

Ing. Veljko Petković — Zagreb

Analiza uz jedan nivelman izveden sa nivelrom Ni 2 Zeiss-Opton

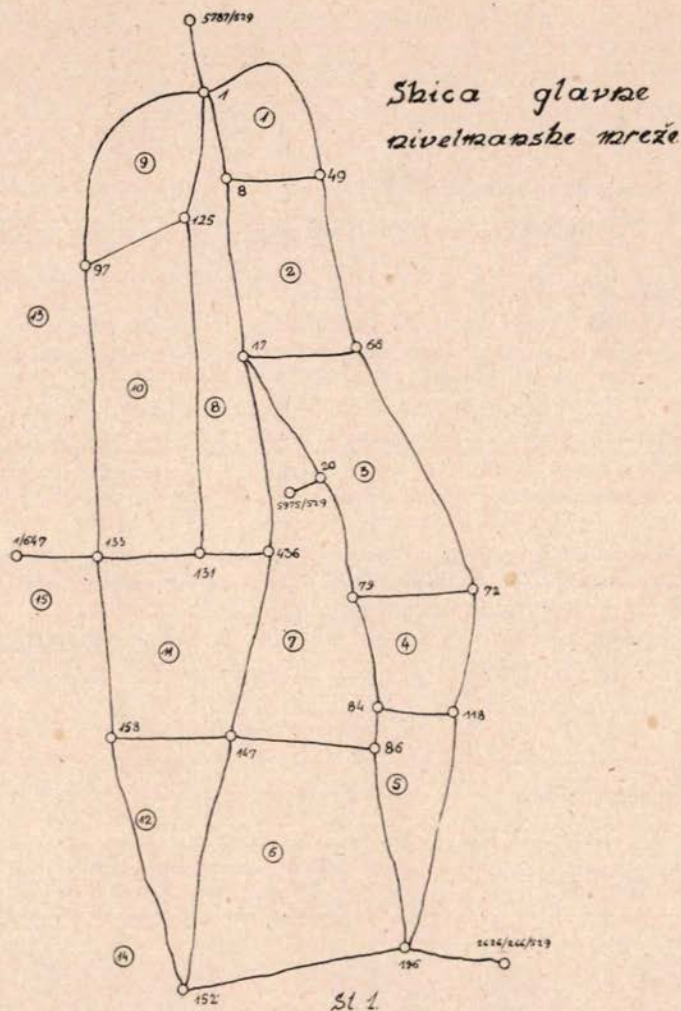
Kolikogod je nivelman poznata operacija svim našim stručnjacima, mislim da ne će biti suvišno osvrnuti se na nivelman poligone mreže grada Križevci, koji je u cjelosti izveden nivelrom NI 2 firme Zeiss-Opton br. 142603 vlasništvo Geodetskog Zavoda A. G. G. fakulteta Zagreb.

Znamo iz iskustva da instrumenti i pribor, kojim pri nekom radu raspolažemo u glavnom određuje organizaciju i način rada. Tu činjenicu ne će ni jedan naš stručnjak zanemariti. Sigurno je da će svaki od nas pozdraviti novi korak u konstrukciji instrumenta, koji ili povećava točnost rada, ili udobnost pri radu. Mislim, da je ovaj drugi momenat došao naročito do izražaja u novom niveliru NI 2 firme Zeiss-Opton, a da pri tome ni točnost nije manja u usporedbi sa odgovarajućim nivelirima starije konstrukcije.

