

POGREŠKE PRIBORA, OPAŽAČA TE VANJSKI UTJECAJI NA TOČNOST ODREĐIVANJA KRATKOTRAJNIH VERTIKALNIH DEFORMACIJA GRAĐEVINA

Zdravko KAPOVIĆ, Zvonimir NAROBÉ — Zagreb*

SAŽETAK: Nastavljajući na publicirane članke (Geod. list 1988, 7—9, 249—253 i 1990., 1—3, 35—43), ovdje se analizira utjecaj pogrešaka vezanih uz upotrebu nivelmanske letve, u specifičnim uvjetima mjerenja vertikalnih pomaka građevina, metodom geometrijskog nivelmana. Osim uobičajenih, ukazuje se i na druge praktične načine stabilizacije odnosno signalizacije mjernih mjesta na građevini. U članku se još razmatraju pogreške opažачa i pogreške uslijed vanjskih utjecaja.

1. UVOD

Zajedno s citiranim radovima u sažetku, ovim se člankom pokriva jedno značajno područje primjene geometrijskog nivelmana. Ujedno, zaokružena je jedna tematska cjelina koja se inače u stručnoj literaturi ne obrađuje kao izdvojena disciplina. Unatoč brojnim primjenama na tom području, praktični primjeri se rijetko objavljuju iako bi nesumnjivo bili interesantni i korisni za širi krug geodetskih stručnjaka. Od publiciranih prikaza, vezanih uz ispitivanja mostova pokusnim opterećenjem, spomenimo jedan od prvih u domaćoj literaturi (Narobe 1968) i jedan iz najnovije prakse (Kapović, Mastelić 1991).

Kod opažanja vertikalnih pomaka, mjerna mjesta se s obzirom na njihovu namjenu dijele na osnovne (visinski stabilne) i deformacijske točke odnosno marke. U složenijim uvjetima koriste se i pomoćne (vezne) točke, za prijenos visine od osnovnih na deformacijske marke.

U najvećem broju praktičnih primjena mjerna mjesta se obilježavaju vertikalno stabiliziranim markama (željeznim, mjedanim, aluminijskim) sa sfernom glavom, na koje se prilikom opažanja postavlja nivelmanska letva standardne proizvodnje.

*Mr. Zdravko Kapović, prof. dr. Zvonimir Narobe, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26.

2. POGREŠKE VEZANE UZ LETVU

Prije analize pogrešaka vezanih uz letvu, ukazat ćemo na neke značajke u njihovoj upotrebi pri ispitivanju mostova, uz napomenu da uglavnom iste značajke vrijede i za šire razmatrano područje primjene.

Jedna od karakteristika jest u tome da se uz isti instrument redovito upotrebljava samo jedna letva. Naime za razliku od klasičnog nivelmana, letva se, osobito kod deformacijskih točaka, premješta na znatno kraćim udaljenostima, dakle i mnogo brže. Osim toga, postavlja se na unaprijed poznata mjesta tj. na već stabilizirane marke; podmetači (papuče) se ne upotrebljavaju, što olakšava kretanje i snalaženje figuranta. Zbog toga bi upotreba dviju letava mogla samo neznatno utjecati na radni učinak. S druge strane, mogućnost grubih pogrešaka opažanja i zabuna u radu višestruko bi se povećala.

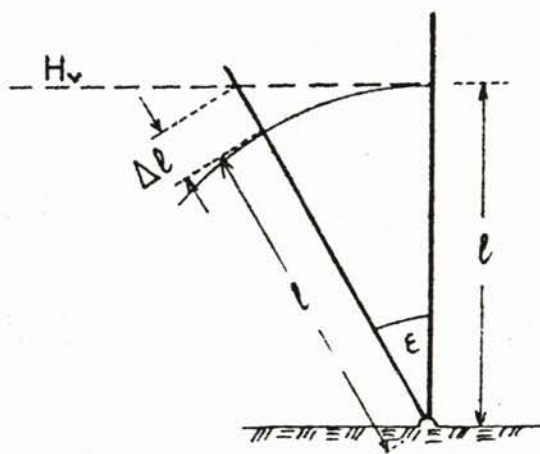
Praksa je pokazala da eventualna primjena dviju letava (uz isti instrument) ima stanovit efekt samo u slučaju da se jedna letva premješta po deformacijskim markama, a druga služi za postavljanje na osnovne odnosno pomoćne točke.

