

UDK 528.541.2
Pregledni članakPRECIZNI KOMPENZATORSKI NIVELIRI FIRME CARL
ZEISS JENA I AUTOMATIZACIJA U NIVELMANU

Vladeta MILOVANOVIĆ, Stevan TODOROV — Beograd*

SAŽETAK: Opisana je koncepcija i optičko-mehanička konstrukcija preciznog kompenzacijskog nivelira Ni 002. Istaknute su posebnosti ovog nivelira, koje omogućuju značajno povećanje produktivnosti primenom metode motorizovanog nivelmana. Izvršena je provera hipoteze o jednakosti uglova i_1 i i_2 . Ispitivana je temperaturna zavisnost tih uglova. Konstatovana je promenljivost pri hlađenju odnosno zagrevanju, ali i praktična nezavisnost pri uspostavljanju stacionarnog stanja. Dati su podaci o magnetskom uticaju i korekciji za taj uticaj. Opisane su nove forme ovog nivelira: Ni 002A i RENi 002A. Razmotreni su pravci razvoja u oblasti automatizacije u nivelmanu.

UVOD

Kompenzatorski niveliri različitih firmi u upotrebi su već više decenija. Međutim, tek od 70-ih godina pojavljuju se precizni kompenzatorski niveliri predviđeni i za NVT, kao što su Ni 002 firme Zeiss Jena, Ni 1 firme Zeiss Oberkochen i Ni A3 firme MOM. Između tih instrumenata nivelir Ni 002 pokazao se najboljim, što mu je omogućilo svetsku rasprostranjenost. Od interesa je istaći da ima široku primenu u najrazvijenijim zemljama sveta [2], [4], [16], [17], [18]. Konstrukcija nivelira Ni 002 pokazuje nekoliko originalnih rešenja, koja su doprinela povećanju tačnosti merenja, ali i produktivnosti rada, pre svega omogućavanju ostvarivanja metode motorizovanog nivelmana, koja je uvedena u široku primenu u nekoliko zemalja.** U našoj zemlji brojne radne organizacije i ustanove poseduju nivelir Ni 002 i iskustva sa tim instrumentima su pozitivna. Međutim, javljaju se primedbe na servisnu službu u SR Srbiji, jer se slučajevi rđavog funkcionisanja pojedinih delova instrumenata, koji nisu retki, ne rešavaju brzo i efikasno.

* Prof. dr Vladeta Milovanović, Stevan Todorov, dipl. inž. Institut za geodeziju, Građevinski fakultet, Beograd, Bul. revolucije 73.

** Pored primene u nivelmanu nivelir Ni 002 našao je primenu i u geodetskoj astronomiji: Milovanović S. V., Vasiljev A. V.: Bestimmung von Lotabweichungspunkten mit einem Zeiss Ni 002 Astrolab mit Motor-Mikrometer, Mitt. des Lohrman-Observatoriums der TU Dresden, Nr. 56.

Međutim, nivelir Ni 002 skoro i nije prisutan u našoj stručnoj literaturi. Verovatno se objašnjenje za to nalazi u stagnaciji radova na NVT-u, kako u pogledu periodičnih nivelmana za održavanje mreže NVT i izučavanja savremenih kretanja zemljine kore, tako i u pogledu rada na test-poligonima i geodinamičkim poligonima. Uslovljeno ovom stagnacijom imamo i odlaganje primene metode motorizovanog nivelmana u našoj svakodnevnoj praksi.

Autori su bili u prilici da svojim iskustvom i istraživanjem potvrde pozitivne osobine nivelira Ni 002 [7] i smatraju korisnim da na to ukažu stručnoj javnosti. U međuvremenu firma Zeiss iznela je na tržište dve nove forme ovog nivelira: Ni 002A i RENi 002A, koji sigurno zaslužuju pažnju stručne javnosti [8], [9].

2. PRECIZNI KOMPENZATORSKI NIVELIR Ni 002

2.1. *Koncepcija instrumenta*

Pri konstrukciji nivelira Ni 002 trebalo je zadovoljiti zahteve:

- značajno povećanje ekonomičnosti,
- pogodnost za primenu motorizovanog nivelmana i
- povećanje tačnosti.

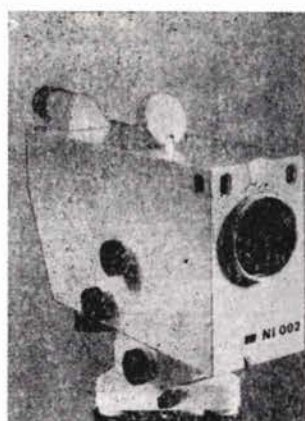
Ovim je zahtevima odgovoreno ostvarenjem principa stabilizacije nagiba vizurne ose sa tzv. kvazi apsolutnim horizontom. Na taj je način ostvareno značajno povećanje ekonomičnosti i povećanje merne tačnosti sa jednovremenim smanjenjem uticaja sistematskih grešaka.

Sa kvazi apsolutnim horizontom prestaje potreba za stacioniranjem, tj. određivanjem mesta za instrumenat i letve, a time je olakšana i primena motorizovanog nivelmana. S druge strane, kvazi apsolutni horizont eliminiše greške usled ugla »i«, prisutne kod drugih ranijih nivelira. Ovo eliminisanje temelji se na primeni dve vizurne ose sa nagibima i_1 i i_2 prema horizontu, pa se tako ostvaruje vizurna osa sa nagibom $i_p = (i_1 + i_2)/2$. Po konstrukciji važi $i_1 = -i_2$. Smanjeno vreme zadržavanja na staciji pri primeni kompenzatorskih nivelira doprinosi smanjenju grešaka srazmernih proteklom vremenu.

