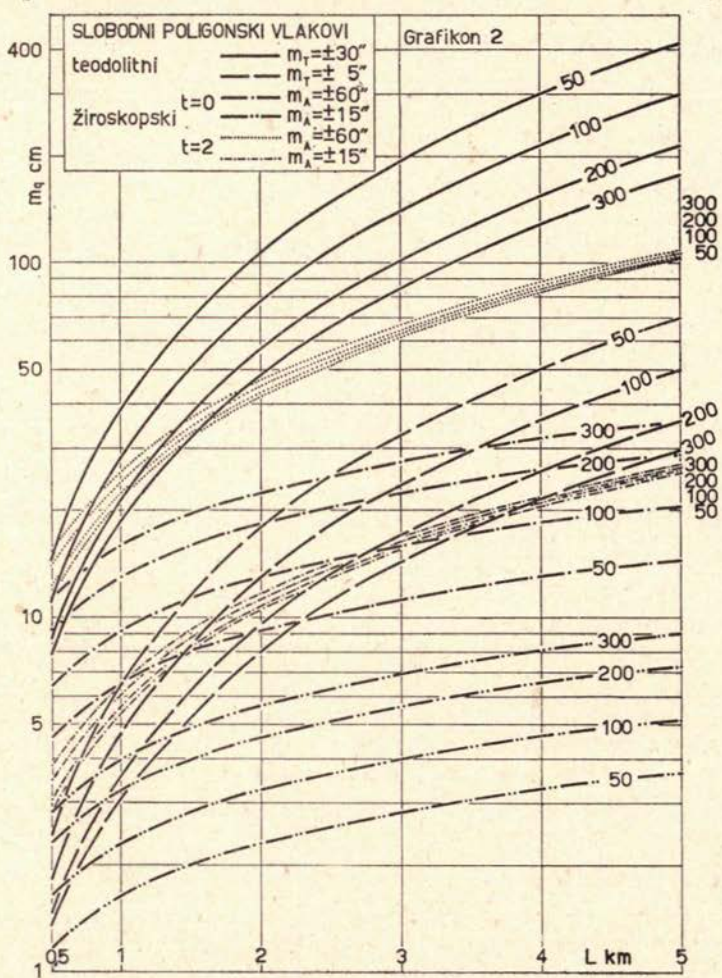
Upoređenje tačnosti teodolitnih i žiroskopskih vlakova sastojalo se je u tome, da se ustanovi na kojoj se dužini vlaka, za određene dužine stranica u vlaku, može očekivati da će teodolitni vlakovi imati iste ili veće srednje poprečne pogreške, nego istovrsni žiroskopski vlakovi. U tabelama je zato pod-



vučena vrijednost srednje poprečne pogreške žiroskopskog vlaka, za onu dužinu vlaka i određenu dužinu stranica, kod koje je pogreška teodolitnog vlaka veća ili jednaka pogreški žiroskopskog vlaka. U grafikonima se tražene dužine vlakova, za određene dužine stranica, mogu naći presjekom odgovarajućih krivulja.

Iz tabele A i grafikona 1 vidimo da je kod odnosa ($m_t = \pm 30''$ i $m_a = \pm 60''$) uz kratke stranice (50m) već negdje iza dužine vlaka $L = 600$ m žiroskopski vlak u prednosti pred teodolitnim. Može se očekivati manja srednja poprečna pogreška središnje tačke žiroskopskog vlaka, nego teodolitnog.

Ako u vlaku imamo duže stranice, takav slučaj nastupa kod dužih vlakova ($s=100$ m $L=1,2$ km, $s=200$ m $L=2,5$ km, $s=300$ m $L=3,8$ km). Povećanjem tačnosti mjerenja kuteva, kako kod današnjeg stanja izgradnje instrumenata izgleda, žiroskop pred teodolitom pomalo gubi prednost, no još uvijek kod vlakova sa pretežno kratkim stranicama (50 — 100 m) ima žiroskop prednost



iznad dužine vlaka od 2 km. To i uvjetuje njegovu sve širu primjenu kod takvih vrsta mjerenja na pr. rudarskih. Moramo imati na umu, da su baš prve uspjele konstrukcije geodetskih žiroskopa i bile stvorene u rudarskim projektnim organizacijama.

