

UDK 528.482:528.541.088.2  
Pregledni članak

## INSTRUMENTALNE POGREŠKE PRI MJERENJU KRATKOTRAJNIH VERTIKALNIH DEFORMACIJA GRAĐEVINA

Zdravko KAPOVIĆ, Zvonimir NAROBÉ, Siniša MASTELIĆ-IVIĆ — Zagreb\*

*SAŽETAK: Rad se tematski nastavlja na publicirani članak (Geodetski list 1988, 7—9, 249—253) Razmatra se utjecaj instrumentalnih pogrešaka u specifičnim uvjetima opažanja vertikalnih pomaka građevina, metodom geometrijskog nivelmana. Detaljnije je analizirano djelovanje pogrešaka vezanih uz glavni uvjet nivelira a pregledno su prikazani i ostali izvori pogrešaka.*

Pojam »kratkotrajne deformacije« definiran je u članku [4]. Tamo su navedene i osnovne značajke mjerenja vertikalnih pomaka pri ispitivanju građevinskih objekata metodom geometrijskog nivelmana. U nastavku, detaljnije će se razmotriti specifičnosti instrumentalnih pogrešaka opažanja u navedenim primjenama. Kao karakterističan praktični primjer i ovdje će poslužiti metoda određivanja vertikalnih pomaka pri pokusnom opterećenju mostova.

U članku [4] moglo se uočiti da su, pri opažanju pomaka građevina, duljine vizura veoma različite. Dakle, često se odstupa od poznatog pravila »niveliranja iz sredine«. Zato je razložno postaviti pitanje utjecaja pogreške uslijed neispunjavanja glavnog uvjeta nivelira. Za klasične nivelire s cilindričnim libelama to je uvjet paralelnosti osi nivelacijske libele i vizurne osi durbina.

Gornji uvjet rastavlja se u dvije komponente. Spomenute osi projiciramo na vertikalnu i na horizontalnu ravninu, pa se uvjetuje njihova paralelnost u obje projekcije. Očito, bitna je paralelnost osi u vertikalnoj projekciji.

Paralelnost projekcija glavne tangente nivelacijske libele i vizurne osi durbina na vertikalnu ravninu može se ispitati poznatim postupkom. Međutim, rektifikacijom instrumenta neparalelnost se ne može potpuno ukloniti, pa se zato ova pogreška, u standardnoj primjeni geometrijskog nivelmana eliminira metodom opažanja iz sredine.

Kod nejednakih dužina vizure, preostali mali kut  $\varphi$  uslijed neparalelnosti projekcija navedenih osi, izazvat će pogrešku visinske razlike između R i m (vidi sliku), u iznosu od

\* Mr. Zdravko Kapović, prof. dr. Zvonimir Narobe, Siniša Mastelić-Ivić, dipl. inž. — Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.

$$m_{\varphi} = (d_m - d_R) \operatorname{tg} \varphi = \Delta d \frac{\varphi}{\rho}, \quad (1)$$

gdje su

$d_m, d_R$  — duljine vizura do dalje i bliže točke.