U svojim člancima, koji su prevedeni i objavljeni u Geodetskim listovima 51/4—9 i 51/10—12 E Wagener: »Das Nivelir NI 2 der Firma Zeiss-Opton« i Drodofsky Heidenlein: »Neue Nivellierinstrumente« i članak Ochsenkirt, Essen »Untersuchung des Zeiss-Nivelliers NI 2 mit automatischer Horizontirung der Zielachse« Zeitschr. f. Verm. H. G/1956. dālj su prve opise, analizu konstrukcije kao i točnosti postignute sa ovim instrumentima. Osnovni princip konstrukcije, na kojoj radi njegov automatski uređaj jest čovječe uspravi se.« Dovodenje tangente libele u horizontalan položaj i paralelan sa vizurom osi vrši se automatski pomoću mehaničkog konpenzatora čija je osjetljivost jednaka 3" libeli, ili 10" libeli sa uređajem za koincidenciju. Prema podacima firme točnost dvostrukog nivelanja iznosi ± 2 mm/km. Ista točnost postignuta je i od pisca članka E. Wagener-a prilikom nivelanja jedne mreže. U članku se detaljno analizira komotnost i brzina rada.

U gradu Križevci nivelirana je cijela poligona mreža, 218 stalnih točaka. Da bi osigurali pravilno postavljanje nivelmanske letve, prilikom pravljenja nadzemne oznake — kamena za stabilizaciju, stavljena je u sredini stupa željezna šipka koja je cca 0,5 cm bila iznad gornje plohe kamena. Površina koja je obuhvaćena mrežom poligona prostire se od željezničke stanice do groblja te između potoka Koruška i potoka Vrtlina. Sam teren za nivelman nije najpovoljniji, jer jedan dio vlakova prelazi preko livada. Konfiguracija terena nije predstavljala gotovo nikakve poteškoće prilikom niveliranja, jer je teren skoro ravan. Svega na par poteza, vlak: 2, 28, 23, 24 i 18, moralo se nive-

lirati kraćim pravicima (Sl. 1) S obzirom na tu činjenicu uzeto je da je cijeli teren jedne kategorije, pa je prilikom izjednačenja za težine uzeta u obzir samo dužina vlakova, tj. $p = 1/s$.



Sl. 1.

Nakon stabilizacije mreže nanpravljen je plan računanja nivelmanske mreže, a s tim u vezi i plan opažanja. Cijela mreža podijeljena je na glavnu i sporednu mrežu. Glavnu mrežu sačinjavaju vlakovi koji će biti izjednačeni najjedanput metodom uvjetnih mjerenja zajedno s vlakovima s kojima je izvršen priključak na 4 zadana repera i to br. 5787/529 i 1/647 5975/529 i 2626/266/529.

Radi određivanja utjecaja zadanih repera na izjednačenje i ispitivanja njihove pouzdanosti izvedena su prvenstveno odstupanja visinskih razlika dobi-

jenih niveliranjem i iz zadanih visina. Sva su odstupanja daleko ispod onih koje kao gornju granicu daje formula

$$m = \pm 5 \sqrt{D} \text{ u m/m.}$$

U konkretnom slučaju odstupanja su manja od predviđene točnosti niveliranja samog instrumenta tj. ispod ± 2 mm/po km. Prema tome je bilo očekivati da zadani reperi ne će nepovoljno utjecati kod izjednačenja.

Prema već poznatoj formuli za određivanje nezavisnog broja uvjeta u nivelmanskoj mreži:

$$t = i - N$$

gdje je t = broj svih uvjeta

i = broj (mjerjenja) niveliranih strana

N = broj repera koji se određuje

imamo $t = 35 - 20 = 15$

Dakle 15 nezavisnih uvjeta od kojih 12 figurinih uvjeta i 3 fiksna uvjeta. Izjednačenje je izvedeno na već poznati način. Tim izjednačenjem smo dobili apsolutne visine za 20 veznih repera. Tako je dobijena okosnica za izjednačenje ostalog dijela glavne i sporedne mreže (metodom uvrštenih vlakova).

Dužina vlakova glavne mreže iznosi 21 km, a sporedne mreže 9 km. Ukupna dužina nivelanja iznosi 30 km sa prosječnom dužinom među stalnim točkama 140 m. Pošto je sve nivelano u dva smjera znači da je izvršeno ukupno 60 km nivelmana.