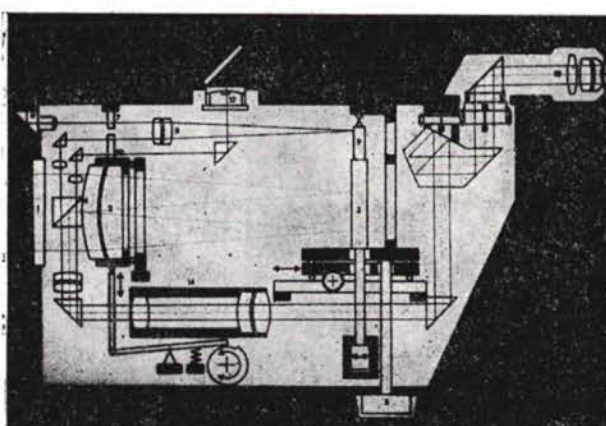
2.2 *Mehanička i optička shema nivelira Ni 002*

2.2.1 *Mehanička konstrukcija*

Nivelir Ni 002 (sl. 1) kompaktne je zatvorene konstrukcije. Svi funkcionalni elementi, uključujući i mikrometar za fino pomeranje, nalaze se unutar oklopa instrumenta. Zavrtnji za fokusiranje, mikrometar i horizontalno kretanje postoje obostrano. Zavrtnji za fokusiranje imaju mogućnost grubog i finog fokusiranja. Kao posebnu novost nivelir ima jedan pokretni okular sa automatskim ispravljanjem slike u celom opsegu kretanja od preko 180°. Pokretni okular zajedno sa obostrano postojećim zavrtnjima dopušta merenje visinske razlike bez promene mesta opažača, što je korisno kod motorizovanog nivelmana. Prozirna centrična libela se odslikava zajedno sa mikrometerskim čitanjem u ravni slike durbinova okulara, tako da se za vreme celog merenja opaža kroz isti okular (sl. 2). Na donjoj strani nivelira kod okulara nalazi se preklonik kompenzatora (5) za postavljanje kompenzatora u 2 položaj (sl. 2).



Slika 1. Ni 002 — spoljni izgled



Slika 2. Ni 002 — princip optičkomehaničke konstrukcije

2.2.2 Optička konstrukcija

Optička konstrukcija prikazana je na sl. 2. Sistem durbina sastoji se od objektiva (2), ravnog ogledala koje je postavljeno na polovini žižne daljine objektiva (3) i končanične pločice, koja je čvrsto postavljena na objektiv (4). Ravno ogledalo obešeno je kao klatno i služi jednovremeno za fokusiranje.

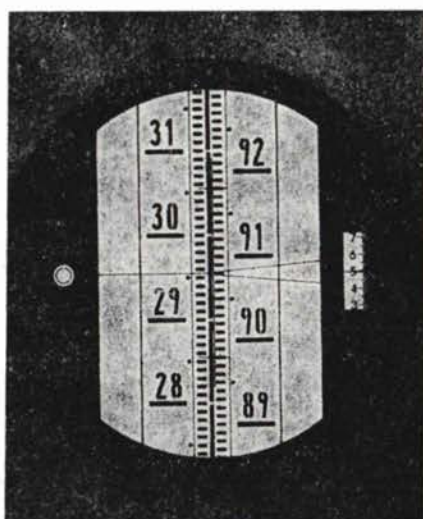
Objektiv, končanična pločica i klatno-ogledalo stvarni su merni sistem durbina. Celokupna druga optika, koja se sastoji od skretnih prizama i telesistema (14) sa kojim se preslikava končanična pločica (4) u ravan slike okulara (13), čini zajedno sa okularom optiku za opažanje. Ova optika za opažanje nema nikakav uticaj na položaj vizurne ose; ona je u ovom pogledu neosetljiva na dejustiranje. U ravni slike okulara (13) jednovremeno se odslikavaju mikrometerska skala (10) i centrična libela (12).

Kod Ni 002 takođe je prvi put umesto inače uobičajenog mikrometra sa planparalelnom pločom primenjen princip jednog objektivmikrometra. Glavna prednost ovakvog mikrometra sastoji se u tome da nema greške hoda koja može da nastupi pri primeni mikrometra sa planparalelnom pločom, u zavisnosti od nagiba planparalelne ploče. Mikrometersko dejstvo ostvareno je time što je objektiv durbina, postavljen u vodicama sanki, pokretljiv upravno na vizuru. U vodicama sanki kruto vezana sa objektivom nalazi se mikrometerska skala (10). Ovaj raspored obezbeđuje primenu, sa gledišta teorije grešaka, povoljnog Abeovog komparatorskog principa. Hod zrakova mikrometra vodi, posle ulaska svetlosti u prizmu za osvetljenje (6), od indeksa mikrometra (7) preko objektiva (8) i ogledala (9) vezanog za klatno na mikrometersku skalu (10). Vođenje mikrometerskog hoda zrakom preko klatna-ogledala ima za cilj da eliminiše grešku prouzrokovanu položajem analaktičke tačke.

2.2.3 Princip stabilizacije vizurne linije i kvazi apsolutnog horizonta

Za osnovnu koncepciju bili su merodavni sledeći zahtevi:

— princip klatna i kompenzacije, koji će teoretski i praktično obezbediti najbolju moguću kompenzaciju nagiba vizurne ose za precizna merenja.



Slika 3. Ni 002 — vidno polje durбина

— konstantnost vizure $i_R < 1''$ u celokupnom opsegu temperature i nagiba, tj. jedan kvazi apsolutni instrumentski horizont nezavisno od spoljašnjih uticaja (temperatura, potresi).