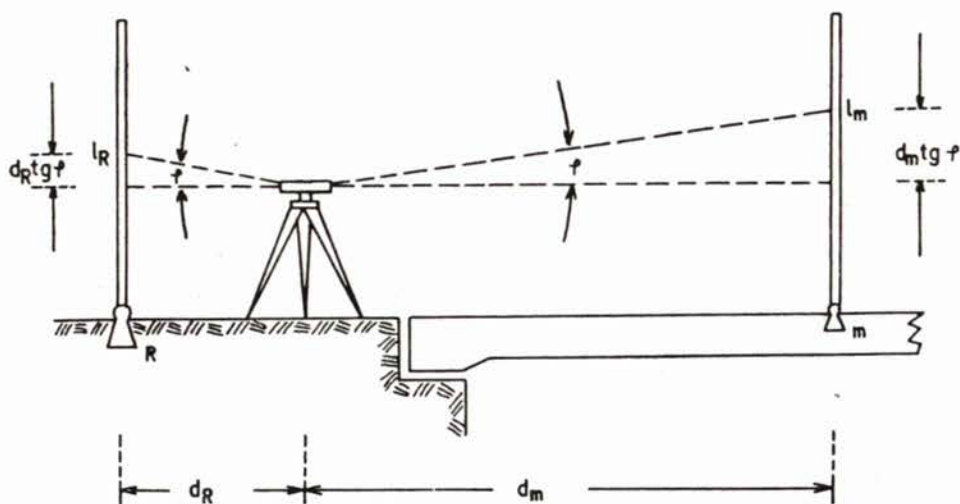
Ako je npr. razlika duljina  $\Delta d = 10$  m a kut  $\varphi = 10''$ , što odgovara vrijednosti podjele cilindrične libele za nivelmanske instrumente visoke točnosti, pogreška visinske razlike bit će  $m_{\varphi} = 0,5$  mm.

Kako je već naglašeno, u razmatranim primjenama, opažanja iz sredine često nije moguće (uspješnije) realizirati, a razlike u duljini vizura su i znatno veće. Prema tome, pogreška je takvog reda veličine da se ne smije zanemariti.

Razmotrit će se utjecaj ove pogreške na konačne rezultate u uvjetima opažanja kratkotrajnih »fazno postojanih« pomaka, karakterističnih za ispitivanje građevina pokusnim statičkim opterećivanjem.

Neka je reper R stabilna i instrumentu bliža visinska točka, a marka m je dalja točka na građevini, tj. mjerno mjesto za koje se određuje pomak. Takva dispozicija točaka u praksi je najčešća.

Očitavanje letava na reperu ( $l_R$ ) i na marki ( $l_m$ ), oslobođena utjecaja neparalelnosti kolimacijske (vizurne) osi i tangente na libelu, bit će



Sl. 1.

$$l_R - d_R \operatorname{tg} \varphi, \quad (2a)$$

odnosno

$$l_m - d_m \operatorname{tg} \varphi. \quad (2b)$$

Prema tome, shodno izlaganju u [4], korigirana visinska razlika između repera i marke izmjerena u fazi 1 (tzv., nulto mjerenje) bila bi,

$$h_m^{(1)} = \{I_R^{(1)} - d_R^{(1)} \operatorname{tg} \varphi_1\} - \{I_m^{(1)} - d_m^{(1)} \operatorname{tg} \varphi_1\}, \quad (3)$$

a visinska razlika između tih istih točaka, izmjerena u istoj fazi,

$$h_m^{(i)} = \{I_R^{(i)} - d_R^{(i)} \operatorname{tg} \varphi_i\} - \{I_m^{(i)} - d_m^{(i)} \operatorname{tg} \varphi_i\}. \quad (4)$$

Vrijednost pomaka marke  $m$  na građevini u  $i$ -toj fazi dobiva se iz razlike relativnih visina:

$$\begin{aligned} f_m^{(i)} &= h_m^{(1)} - h_m^{(i)} \\ &= \{I_R^{(1)} - I_m^{(1)}\} + \{d_m^{(1)} - d_R^{(1)}\} \operatorname{tg} \varphi_1 \\ &= \{I_R^{(i)} - I_m^{(i)}\} + \{d_m^{(i)} - d_R^{(i)}\} \operatorname{tg} \varphi_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Gornji izraz će se detaljnije analizirati, uvažavajući uvjete mjerenja prilikom pokusnih opterećivanja građevina.