Da bi mogli dati što sigurniju ocjenu postignute točnosti, računate su srednje greške nivelanja prije izjednačenja i poslije izjednačenja mreže.

U razmatranje ćemo uzeti samo glavnu mrežu.

Srednje greške pojedinih vlakova dobijene iz razlike niveliranja napred — natrag

$$M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[p d d]}{n}}$$

date su u slijedećoj tabeli:

Red. br.	dužina u km	d = p-n/mm	[pdd]	M _o mm
1	1,1	-2	249,1	+2,8
2	0,2	+1	39,2	+2,2
3	0,5	-1	106,7	+2,6
4	0,9	-2	62,3	+1,6
5	0,3	-3	51,8	+2,1
6	0,8	+2	143,2	+2,8
7	0,8	+1	247,8	+3,8
8	0,4	+3	38,6	+1,8
31	0,7	+6	130,4	+2,3
10	0,8	+3	299,0	+3,2
12	0,7	+6	167,1	+2,9
13	1,1	-3	266,2	+2,9
14	0,8	-8	124,3	+2,2
15	0,3	-2	26,7	+1,8

Red. br.	dužina u km	d = p-n/mm	[pdd]	M _o mm
16	0,3	0	73,1	+2,4
17	0,9	-1	106,3	+2,3
18	0,4	-1	64,7	+2,3
19	1,0	-1	98,9	+1,9
20	0,3	-2	23,6	+1,7
21	1,1	-3	80,8	+1,7
22	1,1	-1	40,0	+1,4
23	0,3	-4	59,4	+2,8
24	0,4	-1	200,6	+4,1
25	0,7	-6	343,2	+3,5
26	0,7	-4	216,4	+3,0
27	0,8	-4	117,9	+2,7
28	0,4	-4	86,3	+2,3
29	1,4	-5	175,6	+2,0
30	1,5	-2	95,2	+1,6

Vlakovi br. 32, 33, 34, 35 nisu za ovaj slučaj uzeti u razmatranje jer su im priključci izvedeni jednim stajalištem.

Iz priložene tabele možemo prvo lako uočiti da odstupanja u 70% slučajeva imaju isti predznak — minus. Mislim, da u ovom slučaju ne bi mogli ovu pojavu pripisati isključivo sistematskim greškama, jer nije dovoljan samo predznak kao indikator već moramo pogledati i na veličinu greške. One su u ovom slučaju veoma različite i ne pokazuju neke pravilnosti.

Iz srednjih pak grešaka vidimo da je točnost nivelanja cijele mreže podjednaka. Greške su veće kod kraćih vlakova što je i razumljivo usljed nepovoljnog utjecaja slučajnih pogrešaka. Međutim kod vlakova dužine cca 1 km postignuta je približna točnost od ± 2 mm/km što odgovara točnosti koju je dala firma za ovaj instrument. Srednja greška dvostrukg niveliranja za cijelu mrežu po stranama, a prema već spomenutoj formuli

$$M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[p d d]}{n}}$$

jednaka je:

$$\text{za glavnu mrežu } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3856,6}{150}} = \pm 2,6 \text{ mm/km}$$

$$\text{za sporednu mrežu } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2644,5}{80}} = \pm 2,9 \text{ mm/km}$$

$$\text{za cijelu mrežu zajedno } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{6501,1}{230}} = \pm 2,7 \text{ mm/km}$$

Srednja greška računata po vlakovima:

$$\text{za glavnu mrežu } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{566,1}{32}} = \pm 2,1 \text{ mm/km}$$

$$\text{za sporednu mrežu } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1233,5}{22}} = \pm 3,7 \text{ mm/km}$$

$$\text{za cijelu mrežu zajedno } M = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1799,7}{54}} = \pm 2,8 \text{ mm/km}$$

Povećana pogreška kod sporedne mreže rezultat je nepovoljnijeg terena i kraćih stanica.