Daljnja je karakteristika da pri opažanju deformacijskih marki, vizura češće pogađa letvu na očitanjima koja su manja od visine instrumenta. Kod mostova to se objašnjava time što njihova niveleta većinom ima pad od sredine prema krajevima; osnovne točke (reperi) će zato češće biti na nižim a deformacijske marke na višim kotama od stajališta instrumenta.

Treba još naglasiti da je upotreba podupirača za letvu neophodna i obvezna. U tu svrhu zadovoljit će i improvizirana rješenja: par običnih drvenih štapova, manjeg poprečnog presjeka, dužine 1,20 do 1,40 m, kakvi se lako nađu na svakom gradilištu.

2.1. Pogrešne uslijed nagiba letve

Kada os letve odstupa od vertikale, pogreška očitavanja se može sračunati po poznatom izrazu (v. Brajt 1965)



Slika 1. Pogreška uslijed nagiba letve

$$\Delta l = m_{na} = -\frac{l \varepsilon^2}{2 \rho^2}, \quad (1)$$

gdje su

l — očitavanje na letvi

ε — kut nagiba letve.

Pogreška ima uvijek isti predznak (očitanja na letvi su prevelika) ali može biti sistematskog ili slučajnog karaktera.

Ukoliko je kut ε posljedica neparalelnosti između osi (dozne) libele i osi letve, pogreška je sistematskog karaktera. Budući da tada kut ε ostaje isti u obje faze opažanja (iz kojih se računa pomak), to se u razlici očitavanja pogreška većim dijelom eliminira. Točnije, u rezultatu izmjenjenog pomaka preostao je minimalni iznos pogreške od (v. Kapović 1984)

$$\sigma_{na} = -\frac{f \varepsilon^2}{2 \rho^2}, \quad (2)$$

gdje je

f — apsolutna vrijednost pomaka.

Ako je kut ε posljedica slučajnog nagiba letve (npr. netočno vrhunjenje libele na letvi), tada je i pogreška očitavanja (1) slučajnog karaktera. Međutim, zbog uvijek istog predznaka, to je tzv. slučajna pogreška s jednostranim djelovanjem. Lako je zaključiti da se i ova vrsta pogrešaka, u pomacima, također djelimično eliminira.

Radi uvida u približnu brojčanu vrijednost pogrešaka, pretpostavit će se da kut ε iznosi $10'$ što odgovara točnosti doznih libela za precizne letve s invarnom vrpcom. Kod najnepovoljnijeg očitavanja na vrhu letve ($l = 3$ m), pogreška očitavanja prema (1) bila bi $m_{na} = -0,013$ mm.

Na osnovi gornjeg razmatranja može se konstatirati da je utjecaj ova pogreške, pri mjerenju pomaka, zanemarivo malen.

Formula (1) izvedena je uz uvjet da se točka u kojoj letva dodiruje glavu marke (najviše mjesto) i točka presjeka osi invarne vrpce s dnom (petom) letve međusobno podudaraju. U protivnom slučaju, vrijednost pogreške uslijed nagiba letve bit će osjetno veća.

Pogreška očitavanja pri postavljanju letve na proizvoljnu točku pete određena je izrazom (Kapović 1984):

$$m_{nb} = \pm \frac{b \varepsilon}{\rho}, \quad (3)$$

gdje je

b — horizontalna udaljenost između točke u kojoj letva dodiruje marku i točke presjeka osi vrpce s petom letve.

U ovom izrazu b i ε jesu nezavisne, nekorelirane slučajne veličine, a pogreška m_{nb} , za razliku od (1), poprma oba predznaka.

Poprečni presjek invarnih letava je približno 8×4 cm. Dakle letva može biti ekscentrično postavljena na marku najviše za $b_{\max} = 4$ cm. Ako se usvoji da je srednja pogreška $b = \frac{1}{2} b_{\max} = 2$ cm, a kao i prije $\varepsilon = 10'$, srednja pogreška očitavanja letve (3) bila bi $m_{nb} = \pm 0,058$ mm. Treba još primijetiti da za točnost određivanja pomaka ovdje vrijedi poznati zakon o prirastu slučajnih pogrešaka. Pretpostavljajući stabilan horizont vizure između dvije faze, iz kojih se računa pomak f , srednja pogreška njegova određivanja bila bi $m_{fb} = m_{nb} \sqrt{2} = \pm 0,082$ mm. Prema tome, dio pogreške uslijed nagiba letve (3) višestruko je veći od (1).