Pri opažanju kratkotrajnih pomaka na građevini, u toku jednog ciklusa mjerenja instrument u pravilu ostaje na istome mjestu. Razlog za eventualnu promjenu stajališta unutar istog ciklusa može biti npr. neka nepredviđena zapreka. Dešava se, naime, da postavljeni teret — kod cestovnih mostova to su redovito kamioni — u nekoj fazi zakloni vizuru koja je kod neopterećene građevine bila slobodna. Međutim, i takva će se neizvjesnost izbjeći ako se unaprijed vodi računa o planiranom opterećenju — dispoziciji tereta u pojedinim fazama.

Budući da će u praktičnim primjenama redovito biti udovoljeno uvjetu nepromjenjivosti duljina vizura do iste točke, unutar jednog ciklusa opažanja, tj.

$$d_m^{(1)} = d_m^{(i)} = d_m, \quad (6a)$$

$$d_R^{(1)} = d_R^{(i)} = d_R, \quad (6b)$$

to se prema (5) za pomak marke dobiva

$$f_m^{(i)} = (I_m^{(i)} - I_m^{(1)}) + (I_R^{(1)} - I_R^{(i)}) + (d_m - d_R)(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_i). \quad (7)$$

U razmatranim primjenama jedan ciklus mjerenja vremenski traje uglavnom manje od jednog sata. Opravdana je pretpostavka da, u tako kratkom intervalu, neće doći do promjene kuta  $\varphi$ , tj. do eventualne derektifikacije nive-lira. Međutim, u vezi s mogućom promjenom kuta  $\varphi$ , treba upozoriti i na neke iznimne okolnosti pri ispitivanju građevina.

Dešava se da radovi na pokusnom opterećivanju budu neplanirano prekinuti (nevrijeme, neprilike s namještanjem tereta i sl.). Ako s radi o dužem prekidu, preporučivo je u nastavku radova ponoviti prethodne faze istog ciklu-

sa ili nastaviti radove s novim nultim mjerenjima. U ovom drugom slučaju jedan duži ciklus zamjenjuje se s dva kraća.

Općenito, kraći ciklusi mjerenja povoljniji su i iz drugih razloga. Jedan je u tome da se iz rezultata mjerenja potpunije isključuju deformacije građevine do kojih dolazi uslijed nekih drugih, *nepoznatih* utjecaja (npr. temperature). Drugim riječima, pomaci su realnija posljedica *poznatog* opterećenja, pa će i interpretacija izmjerenih vrijednosti biti egzaktnija.

Kraći ciklusi povoljniji su i zbog manjih pogrešaka uslijed refrakcije. Naime, točnost izmjerenog pomaka ne ovisi o veličini utjecaja refrakcije, već o promjeni refrakcijskih utjecaja između dva opažanja (dvije faze) iz kojih se računa pomak. Kako se uvjeti za refrakciju mijenjaju tijekom vremena, to će i njena promjena u kraćim ciklusima biti manja.

U primjenama će se ipak pojavljivati i slučajevi kada se duži ciklusi mjerenja ne mogu izbjeći. Ispitivanjem se npr. želi ustanoviti »popuštanje« izvedenih dijelova konstrukcije tijekom vremena. Tada se teret ostavlja na objektu i po nekoliko sati, ponekad preko cijele noći. Međutim, za to vrijeme najčešće se prekidaju radovi na ispitivanju (teret je zauzet). Zato je i manje vjerojatno da će se instrument derektificirati, iako je interval između faza dugačak.

Treba još upozoriti i na mogućnost promjene kuta  $\varphi$ , koja je inače u svakodnevnoj geodetskoj praksi rjeđa. Naime, za kompleksnija ispitivanja većih građevinskih objekata istovremeno se upotrebljavaju po dva pa i više nivelira iste točnosti. Tada treba pripaziti da između faza ne dođe do zamjene instrumenata.