Tehnička realizacija izvedena je pomoću osnovnog optičkog sistema na sl. 2. i sledećih posebnosti:

— ravno ogledalo kao klatno obešeno na polovini žižne daljine $\left(\frac{f}{2}\right)$ daje egzaktnu automatsku kompenzaciju nagiba vizure sa multiplikacijskim faktorom za klatno:

$$\nu = \frac{\beta}{\alpha} = -1$$

Faktor ν rezultuje iz poznatog osnovnog uslova za stabilizaciju ose kod nivelira: $(f \cdot \alpha) = -(g \cdot \beta')$, gde su:

f — žižna daljina

α — nagib instrumenta

g — odstojanje kompenzatora od končаницe

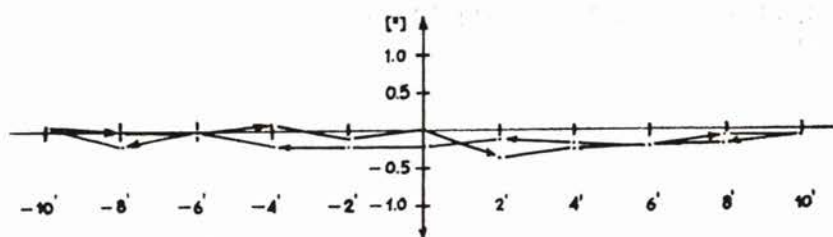
β' — pomeranje zraka kompenzatora

$$\beta = \beta'/2.$$

Ovaj kompenzacijski uslov, koji važi za odstojanje objekta $S = \infty$, biva kod Ni 002 ispunjen i kod svih drugih odstojanja objekta na osnovu činjenice da se sa klatna ogledanjem jednovremeno vrši i fokusiranje. Sa time u vezi je od interesa položaj analitičke tačke za merenje visina, tj. visina nezavisne tačke naginjanja optičkog kompenzacijskog sistema. Za precizni nivelir važi da mu analitička tačka za merenje visina leži u glavnoj osovini instrumenta, jer u protivnom visinska razlika na stanici ima sistematsku grešku u zavisnosti od nagiba instrumenta. Kod Ni 002 nalazi se analitička tačka visinskog merenja ne na

glavnoj osovini, već u glavnoj ravni objektiva, koja se nalazi na strani predmeta. Time prouzrokovana greška biva, međutim, automatski kompenzirana sledećim uređajem: hod zrakova klatna ide preko klatna-ogledala, koje je čvrsto vezano sa klatnom durbina; tehnički podaci hoda zrakova mikrometra izračunati su tako da zbog položaja analitičke tačke za visinska merenja prouzrokovana greška, zavisna od nagiba instrumenta, biva automatski kompenzirana »korigovanim« mikrometerskim čitanjem. Analitička tačka za merenje visina i analitička tačka za merenje odstojanja kod ovog se kompenzacionog sistema ne poklapaju; analitička tačka za merenje dužina nalazi se u prednjoj žiži objektiva durbina. Međutim, položaj ove tačke nije od značaja za jedan precizni nivelir.

Tačnost stabilizacije vizure u opsegu nagiba $-10' \dots +10'$ prikazana je na slici 4.



Slika 4. Ni 002 — tačnost stabilizacije vizurne ose u opsegu nagiba $-10' \dots +10'$ pri promenama nagiba u 2 smera

Konstantnost nagiba vizurne linije od $i_R < 1''$ postiže se primenom klatna-ogledala i metodom merenja. Princip rešenja za konstantnost vizure kod Ni 002 temelji se na osnovnoj misli da se metodom merenja eliminiše postojeći preostali (posle rektifikacije) ugao »i« (ugao između vizurne ose i horizonta). Za ovu svrhu klatno-ogledalo može da se okrene za 180° oko svoje podužne osovine pomoću preklopnika. Srednja vizurna osa za položaje ogledala 1. i 2. daje kvazi apsolutni horizont instrumenta.

Kontrola i rektifikacija kvazi apsolutnog horizonta izvodi se po jednoj specijalnoj metodi, koja omogućava da se apsolutna greška nultačke dovede na $i_R < 1''$. Rektifikacija na instrumentu izvodi se na klinastom zaštitnom staklu (1). To se staklo jednom namesti u laboratoriji i korisnik ne treba to da ponavlja.

1. Praktično ne može da nastupi dejustiranje vizurne ose, pa na taj način otpadaju, inače uobičajene, redovne kontrole i rektifikacije.
2. Otpada potreba stacioniranja na decimetar, što je od posebnog značaja za primenu motorizovanog nivelmana.
3. Nije potrebna zaštita nivelira od Sunca za vreme merenja.

Međutim, iskustvo pokazuje da ipak nastupaju značajne derektifikacije, odnosno uglovi i_1 i i_2 , poprimaju usled derektifikacije vrednosti koje dostižu i više desetina sekundi.

2.3 Ispitivanje stepena ostvarenja kvazi apsolutnog horizonta

Kao što je ranije rečeno, kvazi apsolutni horizont dobija se kao srednja vizurna linija za položaje: 1., 2. Vizurne linije za položaje 1. i 2. zaklapaju sa horizontom uglove i_1 i i_2 , koji su po pretpostavci istog apsolutnog iznosa a suprotnog znaka. Prema tome, kao mera ostvarenja kvazi apsolutnog horizonta služi odstupanje srednje vizurne linije od horizonta, tj. preostali ugao i_R , koji je sredina iz uglova i_1 i i_2 . ($i_R = (i_1 + i_2)/2$).

Rezultate jednog ispitivanja stepena ostvarenja kvazi apsolutnog horizonta nalazimo kod Hüthera (1973). Ispitivana su tri nivelira, koja su podvrgnuta različitim uticajima (potres, temperatura). Opseg temperaturnih promena iznosio je $\Delta t = 70$ deg. Za sve vreme ispitivanja ni kod jednog nivelira nije preostala vrednost ugla i_R bila veća od $1''$.