Pogreška opažanja (3) može se najpotpunije eliminirati upotrebom prstena pričvršćenog na petu letve, kojim se osigurava centrično postavljanje letve na marku. Međutim, primjena prstena ima i svojih nedostataka. Potonjim razmatranjem pogreške ove vrste autor (v. Kapović 1984) u svom radu općenito zaključuje da praktična iskustva ne govore u prilog upotrebe prstena na peti letve.

2.2. Pogreška uslijed savijanja letve

Polazeći od pretpostavke kružnog oblika iskrivljenja letve, za pogrešku opažanja vrijedi formula (v. Janković 1980)

$$\Delta_s = - \frac{8 v^2}{31} \quad (4)$$

gdje su

- v — strijela luka
- l — duljina letve.

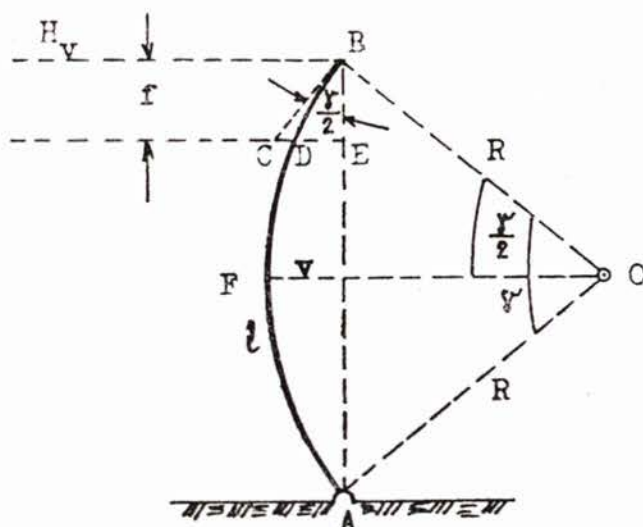
Pogreška je sistematskog karaktera i uvijek ima isti predznak — očitavanja letve su prevelika.

Kod preciznih invarnih letava pogreška dolazi do izražaja samo za veća iskrivljenja. Naime, letva je konstruirana tako da je invarna vrpca oprugom nategnuta u drvenom okviru, koji u poprečnom presjeku ima veći slobodni prostor za vrpcu pa je mogućnost savijanja isključena. Na taj način, ako je drveni okvir letve savinut za manje od $v = 5$ mm, pogreška (4) je potpuno eliminirana.

Razmotrit će se utjecaj većeg iskrivljenja letve na točnost mjerenja pomaka. Zbog zornije predodžbe, smatrat će se da je vrijednost pomaka f jednaka razlici u horizontu vizure BE (slika 2) između dvije faze opažanja (u stvarnosti, horizont vizure je stabilan a mijenja se visina letve — visina točke A).

Kako je pomak f malen a radius R relativno velik, luk BD se aproksimira tangentom BC u točki B, pa će pogreška izmjerenog pomaka f biti

$$\sigma_s = BE - BD = BE - BC = f - f \sec \frac{\gamma}{2}$$



Slika 2. Pogreška uslijed savijanja letve

Ako se trig. funkcija $\sec \frac{\gamma}{2}$ razvije u red i zadrže prva dva člana, dobiva se

$$\sigma_s = -\frac{f \gamma^2}{8}.$$

S poznatim približnim izrazom koji povezuje centralni kut γ s duljinom luka l i strijelom v

$$\gamma = \frac{8v}{l}$$

dobiva se konačna formula za pogrešku pomaka:

$$\sigma_s = -\frac{8fv^2}{l^2} \quad (5)$$

Izraz vrijedi za najnepovoljnije slučajeve opažanja. To će biti kad vizura pogađa letvu blizu njezina vrha ili dna, a letva se vertikalizira libelom koja je smještena oko sredine. Kad vizura pogađa letvu oko sredine, pogreška je minimalna.