Izračunate srednje poprečne pogreške središnje tačke vezanog teodolitnog vlaka dužine L i iste pogreške na kraju slobodnog žiroskopskog vlaka dužine $L/2$ pokazuju da se te dvije pogreške izjednačuju kod dužine vlaka od 1 — 4 km za vlakove sa kraćim stranicama (50 — 100 m), već prema tačnosti mjerenja kuteva. Znači da za slobodni žiroskopski vlak dužine 1,5 km, sa stranicima 100 m, sa $ma = \pm 30''$ možemo očekivati manju srednju poprečnu pogrešku na kraju vlaka, nego što iznosi pogreška središnje tačke teodolitnog vlaka dugog 3 km, istih stranica, sa $mt \pm 10''$.

Tabela B i grafkon 2 pokazuju da su slobodni žiroskopski vlakovi, osobito duži, u očitoj prednosti pred istovrsnim teodolitnim. Kada se želimo uklopiti u zadani koordinatni sustav vi mjerimo vezne azimute ta prednost opata, ali je za duže vlakove i kraće stranice, uz mjerena dva vezna kuta još uvijek kod vlakova dužih od 1 — 2 km. Slobodni teodolitni vlakovi se rijetko upotrebljavaju, t. zv. sljepci imaju u praksi najviše jednu do tri poligone stranice. Teodolitne vlakove nastojimo vezati, a izjednačujemo ih u velikoj većini slučajeva u dvije faze.

Kod vezanih busolnih i žiroskopskih vlakova nema popravljanja azimuta, nego se sa mjerenim azimutima računaju privremene koordinate i završna linearna odstupanja. Kad trostruke vrijednosti srednjih pogrešaka uzmemo kao najveća dozvoljena odstupanja, dobivamo za busolne vlakove velike iznose, u koje se mogu uvući i neke grube pogreške. Kod žiroskopa je ta opasnost umanjena, jer su pogreške na kraju slobodnih žiroskopskih vlakova mnogo manje.

Ova upoređenja imaju uglavnom samo teoretsku vrijednost. U praksi se nećemo sretati sa strogo ispruženim, istostranim vlakovima. No rezultati ispitivanja praktičkih vlakova, normalno zakrivljenih, sa podjednakim stranicama neće se mnogo udaljiti od teoretskih modela. Vidimo da je žiroskop u velikoj prednosti ako imamo duže vlakove sa pretežno kratkim stranicama. Slobodni žiroskopski vlakovi mjereni sa današnjom najvećom mogućom tačnošću mogu nam osigurati stabilnost položaja zadnje tačke u vlaku, tako da ćemo se nekad moći zadovoljiti slobodnim vlakom, ne težeći da ga pod svaku cijenu vežemo.

Usporedba teodolitnih i žiroskopskih vlakova mogla bi se izvršiti i obzirom na ekonomiziranje s vremenom, odgovoriti na pitanje s kojim instrumentom se radi brže, pa vjerojatno i ekonomičnije. Postignute tačnosti treba uvijek gledati u svijetlu ekonomike. Uvijek se nastoji naći kompromis između tačnosti i ekonomskih mogućnosti. Pa i geodetski stol je u katastarskoj izmjeni otišao u »penziju« ne toliko i zrazloga tačnosti, koliko iz ekonomskih. Na terenu, gdje su troškovi najveći, radi se kod numeričke izmjere mnogo brže i ekonomičnije. Raditi sa stolom moglo se je u vrijeme kad se o troškovima radne snage nije trebalo toliko voditi računa. Za što tačniju izmjeru jednog važnog vlaka u rudniku, troškovi nikad neće biti preveliki, ali na pr. u domeni šumarstva, za izlučivanje sastojina, busola će vjerojatno uvijek davati dovoljno tačne rezultate.

