

## AUTOMATSKI NIVELIRI

Razvoj, principi konstrukcije i analiza utjecaja na tačnost mjerenja s posebnim osvrtom na nivelir WILD NA2

(Kraj)

Doc. Dušan BENČIĆ, dipl. inž. — Zagreb

### UTJECAJI NA TAČNOST MJERENJA SA AUTOMATSKIM NIVELIRIMA

Vrlo različiti i brojni faktori mogu utjecati na tačnost mjerenja sa automatskim nivelirima. Vrlo visoke tačnosti mjerenja koje se mogu postići sa ovim nivelirima uvjetovane su u prvom redu poznavanjem ovih faktora. Mi ćemo navesti značajnije.

#### A. INSTRUMENTALNI UPLIVI

##### 1. Nagib vertikalne osi

Kako smo istakli, kod nivelira s kompenzatorom vršimo osnovno horizontiranje pomoću dozne libele. Vizura se tada automatski postavlja horizontalno funkcijom posebnog optičkog dijela kompenzatora.

Međutim, uslijed pogreške u vrhunjenju dozne libele, kao i uslijed neizbježne pogreške u rektifikaciji dozne libele, dolazi kod svakog postavljanja nivelira do nagiba vertikalne osi slučajnog i sistematskog karaktera. Nagib vertikalne osi uzrokovat će u određenim slučajevima pogreške u mjerenjima visinske razlike u ovisnosti o veličini i smjeru nagiba ove osi.

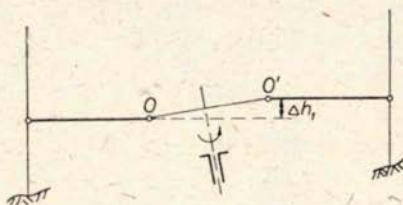
Pažljivim radom kod vrhunjenja libele, a posebno uz optički prenos slike mjehura, pogreška vrhunjenja može biti vrlo mala. Optički prenos slike mjehura, uklanja osim toga mogućnost pojave paralakse sistematskog karaktera između mjehura i centrirnog kružića. Međutim, tačnost izvođenja rektifikacije, i kod pažljivog rada ograničena je osjetljivošću libele (oko 8' do 15').

Sistematski karakter pogreške vizure pojavit će se u svakom onom slučaju, kada na svakom stajalištu ostaje položaj instrumenta prema smjeru mjerenja, kod vrhunjenja libele, nepromijenjen (ukoliko se u međuvremenu ne promijeni stanje rektifikacije). Npr. durbin u smjeru zadnje letve, kada vrhunimo doznu libelu u svrhu osnovnog horizontiranja.

Nagib vertikalne osi utječe na položaj vizurne osi uslijed dva osnovna razloga. To su ekscentrični položaj okretne tačke i pogreška faktora.

#### a) Ekscentrični položaj okretne tačke

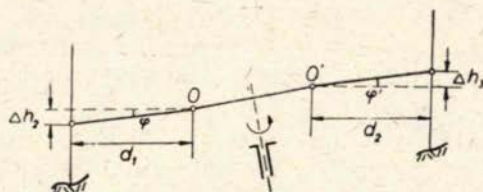
Ukoliko vertikalna os nivelira ne prolazi okretnom tačkom O, dolazi do translacije vizure (pomaka horizonta) pri zakretanju oko vertikalne osi koja je nagnuta za određen kut (sl. 19). Ovu pojavu možemo analogno usporediti sa ekscentričnim položajem horizontalne osi kod klasičnog nivelira sa elevacionim vijkom.



Sl. 19 Translacija vizure u vertikalnom smislu uslijed ekscentričnog položaja okretne tačke O ( $\varphi h_1$ ) kod automatskog nivelira

#### b) Pogreške faktora

Faktor kompenzacije teoretski je konstantna veličina neovisna o nagibu durbina. Praktički ovaj uslov, iz tehničko-proizvodnih razloga, kao i uslijed neizbježnih promjena, neće biti strogo zadovoljen. Uslijed toga, uz određen nagib durbina, neće doći do potpune kompenzacije — vizura će ostati nagnuta za kut  $\varphi$  (sl. 20).



Sl. 20 Utjecaj pogreške faktora kompenzacije

Zakretanjem oko nagnute vertikalne osi mijenjat će se nagib durbina. Time dolazi do promjene kuta  $\varphi$ , u ovisnosti o smjeru vizure.