U Institutu za geodeziju u Beogradu izvršeno je ispitivanje jednakosti uglova i_1 i i_2 za dva nivelira Ni 002 pri $t = 0^\circ\text{C}$ i dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 1.

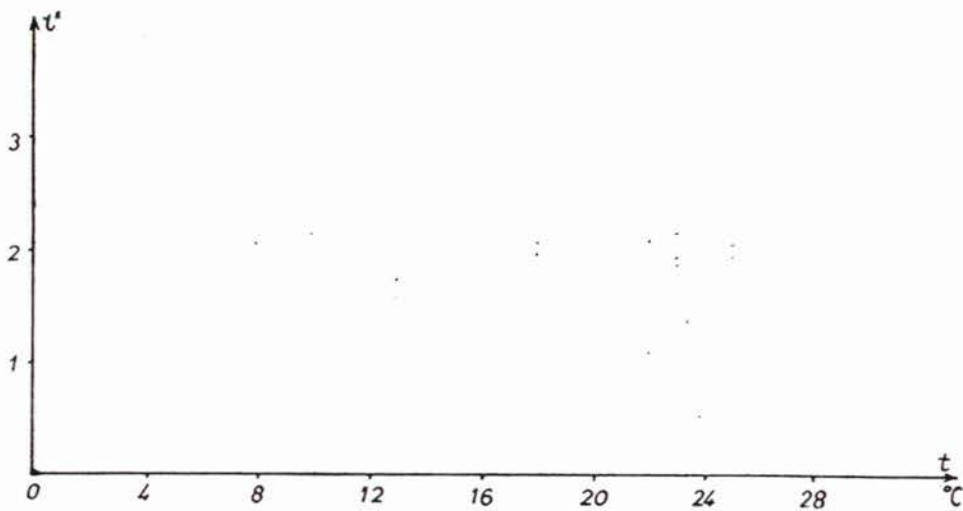
Tabela 1

Instrument Ni 002	i_1	i_2	i_R
N° 456686	-0''41	0''37	-0''02
N° 460131	-68''50	68''51	0''01

2.4 Temperaturska zavisnost ugla »i« nivelira Ni 002

Ispitivanja o kojima je saopštio Hüther (1973) pokazala su temperatursku nezavisnost kvazi apsolutnog horizonta za kriterijum $i_R < 1''$. Međutim, za primene nivelira samo u jednom položaju od interesa je i temperaturska zavisnost uglova i , odnosno i . S obzirom na pokazanu jednakost uglova i_1 i i_2 , smatralo se da je za ispitivanje rečene zavisnosti dovoljno posmatrati veličinu $i = \rho'' (l_2 - l_1)/2d$, gde su l_2 i l_1 čitanja na letvi za prvi i drugi položaj nivelira. Približno može se smatrati da je $i = (i_1 - i_2)/2$. Određivanja su izvršena u Laboratoriju za metrologiju Instituta za geodeziju u Beogradu. Nivelir se (N° 456686) pre merenja na pojedinim temperaturama nalazio 2 i više časova, a temperature su ostvarivane isključivanjem grejanja. Određivanja su raspoređena na više dana, a rezultati su prikazani na sl. 5. Razlike vrednosti veličine i u temperaturskom opsegu $8^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$ su u granicama od $1''$. Linearna regresija daje ocenu za promenu vrednosti i po gradu temperature od $\hat{\sigma}_i = 0,007''/\text{grad}/i$ $\hat{\sigma}_i = 0,015''/\text{deg}$.

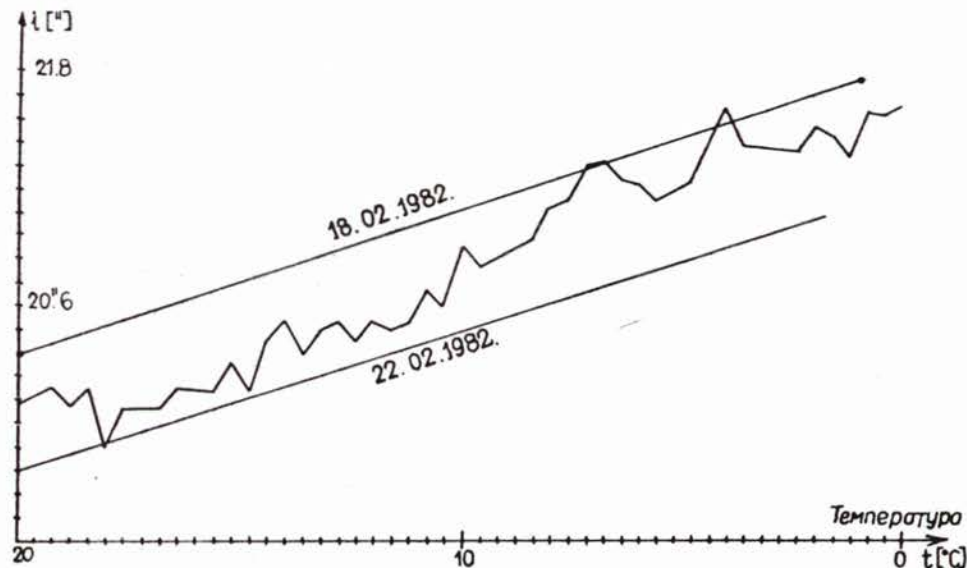
Jedno drugo ispitivanje temperaturske zavisnosti vizurne linije izvršeno je u Štutgartu u Višoj tehničkoj školi — Odsek geodezije, o kome smo obavestili ličnim saopštenjem profesora Stobera. Temperaturska promena ostvarena je tako što je nivelir (Ni 002 N° 457002) za vreme noći stajao u prostoriji sa temperaturom od circa 20° , pa je izložen hlađenju na spoljnu temperaturu do circa 0°C , a za to je vreme određivan ugao »i«, čije su vrednosti prikazane na slici 6. izlomljenom linijom. Pored toga izvedena su određivanja po Näubauerovom