Vrijeme potrebno za izmjeru žiroskopskih vlakova može se smanjiti mjerenjem t. zv. metodom na preskok. Iz azimuta u pravcu dobivamo i azimut protupravca. Instrument ne moramo postavljati na svaku nego na svaku drugu tačku. Vrijeme opažanja se tako bitno skraćuje.

Williams i Belling [13] navode da je tačnost azimuta u pravcu i protupravcu jedne poznate test-linije duge 9 km, određenog žiroskopom Wild GAK 1, na teodolitu Wild T 2, bila oko $\pm 5''$.

Ovo moderno doba donosi nam svakodnevno svuda revolucionarne metode konstrukcije, pa tako i u geodeziji. Konstruiraju se sve bolji i tačniji instrumenti, tako da će i žiroskop biti poboljšan.

Grafarend [1] je žiroskopu Fennel TK 3 dodao 9 fotočelija smještenih na razmaku od svega 23,5', svijetlećom markom pobuđeni električni signali uključuju naizmjениčno dva mala mehanička Jaquet — sata na 10 msek, tako da se vrijeme opažanja skraćuje na 1 min. Signali kronometra mogu se preko priključenog elektronskog računara prenijeti na servomotor, koji ispravlja položaj žiroskopa i usmjerava ga prema sjeveru i to za vrijeme od 1/10 vremena titraja. To znači da se na srednjim geografskim širinama gdje vrijeme titraja iznosi oko 8 min, žiroskop automatski usmjeri prema sjeveru za 48 sek.

Isti autor istražuje poligone vlakove mjerene metodom na preskok pomoću žiroskopa i geodimetra. Ostvaruje se ideja da vlakovi budu dugi, da kuteve, zapravo azimute, mjerimo žiroskopom, a dužine preciznim elektronskim daljinimjerima. Time se dobiva metoda, koja daje zadovoljavajuće rezultate, uz sve prednosti žiroskopskih vlakova o kojima je bilo govora.

LITERATURA:

1. Grafarend E.: Chronometrische Nordbestimmung mit Vermessungskreisen, Zeitschrift für Vermessungswesen No 3, Stuttgart 1969. s fs
2. Janković M.: Inženjerska geodezija I dio, Tehnička knjiga, Zagreb 1968.
3. Kalafadžić Z.: Geodetski žiroskopski instrument Wild GAK 1, Geodetski list No 7—9, Zagreb 1967.
4. Macarol S.: Praktična geodezija, Tehnička knjiga, Zagreb 1968.
5. Narobe Z.: Prilog razmatranju tačnosti i tolerancija u poligonometrijskim mrežama primjenom metoda matematičke statistike, Geodetski fakultet, Zagreb 1965.
6. Neidhardt N.: Srednja transverzalna odstupanja u ispružnim busolnim vlakcima pod uplivom neizbježivih pogrešaka, Šumarski list, Zagreb 1937.
7. Povećanje točnosti busolnih vlakova, Šumarski list, Zagreb 1941.
8. Prilozi poznavanju tromosti busole, Glasnik za šumske pokuse, Zagreb 1942.
9. Osnovi geodezije III, Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb 1950.
10. Pravilnik za državni premer II-a deo, Savezna geodetska uprava, Beograd 1956.
11. Pravilnik za državni premer II i III deo, Savezna geodetska uprava Beograd 1958.
12. Schwender H. R.: Verfahren und Erfahrungen bei Nordbestimmungen mit dem Aufsatzkreisel, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten No 4, Karlsruhe 1966.
13. Williams H. S., Belling G. E.: Quasi — harmonci Patterns of Pedulos gyroscopes during protracted oscillation, Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde No 5, s—Gravenhage 1967.