Linearni iznos ove pogreške pri čitanju letve biti će ovisan o udaljenosti letve.

Ukupna pogreška visinske razlike iznosit će:

$$\Delta h_2 + \Delta h_3 \approx d_1 \widehat{\varphi} + d_2 \widehat{\varphi}$$

Što je faktor kompenzatora veći, to će uz ista odstupanja pogreška kompenzacije biti veća. U tom slučaju povoljniji su kompenzatori s manjim faktorom, ali ovi kompenzatori moraju biti bliži objektivu, što iziskuje veću kvalitetu optičkih ploha, slijedi, da i deformacije ovih



ploha, uslijed vanjskih upliva, uzrokuju i veće pogreške kompenzacije. Prednost u jednom vidu, mana je u drugom.

Utjecaj pogreške faktora na mjerenja možemo usporediti sa križanjem mjehura libele kod klasičnih nivelira.

Sveukupna pogreška u mjerenoj visinskoj razlici uslijed utjecaja pod a) i b) iznosit će:

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

U specijalnom slučaju može doći i do međusobne eliminacije ovih upliva.

Pogreške u mjerenoj visinskoj razlici su uslijed spomenutih uzroka uglavnom male, pa se većinom kod radova srednjih tačnosti mogu zanemariti. Međutim, kod preciznog nivelmana mogu dovesti do odstupanja koja su znatna u usporedbi sa tačnošću koja se u tim radovima traži. Istraživanja automatskog nivelira Zeiss NI2 su npr. pokazala, da već nagibi vertikalne osi od nekoliko lučnih minuta, mogu uzrokovati znatne promjene položaja vizurne osi (OCHSENHIRT, Zeitschrift f. Verm. 1956., str. 348, 372). To ukazuje da se ispitivanju ovih uzroka, kao i njihovom uklanjanju iz mjerenja, mora pokloniti potrebna pažnja.

Kod jednakog sistema rada sistematski upliv pogreške mogao bi se ukloniti uzimanjem sredine iz mjerenih visinskih razlika niveliranja napred—natrag, uz uvjet da su kod oba mjerenja pogreške rektifikacije ostale iste. Ali, kao što to kod terenskih mjerenja uvijek biva, u toku mjerenja stalno nastaju promjene u stanju instrumenta, prolaznog ili trajnog karaktera, u prvom redu uslijed prenosa, postavljanja na novo stajalište, promjena temperature, napetosti materijala, itd. Te su promjene najčešće male, te ih ne možemo ni konstatirati, niti rektifikacijom ukloniti. Nastaju li takove promjene posebno između niveliranja napred i natrag, to one dovode do odstupanja srednje vrijednosti visinske razlike, jer se sistematske pogreške više ne uklanjaju formiranjem sredine. To naročito dolazi do izražaja, ako se mjerenje jednog nivelmanskog vlaka napred—natrag ne izvodi neposredno u kratkom vremenskom razmaku, tj. pod istim uslovima.

Ovakav sistematski upliv u razlikama mjerenja napred—natrag stvara, osim toga, kod analize opažanja jednu nesigurnost, jer se iz ovih razlika, u tom slučaju, ne može zaključivati o tačnostima mjerenja visinske razlike.

Situacija u tom vidu postaje još kompliciranija, kad se mjerenje napred—natrag izvodi po različitim opažaćima, a najčešće istovremeno i — različitim instrumentima. U ovom slučaju sistematske pogreške ni ne možemo ukloniti.

Da bi se izbjeglo ove poteškoće, potrebno je mjerenja nivelmanskih vlakova provesti određenom metodom, po kojoj će pogreške vizure, uslijed pogrešaka kompenzacije, poprimiti karakter slučajne pogreške.

Metodom, predloženom po G. Förstneru (Zeiss Werkzeitschrift 1959/31), preporuča se, da se đurbin n a i z m j e n i č n o, prije vrhu-



njenja libele, usmjeri na zadnju letvu, odnosno prednju letvu, na idućem stajalištu. To znači, da kod primjene ove metode, uz normalnu primjenu dvije letve, uvijek na novom stajalištu prvo usmjeravamo durbin, vrhunimo libelu i očitavamo na istu letvu, a zatim usmjeravamo durbin i očitavamo drugu letvu. Na taj način i bez posebnog registriranja, ne postoji bojazan za zamjenu redoslijeda opažanja. To znači, da na svim neparnim stajalištima prvo očitavamo zadnju letvu, a na parnim prednju (kod tog se, kako je rečeno, nužno pretpostavlja, da se horizontiranje podnožnim vijkom izvrši u smjeru vizure durbina tj. prema letvi koju prvo čitamo).