Vrijednosti pomaka treba dakle računati iz opažanja izvršenih istim instrumentom i s istog stajališta. Tada postoji mala vjerojatnost za promjenu kuta  $\varphi$ . Vrijedi dakle  $\varphi_1 = \varphi_2$ , a prema (7) pomaci će se računati po formuli:

$$f_m^{(1)} = (I_m^{(1)} - I_m^{(2)}) + (I_R^{(1)} - I_R^{(2)}). \quad (8)$$

Po analogiji s izrazom (4) u članku [4], za računanje pomaka primijenit će se i tamo izvedene formule (8), (9) i (10).

Na osnovi gornjih razmatranja slijedi i zaključak: pridržavajući se navedene metodike mjerenja, na točnost određivanja vertikalnih pomaka ne utječu greške koje proizlaze uslijed neispunjavanja glavnog uvjeta nivelira. Ostali negativni utjecaji na točnost geometrijskog nivelmana, specifični za razmatranu primjenu, time su znatno kompenzirani.

Sve što je konstatirano i vezano za nivelire s libelama odnosi se i na nivelire s automatskim horizontiranjem vizure. Kod njih postoji pogreška nultog položaja, a očituje se kao neispravan položaj vizurne linije, bez obzira na nagib durbina.

Osnovni uvjet formuliran za nivelire s cilindričnim libelama, glasi: os nivelacijske libele i vizurna os durbina trebaju biti međusobno paralelne. Za nivelire s automatskim horizontiranjem vizure, budući da nemaju libele, analogan je uvjet: u granicama djelovanja kompenzatora vizurna os treba biti horizontalna i smještena u vertikalnoj ravnini koja prolazi kroz optičku os objektivna durbina.

Prvi dio uvjeta za automatske nivelire identičan je zahtjevu paralelnosti osi libele i osi durbina u vertikalnoj projekciji. Ovaj relevantniji (glavni) dio

osnovnog uvjeta već je razmotren. Drugi dio uvjeta, koji odgovara zahtjevu paralelnosti istih osi u horizontalnoj projekciji, po značenju je sporedniji. Ipak i ovaj zahtjev treba udovoljiti jer se u protivnom slučaju remeti prvi dio uvjeta.

Neparalelnost osi libele i vizurne osi durbina u horizontalnoj ravnini naziva se još, u domaćoj stručnoj literaturi, križanjem mjehura. S obzirom na neke specifičnosti pri mjerenju pomaka, na koje će se kasnije ukazati, križanje mjehura može i osjetnije smanjiti točnost konačnih rezultata. Zato će se ovaj utjecaj detaljnije analizirati.

Ukoliko kod nivelira postoji efekt križanja mjehura, tada se, u slučaju zajedničkog zakreta libele i durbina oko vizurne osi, narušava i glavni dio osnovnog uvjeta. Kod suvremenih instrumenata do takvog zakreta dolazi uslijed netočnog horizontiranja nivelira u poprečnom smjeru — u vertikalnoj ravnini okomito na vizuru.

Za uvid u veličinu mogućeg poprečnog nagiba treba primijeniti da se niveliri prije opažanja grubo horizontiraju pomoću dozne ili križnih libela ugrađenih na alhidadi. Kod preciznijih nivelmanskih instrumenata točnost spomenutih libela kreće se od 2' do 10'. Napr. kod nivelira Wild N3 točnost dozne libele iznosi 4'.

Za daljnja razmatranja upotrijebit će se slijedeće oznake:

- $\alpha$  — kut između nivelacijske libele i vizurne osi dubina u horizontalnoj projekciji,
- $\omega$  — kut zajedničkog zakreta durbina i libele (poprečni, bočni nagib nivelira),
- $\varphi$  — kao i dosada, kut između osi libele i vizurne osi u vertikalnoj projekciji.