Zbog uvida u brojčanu vrijednost ove pogreške, osim spomenutog najnepovoljnijeg očitavanja, pretpostavit će se još i znatno iskrivljenje letve sa strijelom $v = 5$ cm i vertikalni pomak od $f = 10$ cm. S ovim vrijednostima, uz standardnu duljinu letve $l = 3$ m., pogreška pomaka prema (5) bila bi $\delta_s = -0,222$ mm. ili relativna pogreška $\delta_s : f = 1 : 450$.

Prema razmatranjima u radu (v. Narobe, Kapović 1983) dobivena je zanemarivo mala vrijednost pogreške, iako su u računu pretpostavljene iznimno nepovoljne, i u praksi veoma rijetke, okolnosti.

Transformacijom izraza (5) bilo bi moguće na osnovi zadane relativne točnosti $\delta_s : f$ računati dozvoljeno iskrivljenje letve v. Takav pristup, rezultirao bi istim zaključkom.

2.3. Pogreška podjele letve

U stručnoj literaturi, pogreška ove vrste se razdvaja na njezin ravnomjerni (sistematski) dio i neravnomjerni (slučajni) dio.

Ravnomjerni dio pogreške tretira se kao odstupanje metarskih intervala podjele od njegove prave vrijednosti. Prema nekim podacima ispitivanja (v. Brajt 1965), srednja pogreška na metar podjele kod invarnih letava ne prelazi vrijednost od $\pm 0,15$ mm. U razmatranoj primjeni, relativna pogreška od 1 : 6700 zanemariva je i kod najviših zahtjeva točnosti (Narobe, Kapović 1983).

Neravnomjerni dio pogreške proizlazi uslijed nejednakosti intervala između susjednih crtica podjele. Prema navodima u (v. Brajt 1965), srednja pogreška ovdje može biti do $m_p = \pm 0,035$ mm. Iako je i to neznatna vrijednost, treba primijetiti da ona nije prisutna ako se radi o malim pomacima, što je značajno zbog manjeg iznosa relativne pogreške. Naime upotrebom centimetarske letve, kad razlike očitavanja nisu veće od 5 mm, veća je vjerojatnost da će se, u obje faze iz kojih se računa pomak, optičkim mikrometrom nivelira koincidirati ista (a ne susjedne) crtica podjele na vrpci; pogreška nejednakosti intervala između susjednih crtica podjele je zato isključena.

2.4. Ostale pogreške letve

Ukoliko se nulta crtica podjele ne podudara s (metalnom) ravninom pete letve, govori se o »pogreški nule letve«. Nije teško zaključiti da ova pogreška ne može utjecati na rezultate mjerenja ukoliko se pri opažanju upotrebljava ista letva, kako je to već prije preporučeno.

Budući da se u razmatranoj primjeni općenito ne upotrebljava prsten, treba upozoriti i na mogućnost pogreške uslijed nekomitosti ravnine pete i uzdužne osi letve. Međutim, uz suvremenu tehnologiju izrade letava i već spomenutu točnost postavljanja letve na mjernu marku, ovaj utjecaj na ukupnu točnost bit će minimalan.

Zbog potpunosti, spomenut će se još promjene u duljini invarne vrpce letve do kojih dolazi uslijed temperature i sile zatezanja. Poznato je da inver ima vrlo malen temperaturni koeficijent širenja $\alpha = 0,9 \cdot 10^{-6}$. Manje je poznato da su invarne vrpce u letvama zategnute silom od 20 kp. Na osnovi elastičnih svojstava invara, promjenom sile za 1 kp, dužina metra vrpce mijenja se za 0,0043 mm (Pavliv 1980). Pogreške uslijed ovih promjena po svom su karakteru potpuno iste s ravnomjernom pogreškom podjele. Na osnovi toga lako se zaključuje da su za razmatranu primjenu, po svojoj veličini, zanemarivo male.

Na kraju treba konstatirati da se pri mjerenju kratkotrajnih deformacija građevina vrlo rijetko upotrebljavaju papuče (podmetači) za letve, čime su isključeni i neki eventualni izvori pogrešaka.

2.5. Postupci za eliminaciju pogrešaka letve

Najefikasniji način jest da se letva pri opažanju pomaka djelomično ili u potpunosti isključi iz upotrebe. Umjesto marke već opisanog oblika, na građevinu se učvrste dijelovi nivelmanske skale.