Tu metodu mjerenja označimo simbolički:

Z P — P Z

Budući sume dužina vizura parnih i neparnih stajališta, nisu uvijek jednake, te smjer stranice preko instrumenta nije uvijek pravac, ostaju u tom slučaju, i kod ove metode pogreške, koje se, međutim, u većini slučajeva mogu zanemariti. Ipak, treba nastojati, da su dužine vizura susjednog parnog i neparnog postava po parovima jednake, te da su prelomi vlaka uzeti u tačkama postavljanja letve, a ne instrumenta.

Primjenom metode ZP—PZ, mjerenje napred—natrag može se provesti i u različito vrijeme, pogreške će biti slučajne naravi.

Förstnerova metoda dala je u praktičnoj primjeni vrlo dobre rezultate i u znatnoj mjeri pridonijela afirmaciji automatskih nivelira s kompenzatorima i u radovima preciznog nivelmana. Mjerenjima sa automatskim nivelirima, na taj način, mogli su se ustanoviti čak i oni utjecaji koji se nisu uočili pri mjerenjima sa klasičnim nivelirima. Npr. sistematska pozitivna odstupanja u zatvorenom nivelmanskom vlaku ( $[Z] - [P] > 0$ ). Uzrok ovom sistematskom odstupanju je, prema ispitivanju, u spuštanju letve uslijed težine, u intervalu između čitanja napred, odnosno natrag na idućem stajalištu. Dovoljno je spuštanje letve reda veličine 0,01 mm, pa da ovaj sistematski upliv ima osjetljiv utjecaj na rezultat mjerenja kod preciznog nivelmana. (Napomenimo, da je utjecaj spuštanja samog instrumenta eliminiran metodom mjerenja ZP—PZ).

M. Drodofsky zato kaže: »Čim više utjecaja djeluje na instrument, tim će više pozitivno odstupanje biti prekriveno i nastaje utisak nepravilnog predznaka pogreške vlaka. Ali upravo instrument sa libelom izložen je vrlo jakom uplivu promjena temperature. Prema tome je za očekivati, da se kod instrumenta s kompenzacijom jasnije ispoljava po prirodi nužan pozitivan predznak, nego li što je to slučaj kod nivelira sa libelom.« [5]

## 2. Histereza kompenzatora

Histereza kompenzatora uzrokuje pogrešku nultog položaja.

Pri svakom zakretanju oko vertikalne osi dolazi do pomaka njihala iz položaja mirovanja. Smjer otklona je pri svakom zakretu isti, pa se nakon prestanka zakretanja njihalo uvijek vraća s iste strane u položaj mirovanja. Taj povratak neće biti potpun, ostaje zaostatak otklona. Ovu pojavu nazivamo histerezom kompenzatora.



Pogreška djeluje analogno, kao i konstantno odstupanje glavnog uslova nakon rektifikacije nivelira s libelom. Kod jednakih vizura histereza kompenzatora, prema tome, ne bi imala utjecaja (ako se prije svakog čitanja vršio zakret).

Do histereze dolazi analogno i pri horizontiranju. Ako je zadnji zakret podnožnog vijka takav, da objektiv ide prema niže, vizura će uslijed histereze imati isti položaj, kao i nakon zakretanja oko vertikalne osi. U protivnom slučaju vizura dolazi u najviši granični položaj. S jednakom vjerojatnošću možemo očekivati pri tome jedan ili drugi slučaj. Sistematski upliv imati će samo zakret oko vertikalne osi.

Kako kod postavljanja instrumenta, prije prvog čitanja, obično zakret oko osi ne vršimo, to će sistematskom pogreškom biti opterećeno drugo čitanje. Zato se preporuča i prije prvog čitanja izvršiti zakret oko vertikalne osi, odnosno, prema Drodofskom, prije svakog čitanja  $1/8$  do  $1/4$  zakreta u oba smjera, što ne iziskuje nikakav produžetak u radu.