Sveobuhvatna analiza utjecaja zakreta  $\omega$  na postojanost osnovnog uvjeta (kuta  $\varphi$ ) uključuje četiri moguće kombinacije. Zajedničkim zakretom ( $\omega$ ) durbina i libele nivelira

- a) kod kutova  $\alpha = 0$ ,  $\alpha \neq 0$ : postojeća paralelnost osi se ne narušava — kut  $\varphi$  ostaje jednak nuli;
- b) kod kutova  $\alpha = 0$ ,  $\alpha \neq 0$ : mijenja se i vrijednost kuta  $\varphi$ ;
- c) kod kutova  $\alpha \neq 0$ ,  $\varphi = 0$ : paralelnost osi se narušava — mijenja se kut  $\varphi$ ;
- d) kod kutova  $\alpha \neq 0$ ,  $\alpha \neq 0$ : mijenja se vrijednost kuta  $\varphi$ .

Za kombinaciju pod b) dovoljno je spomenuti da će pogreška opažanja uslijed zakreta  $\omega$  biti beznačajna, također i kod relativno velikih vrijednosti kuta  $\varphi$ .

Posljednje dvije kombinacije uključuju efekt križanja mjehura. Pritom, suglasno provedenoj analizi utjecaja osnovnog uvjeta nivelira na točnost u razmatranoj primjeni, proizlazi da će pogreške mjerenja u oba slučaja ( $\varphi = 0$  ili  $\varphi \neq 0$ ) biti iste. Naime, na pogrešku ne utječe neparalelnost osi (vrijednost kuta  $\varphi$ ) već promjena kuta, tj.  $\Delta\varphi$ .

Vrijednost promjene  $\Delta\varphi$ , kao posljedica zakreta  $\omega$ , može se izraziti pojednostavljenom, približnom formulom [3]:

$$\Delta\varphi = \frac{\alpha \omega}{\rho} . \quad (9)$$

Poznavajući kut  $\alpha$  i bočni nagib nivelira  $\omega$ , po ovoj se formuli može izračunati promjena  $\Delta\varphi$ , a za određenu dužinu vizure i pogreška opažanja.

Radi ilustracije, pretpostavit će se praktični primjer koji bi odgovarao uvjetima pri ispitivanju mosta pokusnim opterećivanjem. Pomaci neka se opažaju preciznim nivelirrom tipa Wild N3. Prije opažanja za fazu 1 (nulta mjerenja — most neopterećen) instrument je pažljivo horizontiran ( $\omega = 0$ ). U intervalu do faze 2 (most opterećen) instrument je ostao na istom stajalištu, ali dobio je bočni nagib od  $\omega = 4'$ , koji nije ponovnim horizontiranjem popravljjen. Ako npr. kut križanja mjehura iznosi  $\alpha = 10'$ , prema (9) je  $\Delta\alpha = 0,7''$ . Za dužinu vizure do opažane marke  $d_m = 50$  očitavanje letve postavljene na mostu bilo bi (u fazi 2), prema slici, pogrešno za

$$\Delta l = \frac{d_m \Delta\varphi}{\rho} \doteq 0,2 \text{ mm.} \quad (10)$$

Ako se radi kratke udaljenosti  $d_R$  pogreška očitavanja letve na reperu zanemari, onda je dobivena vrijednost  $\Delta l \doteq 0,2$  mm ujedno i pogreška izmjerenog pomaka.

Za razliku od klasičnog nivelmana, opažanja na istome stajalištu traju u razmatranim primjenama relativno dugo. Zato postoji i veća mogućnost da će se horizontalnost instrumenta poremetiti, odnosno zbog dužeg intervala veća je i vjerojatnost za pojavu (bočnog) nagiba instrumenta.

Drugi mogući uzrok dehorizontiranja instrumenta vezan je uz velike građevine i kada je neophodno da stajalište bude na samom objektu koji se opterećuje. Naravno da se i tada nastoji instrument postavljati na stabilnija mjesta. Npr. kod mostova se za stajališta biraju mjesta blizu ležajeva. Međutim, iako su pozicije iznad ležajeva visinski najstabilnije, upravo na tim mjestima, prilikom opterećivanja otvora, dolazi do većih zakreta gornjeg stroja mosta. Odavde i povećana mogućnost da između dvije faze opažanja dođe do nagiba instrumenta. Istina, zakreti konstrukcije u uzdužnom smjeru su izraženiji, ali i po-prčne promjene nagiba su redovita pojava.