Neslaganje pak u mreži iz zatvaranja figura i fiksnih uvjeta vidljiva je iz slijedeće tabele:

br. vlaka	u km	ostupanje u mm
1	1.8	+ 1
2	2.3	- 3
3	2.1	- 4
4	2.0	- 3
5	2.4	+ 5
6	2.5	+ 1
7	3.8	- 8
8	4.5	+ 2
9	3.2	- 4
10	2.1	+ 1
11	3.2	+ 3
12	2.3	+10
13	2.4	- 1
14	2.6	- 5
15	1.9	+ 2

Prema ovim rezultatima, a po formuli:

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{ff}{p} \right]}$$

gdje je n = broj uvjeta tj. figura u kojima su računate nesuglasice

P = dužina vlaka u km

f = nesuglasice u zatvaranju figura

računata je srednja greška koja iznosi za 12 figurinih uvjeta i obuhvatni poligon

$$M = \pm \sqrt{7,77} = \pm 2,8 \text{ mm/km}$$

Uključivši fiksne uvjete 13,14 i 15 dobijamo:

$$M = \pm \sqrt{6,56} = \pm 2,6 \text{ mm/km}$$

Kako vidimo fiksni uvjeti gotovo nisu utjecali na rezultate srednjih grešaka. Srednja slučajna greška iz zatvaranja svih mogućih formiranih figura u cjeljoj mreži jednaka je

$$M^2 = \frac{1}{37} \cdot 1054 = \pm 28.4$$

$$M = \pm 5.3 \text{ mm/km}$$

Povećana greška javila se uslijed većeg odstupanja u 5 zatvorenih poligona. Ako njih odbacimo onda se srednja greška smanjuje na

$$M = \pm 4.0 \text{ mm/km}$$

Iz analize srednjih grešaka, a koje su rezultat slučajnih pogrešaka vidimo, da je točnost za cijelu mrežu homogena.

Nakon izjednačenja u koje su uzeti u obzir i fiksni uvjeti sračunata je srednja greška na 1 km za dvostruko niveliranje prema formuli:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[p v v]}{K}} \text{ i dobijena je vrijednost}$$

$$m = \pm 3,1 \text{ mm/km}$$

Srednja greška izjednačenja u koje nisu uzeti fiksni uvjeti tj. rješenje je izvedeno za slobodnu mrežu jednaka je:

$$m = \pm 3,2 \text{ mm/km}$$

Praktički je srednja greška ostala ista.

Iz ovoga možemo zaključiti da je cijela mreža mjerena jednakom točnosti da fiksni uvjeti nisu imali negativnog utjecaja na rezultat izjednačenja i da je raspored grešaka nakon izjednačenja ostao u glavnom isti. Skoro je redovit slučaj da srednja greška nakon izjednačenja bude osjetno veća, jer sada uz slučajne greške dolaze do izražaja i sistematske greške. Da bi mogao analizirati djelovanje posebno slučajne greške i posebno djelovanje sistematske greške računao sam prema internacionalnim formulama utjecaj jedne i druge za slučaj izjednačenja iste mreže sa 15 uvjeta i 5 uvjeta. U prvom slučaju prosječna ukupna dužina niveliranih strana iznosi 21 km sa prosječnom dužinom vlakova cca 1,4 km dakle, više od dvostruko. Prema tome ako u niveliranju postoje zaista greške i sistematskog karaktera morale bi doći do izražaja. One bi se morale očitovati u dužim vlakovima tj. u drugom slučaju, kombinaciji izjednačenja u 5 uvjeta, dok bi greške slučajnog karaktera morale doći jače do izražaja u prvom slučaju tj. kod kraćih vlakova kombinacija izjednačenja sa 15 uvjeta.