Pri mjerenjima po shemi ZP—PZ nisu potrebne posebne mjere zbog histereze, naročito ako su vizure približno jednake dužine.

Zbog jasnoće i egzaktnosti razmatranja spomenimo, da je histereza vremenska promjena nultog položaja nakon djelovanja zakreta. Približavanje njihala iz graničnog položaja u položaj mirovanja u ovisnosti o vremenu vrši se po eksponencijalnoj funkciji. Za ispravnost mjerenja potreban bi bio, teoretski, isti vremenski interval između zakreta i očitavanja. Praktički je vrijeme po postavljanju instrumenta na stajalište do prvog očitavanja nešto veća, pa se i iz tog razloga preporuča izvršiti odgovarajući zakret i prije prvog čitanja, tako da vremenski intervali između zakreta i očitavanja budu približno isti pri svakom čitanju letve. Ovi detalji imaju svoje značenje, naravno, samo pri preciznim mjerenjima.

Histereza nastaje pri svakom otklonu njihala. Ali njen će upliv ovisiti o veličini i trajanju otklona njihala. To bi teoretski vrlo komplikovalo razmatranja. No praktički možemo pretpostaviti maksimalne otklone njihala, na što ukazuje činjenica, da njihalo dolazi u granični položaj već pri brzini jednog zakreta u trajanju od 9 sek. Isto tako pri postavljanju instrumenta, zbog malog područja kompenzacije, njihalo se sigurno nalazilo u graničnom položaju.

Po analogiji sa klasičnim nivelirrom, mogli bismo histerezu usporediti sa »vučenjem« mjhura libele, s tom razlikom što pojava vučenja ima pri mjerenju najčešće slučajan karakter.

Utjecaj histereze kod ispitivanja nivelira WILD NA2 iznosio je  $\pm 0,5''$  do  $1,5''$ .

### 3. Položaj mehaničkog središta zakreta njihala

Ekscentričan položaj mehaničkog središta zakreta njihala prema normali na zrcalnu plohu u tački upadanja glavne zrake (analogno i kod drugih konstrukcija) uzrokuje pogrešku faktora kompenzacije.



#### 4. Položaj optičkih dijelova kompenzatora

Ako bi iz različitih uzroka došlo do promjene položaja optičkih dijelova ili čak do njihovog labavljenja, to bi uzrokovalo grube pogreške nultog položaja.

Uslijed eventualnih labavljenja niti, promijenit će se položaj kompenzacionog optičkog elementa, što će, također, uzrokovati grube pogreške kompenzacije.

Ako sumnjamo, da je pri transportu ili eventualnom padu instrumenta došlo do ovakvih poremećaja, izvesti ćemo prstom lagani udarac o kućište kompenzatora (najprije u vertikalnom, zatim u horizontalnom smislu). Pogreška postoji, ukoliko je došlo pri tom do promjene položaja vizure.

#### 5. Položaj leće izoštravanja

Kod svih durbina geodetskih instrumenata danas vršimo izoštravanje slike pomicanjem rastresnog dijela objektiva (tzv. unutrašnje izoštravanje slike — u opisima se izbjegava uobičajeni izraz: fokusiranje, jer on po optičkom terminu, odgovara samo izoštravanju na neizmjernost). Pomakom jednog dijela objektiva mijenja se i njegova žarišna daljina. Zbog toga, kod nivelira s kompenzatorom, ne samo da se mijenja položaj okretne tačke, već i sama jednadžba kompenzatora neće biti zadovoljena (zbog promjene  $f$ ), pa su neizbježne pogreške nultog položaja i faktora, ovisne o udaljenosti. Kod justaže nivelira podešava se faktor na konačnu udaljenost. Za ostale dužine mjernog područja dolazi zbog toga do izvjesnih promjena u položaju vizure.

Pogodnim optičkim proračunom ova pogreška se može svesti na zanemarive veličine (ako se ne radi o velikim razlikama dužine). Kod nivelira WILD NA2 ova pogreška iznosi maksimalno  $\pm 0,1$  mm.

Utjecaj ekscentričnosti leće na pomak vizurne osi analogan je kao i kod nivelira s libelama.

#### 6. Smetnje funkcije kompenzatora

Kompenzator je srce automatskog nivelira. I najmanje smetnje u njegovoj funkciji uzrokovat će pogreške mjerenja.