Iz gornjih razmatranja proizlazi da u tretiranim primjenama treba posebno obratiti pažnju na horizontiranje instrumenta. Prije svake faze opažanja uputno je provjeriti i eventualno popraviti horizontiranje nivelira pomoću alhidadne libele.

Na osnovi izraza (9) može se odrediti i tolerancija kuta  $\alpha$ , ovisno o dozvoljenoj promjeni kuta  $\varphi$ :

$$\alpha_{\text{tol}} \leq \frac{\Delta\varphi}{\omega} \rho. \quad (11)$$

Neka je npr.  $\Delta\varphi = 0,3''$ , što odgovara srednjoj pogreški horizontiranja vizure kontaktnom libelom nivelira Wild N3, a kao i prije opet će se pretpostaviti  $\omega = 4'$ . Tim vrijednostima dobiva se  $\alpha_{\text{tol}} \leq 4,3'$ , čime bi utjecaj križanja mjehura bio manji od točnosti nivelira. Dakle, ako se rektifikacijom postigne da kut  $\alpha$  bude ispod  $4,3'$ , pogreška opažanja ove vrste može se zanemariti.

Analogno nivelirima s cilindričnom libelom, i za automatske nivelire uvjetuje se horizontalnost vizurne osi kod poprečnih nagiba instrumenta. Sve što je rečeno odnosi se i na one automatske nivelire kod kojih kompenzator nagiba djeluje samo u uzdužnom smjeru. Ukoliko spomenuti uvjet nije ispunjen, pri bočnom nagibu instrumenta pojavljuje se pogreška kompenzacije.

U dosadašnjem izlaganju detaljnije je razmotren utjecaj pogrešaka opažanja vezanih uz osnovni uvjet nivelira. U nastavku, sažetije će se obuhvatiti i ostale instrumentalne pogreške, upozoravajući na utjecaje svojstvene opisanoj metodici određivanja pomaka.

*Pogreška horizontiranja vizure.* Pogreška je ovisna o točnosti i načinu vrhunjenja nivelacijske libele, dok kod automatskih nivelira ovisi o točnosti kompenzatora. Osjetljivost libela, odnosno kompenzatora, općenito je i najmjerodavniji tehnički podatak o točnosti nekog instrumenta.

U razmatranim primjenama većinom se upotrebljavaju instrumenti visoke točnosti. Standardni tip takvog nivelira s cilindričnom libelom bio bi već spomenuti Wild N3, a adekvatni tip s kompenzatorom Wild NA2. Opažanjem koincidencije krajeva mjehura kroz posebni optički sustav, kod nivelira Wild N3, postiže se točnost horizontiranja vizure od 0,3". Tolika je i osjetljivost kompenzatora, tj. srednja pogreška automatskog horizontiranja vizure kod nivelira Wild NA2. Dakle, za ovu klasu instrumenata, pri duljini vizure od npr. 50 metara, pogreška opažanja na vertikalnoj podjeli letve iznosila bi  $m_h \approx 0,07$  mm.

Pogreška horizontiranja vizure inače mnogo ovisi o navikama i savjesnosti opažača. Mjerna mjesta (marke) na objektu redovito su stabilizirana uzduž nekih osnovnih osi građevine (glavnih nosača konstrukcije). Marke na jednoj liniji (osi) u pravilu se opažaju sa stajališta koje se nalazi na tom istom pravcu. Nivelir se, dakle, ne okreće oko vertikalne osi ili su to minimalni zakreti. Prije očitavanja prve letve libela se navrhuni, a manja odstupanja mjehura libele pri očitavanju letvi na ostalim markama iste linije ponekad se zanemaruju. Nije teško zaključiti da će tako rezultati opažanja biti opterećeni prvenstveno sistematskim utjecajem ove pogreške.