Mjerna se mjesta, prema tome, istovremeno stabiliziraju i signaliziraju posebnim značkama. Na kvalitetnijem papiru reproduciran je dio (oko 20 cm) podjele letve, koji se, u visini horizonta vizure, učvrsti ljepljivom ili nekim drugim načinom na prikladan vertikalni element građevine. Za ispravno postavljanje značke može poslužiti instrument ili obična (zidarska) libela.

U slučajevima kad na građevini nema odgovarajuće orijentiranih vertikalnih elemenata, podjela se može najprije nalijepiti na lagane (npr. aluminijske) nosače profila L, pa se onda takva značka učvrsti na mjerno mjesto. Osnovna svrha takve značke jest da podjela na njoj bude okrenuta prema instrumentu.

Pri opisanom načinu signalizacije potrebno je više vremena za pripreme (postavljanje znački u visini horizonta vizure). Međutim, osim dobitka na točnosti, to se poslije kompenzira i znatno bržim procesom opažanja. Naime, opservator u svom radu nije više ovisan o figurantu, što je osobito značajno kod dužih vizura.

Nedostatak opisanog načina jest u tome da dosta često, na potrebnoj mjestnoj poziciji opažane konstrukcije, nije moguće pronaći prikladan element na koji bi se učvrstila takva značka.

3. POGREŠKE USLIJED VANJSKIH UTJECAJA

U ovu grupu spadaju pogreške s najviše nepoznanica. Pri analizi ovih utjecaja autori zato nemaju pretenzija da egzaktnije utvrde njihove zakonitosti. Zadovoljavaju se ukazivanjem na izvore pogrešaka i postupke opažanja kojima se što potpunije eliminiraju nepovoljni utjecaji u konačnim rezultatima mjerenja. Tako će se i ovo razmatranje ograničiti na primjenu pri mjerenju kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina.

U pravilu, visina instrumenta za vrijeme opažanja u istoj fazi trebala bi biti neizmijenjena. Međutim, za razliku od postupaka kod klasičnog nivelmana, u razmatranoj primjeni nepovoljna je okolnost da opažanja unutar jedne faze traju relativno dugo. Zato i za eventualni pomak nivelira (slijevanje ili rjeđe izdizanje stativa) tijekom opažanja postoji veća vjerojatnost.

Ukoliko se stajalište instrumenta nalazi na građevini, visina horizonta vizure može se mijenjati i uslijed pomaka same konstrukcije na poziciji stajališta. Naime »rad konstrukcije« može biti uzrokovan ne samo opterećivanjem, već i drugim utjecajima. Npr. čelične konstrukcije naročito reaguju na temperaturne promjene.

Općenito vrijedi slijedeće pravilo: što je izmjena horizonta vizure tijekom opažanja unutar jedne faze manja, to je ona i ravnomjernija. Pogreška mjerenog pomaka tada će se znatno smanjiti ako se i na početku i na kraju iste faze opaža osnovna marka (reper). Kod manjih razlika očitavanja, za visinu horizonta vizure u dotičnoj fazi usvaja se aritmetička sredina.

Uslijed promjena temperature dolazi do deformacija nivelira, što je također izvor pogrešaka zbog vanjskih utjecaja. Ispitivanja su pokazala da

izmjenom temperature za 1°C dolazi do promjene kuta, između vizurne osi durbina i osi libele prosječno za 0,5" (Brajt 1965). Nadalje, poznata je pojava da kod nivelira s libelom »mjehur bježi prema suncu«. Poznate su i preventivne mjere od ovih pogrešaka. To su opažanja pri postojanim temperaturama, a za sunčana vremena instrumente s libelom obvezno treba zaštititi sunco-branom.

U razmatranoj primjeni, točnost mjerenja pomaka može biti osjetno smanjena zbog utjecaja refrakcije. Intenzitet utjecaja ovisi o temperaturi, tlaku i vlažnosti zraka. Budući da se slojevi zraka zagrijavaju od zemljišne površine prema gore, utjecaj refrakcije veći je kod niskih vizura, pa ih zato treba izbjegavati. Zagrijavanje zraka blizu površine znatno ovisi o vrsti terena (zemlja, vegetacija i dr.). Kod građevinskih objekata to su redovito površine koje se, osobito za sunčana vremena, veoma jako zagrijavaju (beton, asfalt, željezo).