Zbog toga se montaža kompenzatora vrši vrlo pažljivo i uz naročitu čistoću.

Male čestice prašine ili djelići sa metalnih ploha, eventualna rđa, uzrokovat će, ukoliko se pojave u području zračnog sloja uređaja pri gušenju titranja, grube pogreške nultog položaja i faktora kompenzacije.

U najnepovoljnijem slučaju može doći do »ljepljenja« njihala u graničnom položaju uslijed djelovanja adhezionih i kohezivnih sila na kontaktnim slojevima. Uzrok ovoj pojavi su eventualne pogreške u strukturi materijala, kao i nečistoća kontaktnih ploha (naročito pojava masnog sloja, npr. uslijed dodira prsta).

Popravke automatskih nivelira možemo stoga povjeriti samo najstručnijim licima. Nestručno otvaranje i čišćenje samog kompenzatora može onesposobiti nivelir za svaki precizniji rad.



Svakako, možemo iz analize instrumentalnih upliva zaključiti, da je nivelir s kompenzatorom u nizu slučajeva osjetljiviji od nivelira sa libelama, da njegova rektifikacija glavnog uslova nije tako stabilna, pa je i češće potrebna provjera. Zato mjerenje, koliko god ono izgledalo jednostavno, treba provoditi sa odgovarajućom pažnjom i određenom metodičnošću.

Osnovna prednost nivelira s kompenzatorima je, međutim, u njihovoj reagiranju na vanjske uplive, naročito promjene temperature i potrese, a posebno u ekonomičnosti mjerenja.

## B. VANJSKI UPLIVI

### 1. Utjecaj promjene temperature

Temperatura je pri terenskim mjerenjima vrlo varijabilna. Zato je značajna prednost nivelira s kompenzatorima upravo neosjetljivost na ove promjene u određenim granicama istih.

U svrhu dobivanja detaljnijeg uvida u utjecaj promjena temperature, izvršit ćemo analizu kompenzatora WILD NA2, pretpostavivši maksimalne promjene od 70°C, a koristeći već izvedene relativne tačnosti.

a) Promjena dužine torziona i bifilarne niti

$$\Delta l = l \alpha_0 \Delta t$$

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_0 \Delta t = 7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 52,5 \cdot 10^{-5}$$

Za tačnost horizontiranja  $\pm 0,1''$  imali smo uvjet za torzionu nit (12):

$$\frac{\Delta l}{l} = 0,7 \cdot 10^{-5}$$

Dobivena relativna pogreška odgovara u ovom slučaju kutnom pomaku vizure za 7,5'' ( $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ ).

Za bifilarnu nit imali smo:

$$\frac{dh}{h} = 1,1 \cdot 10^{-5}$$

Time dobivamo pomak vizure 4,8'' ( $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ ).

b) Promjena razmaka upetih mjesta bifilarne niti

Na njihalu su upeta mjesta iz aluminijuma, a na plosnatom peru iz mjedi. Linearni koeficijent rastezanja aluminijuma je veći od mjedi i iznosi:  $\alpha_0 = 2,4 \cdot 10^{-5}$ .

$$\frac{\Delta e}{e} = \alpha_0' \Delta t = 168 \cdot 10^{-5} \quad (\Delta t = 70^\circ\text{C})$$

Za tačnost horizontiranja  $\pm 0,1''$  imali smo (12):

$$\frac{\Delta e}{e} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

Time dobivamo pomak vizure  $6,7''$

c) Promjena dužine njihala

Za zakretni moment njihala smo imali (12):

$$M_N = m g l \delta$$

Diferencijal ovog izraza, uz promjenljivu dužinu njihala  $l$ , iznosi:

$$d M_N = m g \delta \quad dl = m g l \delta \frac{dl}{l} = 0,25 \frac{dl}{l} \delta$$

Za odklon njihala do  $\delta = 0^\circ 34'$ :

$$\Delta N_N = 0,25 \frac{\Delta l}{l} 10^{-2}$$

Uz  $\Delta t = 70^\circ\text{C}$  za materijal od aluminijuma biti će:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_0 \Delta t = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 70 = 168 \cdot 10^{-5}$$

Slijedi:

$$\Delta N_N = 0,25 \cdot 168 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-2} \approx 4,2 \cdot 10^{-6}$$

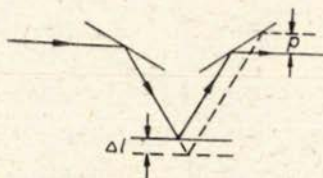
Imali smo (uz uvjet tačnosti horizontiranja  $\pm 0,1''$ ):

$$\Delta N_N = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ kp mm}$$

Iz toga zaključujemo, da će promjena momenta njihala, uz odklon  $\delta = 0^\circ 34'$  i promjenu temperature  $70^\circ\text{C}$ , uzrokovati pogrešku vizure od  $3,5''$ .