Srednja slučajna greška:

$$\eta^2 = \frac{1}{4} \left[\frac{[\Delta\Delta]}{[L]} - \frac{[rr]}{[L]^2} \sum_1^n \frac{s^2}{L} \right]$$

za 15 uvjeta dobijamo

$$\eta^2 = \frac{1}{4} [22,95 - 0,008 \cdot 538,2] = 4,5$$

$$\eta = \pm 2,1 \text{ mm/km}$$

za 5 uvjeta

$$\eta^2 = \frac{1}{4} [23,3 - 0,015 \cdot 204,72] = 5,06$$

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

srednja sistematska greška:

$$\sigma^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{[L]} \cdot \sum_1^n \frac{s^2}{L}$$

za 15 uvjeta

$$\sigma^2 = \frac{1}{4} 0,049 \cdot 538,2 = 6,59$$

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

za 5 uvjeta

$$\sigma^2 = \frac{1}{4} 0,067 \cdot 204,7 = 3,4$$

$$\sigma = \pm 1,9 \text{ mm/km}$$

Kako vidimo razlike dobijenih veličina su neznatne i upućuju nas na ispravnost prijašnje pretpostavke u vezi jednostranog predznaka kod razlika niveliranja tamo i natrag za pojedine strane. Ova činjenica govori mnogo u prilog mehaničkog kompenzatora koji eliminira dovođenje mjehura cjevne libele u ispravan položaj, što je inače kod drugih nivelira vezano za opservatora, a time ujedno i za izvor personalne pogreške u ovom slučaju sistematskog karaktera.

Ako pogledamo srednje greške koje smo sračunali prije i nakon izjednačenja vidit ćemo da je vrijednost u srednjem veća za oko 1 mm/km od one dane od firme Zeiss za ovaj nivelir. Veća je i od rezultata postignutih u članku E. Wagener-a. Mislim da je razlog u tome što su upotrebljene letve na preklap često prije bile rastavljene i dosta istrošene. Usljed toga gornji dio letve tj. onaj iznad koljena, ne zauzima uvijek isti položaj. Drugi bi razlog bio vremenske okolnosti. Niveliranje je izvršeno u početku XII mjeseca 1956. g. dok je još bilo smrznuto i snijeg pokrivao poligone. Lako je pretpostaviti, da tanki sloj leda koji se i nakon čišćenja neminovno zadržao na poligonu i željeznoj šipci nije bio isti u jutro o podne i na večer. Pošto je nivelirano u dva smjera i u toku cijelog dana onda možemo pretpostaviti da je utjecaj ove okolnosti bio zaista osjetljiv. Uz sve to, ako uzmemo u obzir i zimu onda možemo zaključiti da je niveliranje izvršeno uz najnepovoljnije uvjete. Kad sada usporedimo rezultate izjednačenja uz ocjenu točnosti dobijenu sa NI 2, vjerujem da ćemo uočiti prednosti konstrukcije koje su osigurale uz loše terenske uvjete lak i brzi rad. Vjerujem da bi rezultati uz nešto povoljnije uvjete dali točnost koju je za ovaj instrument dala sama firma.