U pogledu promjena u toku vremena, na točnost utječu samo izmjene refrakcijskih uvjeta u intervalu između dvije faze opažanja između kojih se računa pomak. Za razliku od klasičnog nivelmana, gdje se veoma brzo odredi visinska razlika između dvije susjedne vezne točke, u razmatranoj primjeni se radi o dužem vremenskom razmaku između dvije faze. Dosljedno tome i promjene refrakcionih uvjeta su izraženije.

Negativni utjecaji mogu se ublažiti ako se izbjegavaju opažanja pri jakom suncu i visokim temperaturama, dakle oko podnevnih sati. Najbolji radni efekti i podaci mjerenja postižu se opažanjem pri oblačnom vremenu i dnevnom svjetlu. Noćni radovi su organizacijski znatno složeniji (osvjetljenje itd.) a dobitak na točnosti nije osjetniji.

Međutim, pri ispitivanju građevinskih objekata pokusnim opterećenjem dobro planiranje i organizacija radova najčešće ne ostavljaju mnogo mogućnosti da se biraju termini za opažanja. Zato će se negativni utjecaji na točnost optičkih opažanja ublažavati prikladnijim programima opterećivanja, koji više uključuju geodetske zahtjeve. Tako će npr. pogreške uslijed refrakcije biti manje opažanjem pomaka kraćim vizurama. Također, bit će svrsishodno da se vremenski duži ciklusi mjerenja rastave u dva ili više kraćih ciklusa (nulta mjerenja u manjim razmacima).

Uz refrakciju treba spomenuti i titranje. Za razliku od refrakcije, pogreška je slučajnog karaktera, a očituje se u nesigurnosti prilikom koincidiranja podjele na letvi pomoću mikrometra. Preventivne mjere od ove vrste pogrešaka uglavnom su iste kao u prethodnom slučaju.

4. OSOBNE POGREŠKE OPAŽAČA

Kod nivelira s optičkim mikrometrom pogreška uglavnom rezultira iz netočnog koincidiranja horizontalnog konca (ili klina) s crticom podjele na invarnoj vrpici, s time da je ta netočnost ovisna o individualnim svojstvima oka opažača.

U razmatranoj primjeni, ukoliko jedan opažač istim instrumentom očitava ista mjerna mjesta u svim fazama, osobne pogreške se dobrim dijelom eliminiraju.

5. ZAKLJUČAK

U ovom i u već publiciranom članku (v. Kapović, Narobe, Mastelić 1990) razmotreni su izvori i utjecaj svih relevantnijih pogrešaka koje dolaze do izražaja u razmatranoj primjeni. Iz svega se vidi da je karakter djelovanja pogrešaka raznovrstan i kompleksan. Tome treba dodati da se pogreške pri geometrijskom nivelmanu uglavnom ne pokoravaju Gaussovom zakonu o prirastu pogrešaka (v. Janković 1990). Zato i u razmatranom slučaju nije moguće, nekom egzaktnijom formulom, utvrditi zakonitost prirasta i definirati ukupnu točnost određivanja pomaka i deformacija građevina opisanom geodetskom metodom.

Ipak, analiza ukazuje na to da su iznosi pojedinačnih utjecaja većim dijelom ovisni o duljini vizure. Uz takvu klasifikaciju, pogreške bi se mogle svrstati u četiri skupine:

- pogreške koje nisu ovisne o duljini vizure,
- pogreške koje rastu proporcionalno s duljinom vizure,
- pogreške koje rastu s korijenom duljine vizure i
- pogreške koje rastu s kvadratom duljine vizure.

Opravdana je pretpostavka da su prve dvije skupine dominantne. Ukupna pogreška izmjerenog pomaka m_u mogla bi se tako, s izvjesnom aproksimacijom, izraziti formulom

$$m_u = m_c^2 + \frac{m_k^2}{\rho^2} d^2, \quad (6)$$

gdje su

- m_c — sumarna linearna vrijednost pogrešaka neovisnih o duljini vizure,
- m_k — sumarna kutna vrijednost pogrešaka (u linearnoj mjeri izravno ovisnih o duljini vizure).