Tolerancije u mogućnosti justaže dozvoljavaju i 10 puta veće otklone.

Promjena dužine njihala uzrokovat će i pomak slike, a time i pomak vizure (sl. 21).



Sl. 21 Pomak vizure uslijed promjene dužine njihala

U našem slučaju, uz  $\Delta t = 70^\circ\text{C}$ , ovaj će pomak iznositi:

$$p = 18 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 70 \approx 0,03 \text{ mm}$$



Uz žarišnu daljinu objektiva  $f = 264 \text{ mm}$ , nastaje pogreška vizure:

$$\varepsilon'' = \frac{p}{f} q'' = 24'' (\Delta t = 70^\circ \text{C})$$

Pogodnom konstrukcijom kućišta kod NA2 znatno je kompenziran ovaj utjecaj.

d) Promjena dužine durbina

Cijev durbina kao i nosači leća izrađeni su od mjedi. Promjenom temperature doći će do povećanja razmaka između objektiva i kompenzatora, uz  $\Delta t = 70^\circ \text{C}$ , za iznos:

$$\Delta a = a \alpha_0 \Delta t \approx 210 \cdot 18,4 \cdot 10^{-6} \cdot 70 \approx 0,27 \text{ mm}$$

Usljed promjene veličine  $a$  doći će, prema jednadžbi kompenzatora, do promjene faktora kompenzacije.

Iz jednadžbe kompenzatora:

$$a = f \frac{k-1}{k}, \quad \text{slijedi:} \quad k = \frac{f}{f-a}$$

Ako sada tražimo promjenu faktora  $k$  u ovisnosti o promjeni razmaka između objektiva i kompenzatora, izrazimo diferencijal ove funkcije:

$$dk = \frac{f}{(f-a)^2} da = \frac{k}{f-a} da$$

U našem slučaju:  $f = 264 \text{ mm}$ ,  $k = 6$ ,  $a = 210 \text{ mm}$ ,  $\Delta a = 0,27 \text{ mm}$ , pa uvrštenjem dobivamo:

$$\Delta k = 0,030$$

Za područje kompenzacije:  $\alpha \leq \pm 10'$ , ova promjena će uzrokovati pogrešku kompenzacije u iznosu:

$$\Delta \beta = \Delta k \alpha \leq 0,30 \leq 18'' / \Delta t = 70^\circ \text{C}$$

I ovo nam ukazuje na nužnost što tačnijeg osnovnog horizontaliranja.

e) Utjecaj na elastična svojstva niti i pera

Promjena temperature utječe i na elastična svojstva. Kako su ova svojstva bitna za ispravnu funkciju kompenzatora, to je izboru legure i ispitivanjima, upravo na promjene temperature, bila poklonjena posebna pažnja. Ispitivanja su pokazala, da se sa legurom nivarox-a, uz promjene temperature u terenskim uslovima, može vrlo lako postići tražena relativna tačnost modula (12):

$$\frac{dE}{E} = 0,5 \cdot 10^{-5}$$



f) Promjene temperature mogu uzrokovati i cirkulaciju zraka u kućištu kompenzatora. Uslijed toga može doći do pogreške nultog položaja.

Za vrijeme izjednačavanja većih razlika temperature (npr. instrument se prenosi iz prostorije u terenske uslove) treba pričekati sa mjerenjima, dok instrument približno ne poprimi temperaturu okoline.

## 2. Utjecaj vlage

Pojave kondenzacije na njihalu, posebno nakon naglih promjena temperature i vlage, mogu uzrokovati promjenu momenta njihala, a time i faktora kompenzacije.

U normalnim atmosferskim oklonostima mjerenja, ova pojava neće imati nikakvog utjecaja na tačnost mjerenja.