Slika 5. Zavisnost veličine i od stacionarnih temperaturskih stanja (Nivelir Ni 002, No 456686)

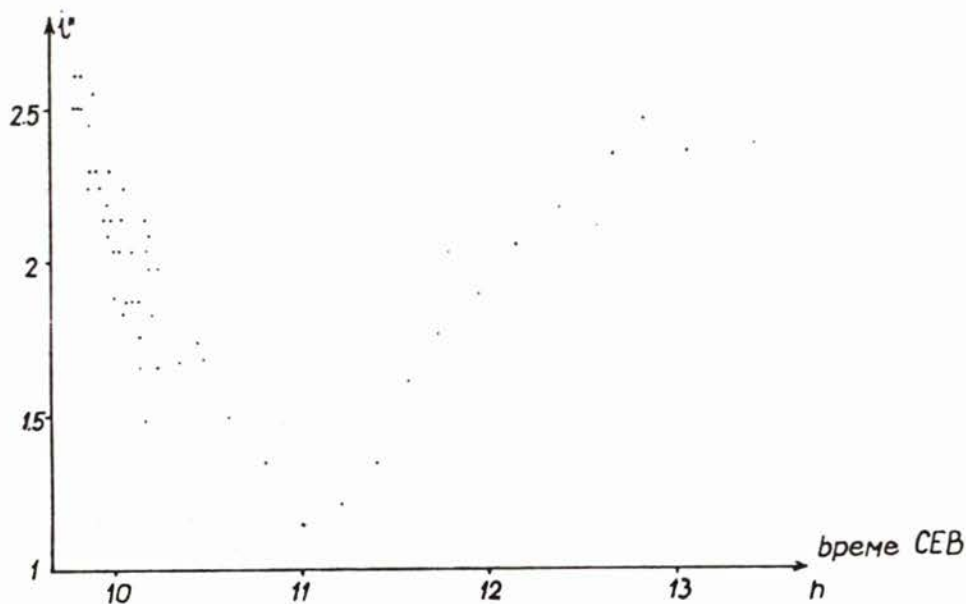
postupku ujutru i u podne 18. i 22. februara 1982. godine. Na osnovi tih rezultata može se zaključiti da promena ugla i za stepen temperature iznosi circa $0''{,}08$.

S druge strane, postojao je interes da se ispita i temperaturska zavisnost uglova i_1 i i_2 kod brzih promena temperature nivelira, naprimer kod izlaganja



Slika 6. Temperaturska zavisnost veličine i pri hlađenju (Nivelir Ni 002, No 457002)

nivelira spoljnoj temperaturi znatno različitoj od one na kojoj se prethodno nalazio. Za rečenu svrhu izveden je eksperiment u kojem je posmatrana vrednost veličine i . pri hlađenju za $\Delta\Theta = 20$ deg. Nivelir je prenoćio u laboratoriji na $t \approx 20^\circ\text{C}$, pa je iznet na spoljnu temperaturu $t \approx 0^\circ\text{C}$ i odmah je početo određivanje veličine i . Rezultati tog određivanja dati su na slici 7.



Slika 7. Promene vrednosti veličine i . pri dugotrajnom hlađenju na nižu temperaturu ($\Delta\Theta = 20$ deg) (Nivelir Ni 002, No 456686)

Na osnovi rezultata može se zaključiti da promena temperature prouzrokuje promenu vrednosti veličine i , odnosno uglova i_1 i i_2 . Za primenjeni način promena temperature stabilizacija nastupila je otprilike posle jednog časa. Veličina i promenjena je približno za $1,5''$, što daje promenu od $0,08$ po stepenu temperature. To se slaže sa rezultatom profesora Stobera. Međutim, ako se posmatra dalji tok stvari, vidi se da posle jednog perioda stabilizacije veličina i počinje kretati prema vrednosti koja je bila na početku hlađenja, a povratak na prvobitne vrednosti ostvaruje se za naredna 2 časa. Ovakvo ponašanje veličine i navodi na zaključak da njene promene nisu uslovljene samom temperaturom, već verovatno različitošću brzina hlađenja odnosno zagrevanja pojedinih delova nivelira. *Različitošću brzina mogla bi se po potrebi smanjivati promenama toplotnog kapaciteta i toplotnim izolacijama delova.*

U svakom slučaju može se konstatovati znatno manje (5—10 puta) temperaturna zavisnost (i to samo u slučaju brze promene) nagiba vizurne ose kod nivelira Ni 002 u odnosu na druge tipove nivelira.

2.5 Magnetski uticaj na vizuru nivelira Ni 002

Na 16. kongresu FIG-e u Montrealu 1981 saopšteno je o sistematskim promenama vizure preciznih kompenzatorskih nivelira (posebno Zeiss Ni 1) usled naizmeničnih i jednosmernih magnetskih polja. Ispitivanja u laboratoriji pokazala su da su svi ispitivani kompenzatorski niveliri (Zeiss Ni1, Zeiss Ni2, Jena Ni 002, Zeiss Jena Ni 007, MOM Ni A3, Wild NA 2, Ertel NA, Askania NA) pokazali individualne uticaje magnetskog polja [19], [20].

Na osnovi terenskih merenja utvrđen je uticaj Zemljinog magnetskog polja na vizuru nivelira Ni1 u iznosu od oko 1,4 mm/km. Proizvođač nivelira Ni1 za uklanjanje ovog uticaja primenio je magnetsku zaštitu kompenzatora i upotrebio novu antimagnetsku leguru za izradu traka za vešanje. Posle tih izmena smatra se da se nivelir Ni1 može upotrebljavati bez ograničenja.