U spomenutim člancima detaljno je analizirana i brzina rada kod različitih duljina pravaca. Pošto smo imali ovaj nivelir već nekoliko godina na upotrebu i kontrolirali brzinu možemo svakako dodati kao potvrdu da u prosjeku i to bez većeg truda možemo postići efekat od 1,5—2 km na sat uz prosječne duljine vizura od 40—50 m. Danas se kod nas još ne koriste potpuno sve prednosti ovog instrumenta. Postignuta brzina u postavljanju i horizontiranju nivelira nije se odrazila i na poboljšanju i ubrzanju rada kod samih letava. To jest imamo jedan raskorak koji u mnogome nepovoljno utječe na brzinu niveliranja i prema tome na potpuno korištenje svih prednosti ovog instrumenta. Umjesto što bi morali kod duljih pravaca očekivati progresivno ubrzanje rada ono baš naprotiv dolazi do izražaja trenje koje izaziva disproporcionalnost napretka u radu sa instrumentom i letvama. Već kod dužina preko 20 m ako se zajedno seli i opažać i zadnja letva onda je već instrument postavljen horizontiran i očitana prednja letva sa zadnjeg stajališta, a figurant tek prolazi mimo opažaća prema novom stajalištu. Kako vidimo imamo osjetno čekanje i što su dulje vizure to je čekanje veće i prema tome veći gubitak na brzini, a i na točnosti. Mi smo u prosjeku postizali gubitak vremena po stajalištu oko 2 minute. Naravno govorimo o nivelanju u jednom pravcu. Prilikom nivelanja u jednom pravcu sa promjenom visine instrumenta postignuto je vrijeme po jednom stajalištu od oko 3 m i to u nepovoljnom terenu. Mišljenja sam da u sadašnjim uvjetima jedinu mogućnost za potpuno korištenje konstruktivnih prednosti

ovog instrumenta imamo u upotrebi 3 letve prilikom rada. Tako bi postigli da opservator već pri dolasku na stajalište ima već obe letve postavljene. Mislim da bi time ubrzali rad prema gore iznesenim podacima za preko 30% i time postigli učinak od oko 2—3 km nivelirane dužine na sat. U ovom slučaju morali bi posebnu pažnju posvetiti komparaciji letava, i njihovom izboru. Upotreba 3-ju letava ne omogućava kompenzaciju nejednakog početka letve, pa uklanjanje te pogreške moramo osigurati na drugi način.

Ovaj je instrument prvi put prikazan 1950. g. na izložbi u Kölnu. Prilikom proslave 100. g. geodetske službe Austrije 1956. g. bila je priređena u Tehničkom muzeju izložba. Na toj smo izložbi već vidjeli nove nivelire firme Zeiss-Opton NI 2 sa plan pločom i polucentim. letvama od invara. Jasno je da je time i točnost samog instrumenta mnogo pvećana. Uočili smo i jedno poboljšanje kod gledanja dozne libele, jedine na njemu. Zrake njene slike se prenose preko jednog zrcala paralelno sa durbinom u naše oko. Do sada smo morali libelu gledati odozgo što je bilo u pojedinim slučajevima prilično nezgodno. U toku rada s ovim niveliriom ispoljila se u nekoliko slučajeva konstruktivna mana samog konpenzatora. Naime uređaj može zatajiti tj. tangenta ne dolazi u ispravan položaj mimo toga što je udovoljen uvjet dozne libele. To se dešava usljed trenja u zglobnom četvorokutu koji je zapravo jedini mehanizam ovog instrumenta (vidi spomenute članke). Prema tome dok se taj nedostatak u potpunosti ne ukloni moramo biti oprezniji pri radu. Da tome doskočimo, a bez ikakve štete za točnost i brzinu, prije svakog čitanja dobro je ili lagano prstom udariti po durbinu ili što je sigurnije lagano pomaknuti jedan od dva podnožna vijka koja se nalaze u pravcu durbina. Podnožni vijak od kad smo horizontalirali instrumenat lagano pomaknemo najprije u smislu kretanja kazaljke na satu, a zatim obratno. Ako nam pri tome horizontalni konac mjenja položaj čitanja na letvi tj. ide gore ili dole bez titraja onda moramo jačim pomacima vijka aktivizirati kompenzator. Ako nam pak vizura lagano zatitra dokaz je da uređaj reagira i možemo vršiti normalno čitanje.

Postignuta točnost i brzina u radu sa ovim instrumentom svakako imaju i svoj odraz u osjetnom smanjenju terenskih troškova, jer ubrzavaju rad za oko 40—50% u odnosu na instrumente starije konstrukcije, a prema iznešenoj analizi gradske poligone mreže — Križevci postignuta točnost je svakako u granicama predviđenim našim pravilničkim propisima.