## 3. Mehanički utjecaji

Specijalni čelik, kao materijal za niti ili opruge kompenzatora, unatoč nekih vrlo dobrih svojstava (naročito na naprezanja, uslijed povoljnije granice elastičnosti), nije pogodan, zbog osjetljivosti na temperaturne promjene i magnetske uplive. Legure, kao što je i nivarox imaju, međutim, neke druge nedostatke. Legura nije homogena. U kristalnoj strukturi postoje uvijek unutrašnje napetosti. Što su one ravnomjernije raspodijeljene na čitavo područje, to se materijal vlada, kao homogeniji. Svako oštećenje ove homogenosti vanjskim mehaničkim silama, može uzrokovati promjene elastičnih svojstava, a koja su bitna za ispravnu funkciju.

Mehanički utjecaji pojavljuju se prije, za vrijeme i poslije montaže kompenzatora.

Prije montaže mogu se niti, uslijed prenošenja deformirati. Zato se u tvornici, neposredno prije montaže ispituje njihova ispravnost pomoću optičkih uređaja (npr. WILD NA2).

Pri samoj montaži ne mogu se izbjeći, uslijed potrebe pričvršćivanja niti, pojave napona. Ove, međutim, uklanja specijalista-monter specijalnom toplinskom obradom.

Na taj način, stručnom montažom ovih osjetljivih niti, izbjegnuta je svaka opasnost oštećenja ili deformacija i osigurana potpuna ispravnost funkcije.

Ovo također i ukazuje, da nestručna lica pri popravku instrumenta, mogu potpuno oštetiti ispravnost funkcije kompenzatora.

Mehanički utjecaji nakon montaže, pri radu na terenu, neće imati posljedica, unatoč primjene i osjetljivijih niti (nivarox), ukoliko se kreću u granicama i uvjetima normalnog ophođenja i pažnje prilikom transporta i rada, kao što je to slučaj i sa svakim drugim instrumentom.

Instrument se u tu svrhu i posebno ispituje nakon završene montaže u samoj tvornici.

Kompenzator je osjetljiv mehanizam, ali proračunat i ispitan i otporan na djelovanja sila koje se pojavljuju u toku normalnog transporta i terenskog rada.



Kompenzator brzo reagira na svaki poremećaj, ali, što mu je i vrlo važna prednost pred libelom, brzo se smiruje. Ako se nivelir s kompenzatorom primjenjuje u području saobraćajnica i ako je frekvencija poremećaja, uslijed prometa takova, da se titraj priguši, s ovim niveliranjem će mjerenje tada biti vrlo jednostavno, za razliku od nivelira s libelama.

Karakteristično je kod poremećaja u području frekvencije 1 do 20 Hz, što su stativi na njih vrlo osjetljivi, te dolazi do titranja stativa. Do ove pojave može doći i pri mjerenjima u blizini gradnja, mašinskih hala, ili uslijed djelovanja vjetra.

Ove smetnje možemo spriječiti tako, da u prvom redu izaberemo stajalište instrumenta na mjestima, gdje se stativ može čvrsto utisnuti. Time je staviv upet, pa su štetne smetnje prebačene u područje viših frekvencija. Dolazi li do titranja stativa, to se dvije noge stativa lagano prihvate rukama i time titranje priguši. Ovaj zahvat, inače zabranjen kod nivelira s libelama, u ovom slučaju je vrlo koristan, jer kompenzator održava horizontalnost vizure.

Kod radova u mašinskim halama, gdje dolazi do potresa, kao i djelovanja zvuka, može uz pojavu viših frekvencija, doći i do pojave rezonancije, pa je u tom slučaju tačno mjerenje nemoguće. Kako visina frekvencije ovisi o udaljenosti, usmjerenju i položaju stativa, može se pokušati izbjeći nepovoljne frekvencije pogodnim izborom mjesta. U protivnom slučaju, u ovakovim uvjetima, prednost će imati niveliri s libelama, jer libela tromije reagira na ove utjecaje.

#### 4. Magnetski utjecaji

Pri upotrebi feromagnetskih materijala ne može se izbjeći izvjesna osjetljivost kompenzatora na magnetske utjecaje.

Ako kompenzator dolazi u magnetsko polje, doći će do izvjesnog pomjeranja vizure, u ovisnosti o jakosti polja. Ovo pomjeranje znatno ovisi i o smjeru magnetskih silnica i različito je za svaki tip kompenzatora.