Finski geodetski Institut, koji je u svom 3. državnom nivelmanu upotrebio više nivelira tipa Ni 002, sproveo je laboratorijska ispitivanja tih nivelira na uticaj magnetskog polja. Niveliri su izlagani uticaju magnetskog polja od 200 do 1000 μT u Helmholtzovoj zavojnici [12].

Iz ispitivanja izvedena je korekcija u obliku.

$$\mu = \frac{H}{H_0} \cdot M \cdot S \cdot \cos(A + D), \text{ gde su:}$$

H — horizontalna komponenta intenziteta polja,

H_0 — srednja vrednost horizontalne komponente za južnu Finsku,

M — magnetski koeficijent pojedinog instrumenta,

S — dužina nivelmanske linije,

A — azimut linije,

D — magnetska deklinacija.

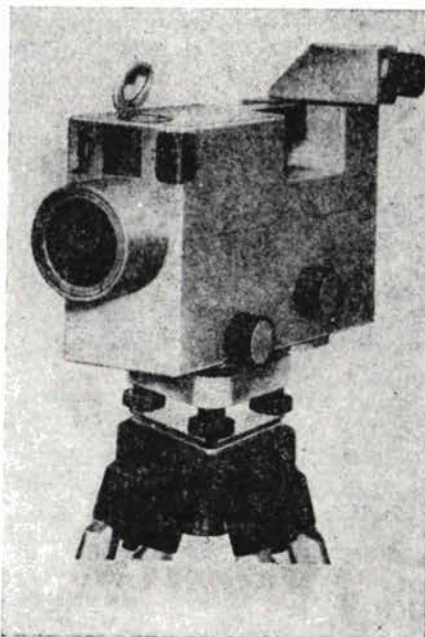
Magnetske vrednosti D i H mogu se uzimati sa karata magnetnih polja. Magnetne vrednosti sa magnetnih karata zadovoljavaju potrebnu tačnost. Korekcija za linije sa maksimalnim uticajem, tj. za linije koje se prostiru u pravcu sever-jug, iznosi $\mu = 0,08$ mm/km.

3. NOVI PRECIZNI KOMPENZATORSKI NIVELIRI Ni 002A i RENi 002A

1987. godine predstavljeni su stručnoj javnosti dva nova precizna kompenzatorska nivelira: Ni 002A i RENi 002A. Oba instrumenta su precizni kompenzatorski niveliri koji se osnivaju na oprobanom optičko-mehaničkom principu nivelira Ni 002. Važne funkcionalne i konstruktivne grupe, kao što su objektiv-mikrometar ili obrtni okular, preuzeti su od Ni 002. U svom spoljnom izgledu niveliri su saobraženi novoj nivelirskoj seriji firme Carl Zeiss Jena, što se naročito očituje u jednoj izvedenoj ručki za nošenje. Oprobani raspored funkcionalnih elemenata preuzet je u bitnom takode od Ni 002.

3.1 Ni 002A

Ni 002A (sl. 8) instrument je sa optičko-mehaničkim funkcionalnim principom i stoga odgovara, u funkciji pri manipulaciji i primeni, dosadašnjem



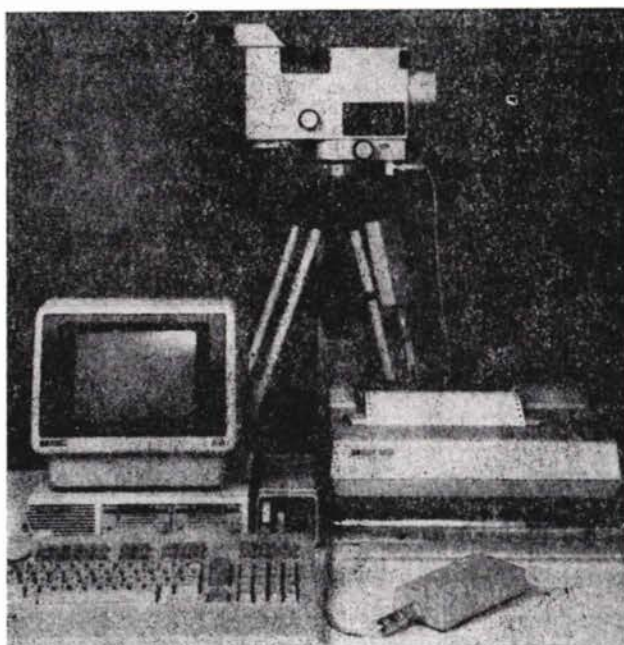
Slika 8. Ni 002A — spoljni izgled

instrumentu Ni 002. Međutim, poseduje prema ovome neke izmene i poboljšanja:

- manja težina; 6 kg (Ni 002:6,5 kg),
- poboljšano prigušivanje klatna,
- u nivelir je ugrađeno osvjetljenje za mikrometar i donju libelu sa automatskim vremenom isključivanja,
- poboljšana izvedba končanice za viziranje na letve pri kratkim odsto-
janjima,
- promjenjena optika za providnu donju libelu (obostrano ispod tražioca
pravog ugla),
- promenljivi okular za 50-ostruko uvećanje (standardno povećanje 40 ×).

3.2 RENi 002A — delimično automatizovani precizni kompenzatorski nivelir

Sa registrujućim preciznim kompenzatorskim nivelikom RENi 002A (slika 9) stvoren je prvi put elektronski nivelir ove klase koji preko delimično automatizovanog uzimanja podataka, računanja i memorisanja u samom instrumentu ostvaruje mernu tehnologiju koja oslobađa od rutinskog rada i merenja oblikuje sigurnije i efektivnije.