Iako se durbin ne okreće oko vertikalne osi, prije očitavanja svake letve razložno je ponovo kontrolirati i po potrebi elevacijskim vijkom popraviti vrhunjenje libele. Pri radu s automatskim nivelirima korisno je povremeno pritisnuti dugme kojim se provjerava funkcionalnost kompenzacijskog uređaja.

*Pogreška viziranja.* U radu s preciznim nivelmanskim instrumentima to je pogreška navođenja horizontalne niti (ili klina) na oznaku pune podjele letve. Ona zavisi od moći razdvajanja durbina, kvalitete slike, udaljenosti do letve, osvjetljenja i dr. Smatrajući prvospomenuti faktor dominantnim i uzevši da on raste razmjerno povećanju durbina  $V$ , za srednju pogrešku viziranja u stručnoj se literaturi navodi jednostavna formula

$$m_{vk} = \frac{10''}{V}. \quad (12)$$

Konstanta u brojniku je subjektivna pogreška viziranja, ovisna o uvjetima opažanja i načinu viziranja.

Budući da je prema gornjem izrazu pogreška u kutnoj mjeri nezavisna od duljine vizure, to će u linearnoj mjeri biti direktno razmjerna s tom duljinom  $d$ . Pogreška opažanja odnosno očitavanja letve bit će dakle

$$m_v = \frac{10''}{V} \cdot \frac{d}{\rho''}. \quad (13)$$

Istraživanja su pokazala da kod suvremenih nivelira s optičkim mikrometrom pogreška viziranja u kutnoj mjeri, iako malo, ipak ovisi i o duljini do letve. Uz ovako obuhvatljiviji pristup, u literaturi se navodi formula za linearnu pogrešku opažanja uslijed netočnog viziranja [1]:

$$m_v = \left( 0,044 \frac{d}{V} + \frac{1,8}{d \cdot V} \right) \text{ mm}, \quad (14)$$

gdje je  $d$  — duljina vizure u metrima.

Zakovitost prirasta pogreške viziranja u razmatranoj bi primjeni bila interesantna zato jer se radi o znatno različitim duljinama vizura. Međutim, potašnjom analizom, uporedbom izraza (13) i (164), autor [2] u svom radu konstatira praktički beznačajne razlike, pa zbog jednostavnijeg oblika preporučuje izraz (13). Također zaključuje da su, kod suvremenih instrumenata, pogreške viziranja i horizontiranja približno ujednačene.

*Pogreška fokusiranja.* Osnovni uzrok ove pogreške vezan je uz nesavršenost mehanizma za fokusiranje durbina prilikom izoštravanja slike.

Pogreška opažanja pretežno je ovisna o veličini *promjene* fokusiranja. Na kratkim udaljenostima do letve mala dubina oštine slike zahtijeva veće promjene fokusiranja durbina, čime se povećavaju i pogreške opažanja. Na većim udaljenostima, zbog veće dubine oštine i promjene fokusiranja, i pogreške opažanja bit će manje. Prema nekim istraživanjima, kod duljina vizure preko 15 metara pogreška fokusiranja praktički više nema utjecaja na točnost opažanja.

Kod klasičnog nivelmana, niveliranjem iz sredine, eliminira se pogreška visinske razlike uslijed nepravilnog hoda fokusirajuće leće. Iako se u ovdje tretiranoj primjeni radi o znatno različitim duljinama vizura, lako je zaključiti da vrijednost pomaka također nije opterećena pogreškom ovog izvora. Naime, u obje faze opažanja iz kojih se računa pomak stanovite marke položaj fokusirajuće leće prilikom očitavanja letve približno je isti. Tako će u razlici opažanja biti sadržana i razlika dviju pogrešaka iste vrijednosti, čime su one eliminirane iz rezultata. Naravno, uvjet za to jest da su opažanja u obje faze izvršene s istim instrumentima i s istog stajališta.