Ukoliko se nađemo u blizini stacionarnih magnetskih polja, možemo, zbog toga računati na pogreške vizure. Ovakova polja pojavljuju se i u blizini vodiča istosmjernih struja.

#### 5. Utjecaj geografske širine i nadmorske visine

Akceleracija sile teže mijenja se u ovisnosti o geografskoj širini ( $\varphi$ ) i nadmorskoj visini (H):

$$g = 980,629 \left( 1 - 0,00264 \cos^2 \varphi - 2 \frac{H}{R} \right) \quad R = \text{radijus zemlje}$$

Kako o veličini  $g$  ovisi težina njihala, kao i njegov moment zakreta, to će na taj način promjena geografske širine i nadmorske visine utjecati na promjenu faktora kompenzacije.

Praktički će osjetljiv utjecaj imati samo velike promjene. Zbog toga je samo u specijalnim slučajevima potrebna naknadna justaza faktora, što je moguće kod nivelira WILD NA2.



**ZAKLJUČAK.** — U kraćem prikazu opisan je razvoj automatskih nivelira i istaknut značaj suvremenih nivelira s optičkim kompenzatorima na principu njihala. Uz principe konstrukcije istaknute su i njihove osobine, kao i nedostaci. Kompenzator je bez sumnje vrlo uspješno zamijenio libelu klasičnog nivelira, što dokazuje i afirmacija ovih nivelira, ne samo u ekonomičnosti mjerenja, već i u postignutim tačnostima. Međutim, kompenzator je finoćom svoje konstrukcije i specifičnim svojstvima unio i neke nove probleme kod mjerenja, koji su bili nepoznati kod klasičnih nivelira. Ma koliko mjerenje bilo jednostavno, stručnjak mu mora pristupiti sa potrebnom pažnjom i metodičnošću, ukoliko se radi o preciznim mjerenjima. Iz tog razloga opisani su i različiti instrumentalni i vanjski uplivi. Naravno, u konkretnom slučaju, nemoguće je odrediti splet njihovih uzajamnih djelovanja i konačnu rezultantu. Za stručnjaka, koji mjeri sa instrumentom, važno je, da iz teoretskih razmatranja upozna značaj pojedinih upliva i da mjerenja vrši uz optimalno korištenje njegove kvalitete. Poznavajući dobra svojstva i nedostatke instrumenta, stručnjak će u danim uslovima ocijeniti mogućnosti i odabrati odgovarajuće metode rada.

Automatski niveliri s kompenzatorom, uz današnje mogućnosti tvornica geodetskih instrumenata sa vanredno razvijenim tehničkim postrojenjima i uređajima za ispitivanja, nesumnjivo su danas u rukama stručnjaka pouzdano sredstvo za ekonomično i precizno niveliranje. Sigurno je, da im pripada i budućnost.

#### LITERATURA

- (1) Deumlich—Seyfert: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. — Berlin 1957.
- (2) O. Hirsch: Zur Entwicklung von Nivelierinstrumenten mit automatischer Horizontierung, Vermessungstechnik 1956/5.
- (3) W. Schneider: Über die Entwicklung neuzeitlicher Nivelliere insbesondere solcher mit automatischer Horizontierung, Vermessungstechnische Rundschau 1953/8,9
- (4) J. Krötzl: Probleme der Ziellinienstabilisierung durch ein astasiertes Pendel, Schweiz. Zeit. für Verm. 1963/2,3,4.
- (5) M. Drodofsky: Einseitige Abschlussfehler im Präzisionsnivellement, Opton-Informationen 1965/1.
- (6) Čubranić: Viša geodezija, I dio.

#### ISPRAVAK

U prošlom broju Geodetskog lista 4—6/1967. omaškom je ispod slike 14 na stranici 76 izostalo:

1. kor. vijak faktora kompenzacije — 2. zrcalo dozne libele — 3. poklopac — 4. kor. vijak nultog položaja — 5. dozna libela.

Na str. 77, drugi red treba umjesto: sl. 13, 1 staviti: *sl. 14, 1*

„ „ 77, peti red treba umjesto: sl. 12,4 staviti: *sl. 14,4*

Na str. 81 u pretposljednem redu izostala je oznaka kor. vijka, pa isti treba glasiti: *Djelovanjem na kor. vijak 7 (sl. 15), odnosno 1 (sl. 14) mijenjamo veličinu sile P.*