Slika 9. Registrirajući precizni kompenzatorski nivelir Reni 002A s instrumentarijumom za elektronsku obradu podataka

RENi 002A odlikuje se sledećim novitetima :

- automatsko registrovanje zauzetih mikrometarskih vrednosti,
- učitavanje mernih i drugih, za nivelman relevantnih podataka preko komandnog pulta,
- automatsko računanje i kontrola mernih podataka pomoću mikroračunara,
- izbor različitih internacionalnih mernih postupaka preko učitanih mernih programa,
- poziv sa digitalnim pokazivanjem mernih i računskih podataka na svakoj stanici kao pojedinačne ili zbirne vrednosti,
- kontrola na stanici sa datim graničnim vrednostima,
- mogućnost memorisanja podataka u spoljnoj memoriji.

Detalji praktične primene RENi 002A kao i moguće primene za različite merne programe i postupke dati su kod Hüthera (1988).

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Precizni kompenzatorski nivelir Ni 002 opravdao je očekivanja konstruktora. Nivelir se pokazao ravnopravnim sa preciznim nivelirima sa libelom (Wild N3, Zeiss Ni 004), sa prednošću omogućavanja veće produktivnosti u radu i pogodnostima za motorizovani nivelman. Nivelir Ni 002 obezbeđuje

preciznost koja se karakteriše standardnim odstupanjem određivanja visinske razlike dvostrukim nivelmanom za dužinu linije od 1 km u iznosu $\sigma_0 = 0,2$ mm/km.

Nažalost, nivelir Ni 002 nije slobodan od uticaja geomagnetskog polja, mada je taj uticaj manji nego kod nekih drugih preciznih nivelira sa kompenzatorom. Manji uticaj kod nivelira Ni 002 objašnjava se povoljnim (manjim) faktorom kompenzatora. Pri primeni u NVT-a neophodno je određivati zavisnost i primenjivati odgovarajuću korekciju [10], [11], [13], [14], [15].

Cilj postizanja kvazi apsolutnog horizonta konstruktivnim funkcionalnim principom postojanja 2 položaja instrumenta sa granicom od 1", zaista je ostvaren. Autori su to potvrdili svojim istraživanjima. Štaviše, uglovi i_1 i i_2 pokazuju vremensku stabilnost u kraćim vremenskim periodima i relativno malu zavisnost od temperature, i to samo za vreme trajanja brzih temperaturnih promena. *Možda bi moglo doći u obzir dalje usavršavanje kompenzacije neravnomyh promena temperatura u instrumentu kada je instrument izložen brzom hladenju ili zagrevanju. Tada bi se moglo prihvatiti bez dvoumljenja tvrđenje da je zaštita od neposrednog dejstva Sunca izlišna.*

Kod novih nivelira Ni 002A i RENi 002A zadržane su osnovne konstruktivne osobine nivelira Ni 002 sa modifikacijama usmerenim na usavršavanje funkcija i spretnije rukovanje. Vredno pomena je poboljšanje prigušivanja kompenzatora jer se time smanjuje nepogodnost kompenzatorskih nivelira za rad na vibrirajućim podlogama. *Nažalost, proizvođač ne saopštava da li je kod novih instrumenata sprovedena antimagnetska zaštita, pa je i za nove instrumente neophodno ispitivanje.*

Automatizacija kod nivelira RENi 002A jeste delimična automatizacija, koja ipak donosi značajne prednosti jer se automatizuje registracija mikrometarskih čitanja, što omogućuje automatsku obradu i kontrolu merenja na stanicima, i to za velik broj postupaka za linijski (10) i detaljni nivelman (2). Naravno da pored toga automatizacija merenja sa mikrometra eliminiše grube greške nastale delovanjem ljudskog faktora.

Za razliku od drugih geodetskih operacija može se reći da se geometrijski nivelman najmanje koristio tekovinama tehnološke revolucije u automatizaciji mernog procesa. U ovom trenutku ima čitav niz razvojnih projekata koji imaju za cilj primenu savremenih tehničkih dostignuća u određivanju visina. Relativna sporost geodetskih metoda za određivanje visinskih razlika, odnosno visina, pobudila je geodetske institucije SAD-a, Kanade i Finske da zajednički rade na projektu pod nazivom »brzi precizni sistem nivelanja« (RPLS — Rapid Precision Levelling System), koji treba da omogući eliminisanje refrakcijskog uticaja, znatno veću mernu brzinu i barem istu tačnost kao i postojeći postupci [6]. Da bi se to postiglo, mora RPLS da bude veoma automatizovan, da omogućava nagnute vizure, da je pogodan za motorizovani nivelman i da sadrži komponente sa kojima se mogu pouzdano odrediti odnosno eliminisati sistematske greške, kao npr. greške usled nivelmanske refrakcije. Očigledno je da RPLS ustvari predstavlja automatizovani trigonometrijski nivelman sa dvobojnim refraktometrom. Trigonometrijski nivelman je danas znatno automatizovan jer je automatizacija u merenju dužina i uglova, izuzev viziranja, danas rešen problem. Što se viziranja tiče, njegova automatizacija je rešena npr. u radu sa teodolitom KERN E2-SE u tzv. industrijskom premeru, gde za viziranje služi CCD-kamera (charge coupled device = CCD) [1], [5]. Takođe, kod

geometrijskog nivelmana, u razvoju su sistemi za automatizaciju komponenta mernog procesa. Tako su npr. Caspary i dr. (1986) razvili aktivnu letvu koja omogućava njeno automatsko čitanje. Sistem dalje omogućava prenošenje čitanje letve do mikroprocesora (za obradu) kod nivelira, a takođe i merenje nagiba letve i temperature kao i prenošenje podataka merenja do mikroprocesora.

Schlemmer (1987) i Wüller (1988) dali su rešenja sa rotacionim laserima i elektronskim letvama, koja omogućuju automatizaciju čitanja i viziranja letve.