*Pogreška podjele mikrometra.* Pogreška ove vrste uglavnom je slučajnog karaktera. Zbog njene male vrijednosti ona se ponegdje u stručnoj literaturi tretira kao pogreška zaokruživanja čitanja na bubnju mikrometra.

*Pogreška zakreta nitnog križa.* Pojavljuje se uslijed zakreta nitnog križa u ravnini slike, tj. kada, u radnom položaju nivelira, horizontalna nit ima manji nagib. Kod suvremenih instrumenata križ se ne zakreće ni prilikom rektifikacije, a ispravan položaj je tvornički precizno uspostavljen.



Pogreška ove vrste također je neznatna. Inače, njen se uticaj smanjuje tako da opažać prilikom očitavanja nastoji uspostaviti identičan položaj podjele letve u odnosu na vertikalnu nit.

*Paralaksa nitnog križa.* Slika predmeta koju stvara objektiv durбина (ravnina slike) mora se nalaziti u ravnini nitnog križa. Nepodudarnošću ovih dviju ravnina nastaje efekt paralakse. Pogreška opažanja ove vrste iscrpno je istražena u radu [5]. Njen autor tamo zaključuje: uz uvjet optimalnog položaja okulara, koji treba odrediti svaki opažać, i uz neophodnu koncentraciju opažaća, paralaktički utjecaji na točnost mjerenja nivelirima mogu se svesti na minimalne iznose.

Utjecaj ovoga kao i dvaju prethodno spomenutih izvora pogrešaka u tretiranju primjeni nema nikakva posebna obilježja.

U uvodnom članku [4] i ovdje, s teoretske i praktične strane, razmatrano je jedno značajno područje primjene geometrijskog nivelmana: metodika mjerenja pomaka i deformacija koja se inače u stručnoj literaturi ne obrađuje kao izdvojena disciplina. Međutim, zbog nesumnjive specifičnosti problematike, smatramo da je takav pristup opravdan i koristan.

Redakcijsko ograničenje opsega rada ne dopušta da ovaj članak čini tematski zaokruženu cjelinu. Naime, osim iskazanih instrumentalnih pogrešaka, potpuniji pregled trebao bi obuhvatiti još i pogreške mjerenja vezane uz opažaća, uz pribor i vanjske utjecaje.

#### LITERATURA

- [1] Boljšakov, V. D., Levčuk, G. P.: Spravočnik geodezista, Nedra — Moskva 1975.
- [2] Kapović, Z.: Geodetske metode određivanja pomaka pri ispitivanju mostova, magistarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb 1984.
- [3] Litvinov, B. A., Lobačev, V. M., Voronkov, N. N.: Geodezičeskoe instrumentovedenie, Nedra — Moskva 1971.
- [4] Narobe, Z., Kapović, Z., Fanton.: Mjerenje kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina, Geodetski list 1988, 7—9.
- [5] Šimičić, K.: Prilog ispitivanjima paralaktičkih utjecaja na točnost mjerenja nivelirima, magistarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb 1983.

#### INSTRUMENTALFEHLER BEI MESSUNGEN DER KURZZEITIGEN VERTIKALDEFORMATIONEN VON BAUTEN

Thematisch setzt sich diese Arbeit an den veröffentlichten Artikel (Geodetski list 1988, 7—9, 249—253) fort. Es wird die Einwirkung des Instrumentenfehlers in spezifischer Bedingungen an die durch geometrisches Nivellement beobachtete Vertikalbewegungen der Bauwerke betrachtet. Gündlicher wurden die Wirkung der Hauptbedingung des Nivellierinstrumentes analysiert und andere Fehlerquellen übersichtlich dargestellt.

Primljeno: 1989-09-10