Poznavajući vrijednosti parametara m_c i m_k , gornji izraz bi mogao poslužiti za proračun točnosti mjerenja pomaka.

Ako se parametri m_c i m_k dobivaju polazeći od empirijskih podataka ukupnih pogrešaka m_u , tada oni uključuju u sebi i pogreške iz gore navedene dvije posljednje skupine (Narobe 1968).

Na kraju treba primijetiti da se veći dio pogrešaka efikasno može eliminirati iz rezultata mjerenja, pridržavajući se poznatih pravila geometrijskog nivelmana: opažanje iz sredine i priključak nivelmanskih vlakova na zadane kote odnosno primjena tzv. zatvorenih vlakova.

U razmatranoj primjeni to bi se svelo na zahtjeve da se u svakoj fazi ponovno nivelmanskim vlakom mjeri visinska razlika između dva ista osnovna repera koji mogu biti na istoj ili suprotnim stranama građevine (mosta). Stajališta instrumenta u vlakovima birala bi se na sredinama između deformacijskih marki, koje bi tako bile identične s veznim točkama u klasičnom nivelmanu.

Međutim, gornji postupak moguće je koristiti samo u rijetkim slučajevima, kod manjih mostova i s veoma ograničenim brojem deformacijskih

marki. Općenito, opisanim idealnim programima mjerenja pomaka treba težiti, koliko je to moguće i svrsishodno. Naime u praksi su takvi programi teško provedivi, što je detaljnije obrazloženo u ranijim publikacijama (v. Narobe 1968).

LITERATURA

- Boljšakov, V. D. (1987): Spravočnoe posobie po prikladnoj geodezii, Nedra, Moskva 1987.
- Brajt, P. I. (1955): Geodezičeskie metodi izmerenija deformacij osnovanij i socruženij, Nedra, Moskva 1965.
- Janković, M. (1950): Inženjerska geodezija III, Liber, Zagreb 1950.
- Kapović, Z. (1984): Geodetske metode određivanja pomaka pri ispitivanju mostova, magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1984.
- Kapović, Z., Mastelić S. (1991): Ispitivanje vijadukta Limska Draga pokusnim opterećenjem, Geodetski list, 1991, 10—12.
- Kapović Z., Narobe Z., Mastelić S. (1990): Instrumentalne pogreške pri mjerenju kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina, Geodetski list, 1990, 1—3, 35—43.
- Kougija, V. A. (1986): Geodezičeskie raboti pri stroiteljstve mostov, Nedra, Moskva 1986.
- Narobe, Z. (1968): Geodetska mjerenja pri pokusnom opterećenju mostovnih konstrukcija, IV Kongres geodetskih inženjera i geometara Jugoslavije, Problematika primjene geodezije za potrebe inženjerskih projektiranja te za privredne i ekonomske potrebe, Sarajevo 1968, 30—50.
- Narobe, Z. (1974): Mjerenje pomaka i deformacija građevinskih konstrukcija u svrhu provjere njihove tehničke ispravnosti, Naučno-tehničko savetovanje — Inženjerska geodezija, Zbornik radova druga knjiga, Mostar 1974, 225—241.
- Narobe, Z., Kapović Z. (1983): Točnost mjerenja pomaka i deformacija građevina, Geodetski list, 1983, 10—12, 216—222.
- Narobe Z., Kapović Z., Fanton I. (1988): jerenje kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina, Geodetski list, 1988, 7—9, 249—253.
- Pavliv, P. V. (1980): Problemi visokotočnogo nivelirovanija, vovski gosudarstvenni universitet, Lvov 1980.

INSTRUMENT, OPERATOR AND OUTSIDE EFFECT ERRORS IN MEASURING VERTICAL BUILDING TEMPORAL DEFORMATIONS

With reference to the published articles (Geodetski list 1988, 7—9, 249—253 and 1990, 1—3, 35—45), the following is an analysis of the error effect connected with the use of the levelling staff in specific circumstances of measuring vertical construction deformations by the method of geometric levelling. Besides the usual ones, other practical methods of marking the survey points and beaconing points on a construction are presented. This article is considering both the operator' and the outside effect errors.

Primljeno: 1991-09-04