Za sva tri rešenja nedostaje još dokaz da su pogodni odnosno sposobni za terensku upotrebu, tj. da u terenskim uslovima ostvaruju tačnost tehničkog odnosno preciznog nivelmana, po zamisli konstruktora.

Zahvalnost: Autori najsrdačnije zahvaljuju profesoru G. Peroviću na podsticajnim razgovorima i saradnji u izvođenju eksperimenta, a kolegama dipl. inž. S. Dragičević i dipl. inž. S. Al Dabassyu na pomoći pri izvođenju merenja. Autori su posebno zahvalni profesoru Stoberu za saopštenje rezultata ispitivanja zavisnosti veličine i kod Ni 002 N° 457002.

LITERATURA

- [1] Arjutnjinov, A. V. (1981): Ispolzovanie priborov s zarjadovoj svjaz'ju pri visakatačnom nivelirovanii, Geodezija i kartografija, 1981, 12, 20—22.
- [2] Becker, J. M., Lithen, T. (1986): Motorized Trigonometric Levelling (MTL), Motorized XYZ Technique (MXYZ) in Sweden, FIG XVIII Congress, Commission 5.
- [3] Caspary, W., Heister, H., Kurz, B. (1986): Ein Beitrag zur Automatisierung des geometrischen Nivellements, ZfV, 1986, 8, 361—366.
- [4] Caspary, W. (1988): Zur Automatisierung des Nivellements, ZfV 1988, 9/10, 437—444.
- [5] Gottwald, R. (1987): Kern E2-SE-Ein neues Instrument nicht nur für die Industrievermessung? AVN, 1987, 4, 147—154.
- [6] Huff, L. C. (1987): The Rapid Precision Levelling System, Surveying and Mapping 1987, 41, 99—102.
- [7] Hüther, G. (1973): Das neue Präzisions — kompensatornivellier Ni 002 des VEB-Zeiss Jena, Jenaer Rundschau, Messe — Sonderheft 1973, 56—60.
- [8] Hüther, G. (1988): RENi 002A und Ni 002A — zwei neue Präzisionskompensatornivelliere des Kombines VEB Carl Zeiss Jena, Vermessungstechnik, 36, 1988, 2, 53—55.
- [9] Hüther, G. (1988): RENi 002A und Ni 002A — zwei neue Präzisionskompensatornivelliere, Jenaer Rundschau, 1988, 4, 160—164.
- [10] Kmetko, N. I., Pandul, S. I., Latinskij, O. V. (1984): Vlijanije elektromagnitnogo polja LEP na rezultaty izmerenija zenitnyh rastojanij, Geodezija, kartografija i aerofotosjemka, Nr. 40, 42—45.
- [11] Kmetko, N. I., Pandul, S. I., Litinskij, O. V. (1984): Vlijanie elektromagnitnogo polja LEP na rezultaty geometričeskogo nivelirovanija, Geodezija i kartografija 1984, 1, 27—29.
- [12] Kukkamäki, T. J.; Lehmuskoski, P.: Influence of the Earth Magnetic Field on Zeiss Ni 002 Levels, Rep. Finn. geod. Inst., Helsinki 1984, Nr. 84:1.
- [13] Noack, G. (1986): Model der elektromagnetischen Refraktion in elektrischen Gleichfeldern, Vermessungstechnik, 1986, 7, 234—236.
- [14] Noack, G. (1987): Nivellements unter 380-kV-Hochspannungsfreileitungen, Vermessungstechnik, 1987, 410—412.
- [15] Noack, G. (1988): Einflüsse elektrischer und magnetischer Felder auf das Präzisionsnivellement, Vermessungstechnik, 1988, 1, 22—25.

- [16] Peschel, H. (1974): Das Motorisierte Präzisionsnivellement — Leistungsfähigstes Verfahren genauer Höhenmessungen, *Vermessungstechnik*, 1974, 2, 57—64.
- [17] Poetzschke, H. (1981): Motorisiertes Nivellement in den USA, *Jenaer Rundschau* 1981, 2, 56—59.
- [18] Raymond, E. (1986): An Alternative View of Motorized Levelling, *FIG, XVIII Congress, Commission 5*.
- [19] Rožić, H. (1989): Utjecaj geomagnetizma na određivanje visinskih razlika automatskim nivelirima, *Geodetski list*, 1989, 1—3, 41—48.
- [20] Rumph, W. E. (1981): Meurisch, H. (1981): Systematische Änderungen der Ziellinie eines Präzisionskompensatornivelliers insbesondere des Zeiss Ni 1 — durch magnetisch Gleich- und Wechselfelder, *FIG XVI, Montreux*.
- [21] Schlemmer, H. (1987): Zur digitalen Ablesung an Nivellierlatten, *Veröff. der DGK, Reihe C, Nr. 326*.
- [22] Wüller, H. (1988): Entwicklung und Untersuchung eines Rotationsnivellierinstrumentes und einer photoelektrischen Nivellierlatte zur Automatisierung des geometrischen Nivellements, *Veröff. des GI der RWRH Aachen, Nr. 41*.

PRECISE COMPENSATING LEVELS MANUFACTURED BY ZEISS JENA AND THE AUTOMATION IN THE LEVELLING

The conception and the optical-mechanical construction of the Zeiss Ni 002 level are explained. Particularly, the characteristics of the level, which enable the application of the motorized levelling method, and therefore a considerable increase of efficiency are stressed. The hypothesis on equality of the collimation errors i_1 and i_2 is also tested. The temperature dependence of these angles is investigated. The variability of these angles during cooling and heating, but also the independence of the angle i_R on the temperature when the stationary state is established, were ascertained. The data concerning magnetic influence on the Zeiss Ni 002 level are presented, as well as the correction for this effect. New variants of the Zeiss precision levels: Ni 002A and RENi 002A are described. The trends of development in the field of the automatization in precise levelling are outlined.

Primljeno: 1989-12-4