

UDK 528.482
Stručni rad

MJERENJE KRATKOTRAJNIH VERTIKALNIH DEFORMACIJA GRAĐEVINA

Zvonimir NAROBÉ, Zdravko KAPOVIĆ, Ivan FANTON — Zagreb*

Deformacije građevinskih konstrukcija, obzirom na njihovu vremensku postojanost, mogu biti veoma različite. Ekstremni slučajevi jesu, trenutne (elastične, povratne) deformacije koje egzistiraju svega nekoliko sekundi ili samo dijelova sekundi i nepovratne (plastične) deformacije, sa svojstvom da trajno sačuvaju svoju vrijednost. Primjer prvih bile bi deformacije uzrokovane stanovitim udarom na konstrukciju ili vibracijama. Od drugih navedimo npr. neravnomjerne pomake uslijed vlastite težine građevine u toku njene izgradnje.

Povezano sa trajanjem, posebno su karakteristične namjerno izazvane deformacije prilikom ispitivanja građevinskih objekata. Ovdje razlikujemo statička i dinamička opterećenja ispitivane konstrukcije. Kod statičkih je teret u stanju mirovanja dok se kod dinamičkih premiješta stanovitom brzinom.

Za opažanje vertikalnih pomaka građevine prilikom dinamičkih opterećivanja, metoda geometrijskog nivelmana ne može se uspješnije primijenjivati. Osnovni je razlog, prebrza izmjena faze opterećenja (mjesto i intenziteta sile) odnosno vrijednosti pomaka. U takvim slučajevima efikasnija je metoda direktnog optičkog viziranja, kojom se općenito opažaju deformacije pomičnih konstrukcija (dokova, brodova i sl.).

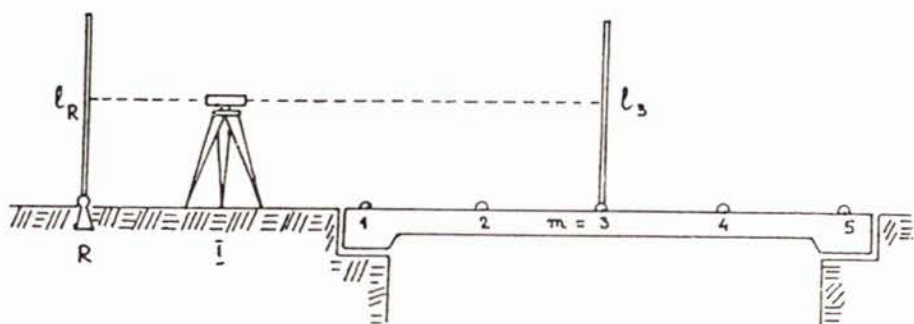
Kod statičkih ispitivanja, parametri opterećivanja ne mijenjaju se kroz stanoviti vremenski interval. Smatra se da je u tom intervalu građevina stabilna, odnosno, da su u istoj fazi deformacije nepromjenjive. Za mjerenje takvih »fazno postojanih« vertikalnih pomaka, metoda geometrijskog nivelmana, uz izvjesne modifikacije, veoma se uspješno primjenjuje. Kod statičkih opterećenja je povoljna okolnost i u tome da se, vremenski interval (dužina) neke faze često može regulirati, dakle i usaglasiti sa programom opažanja pomaka.

U ovom članku ukazati ćemo na neke specifičnosti mjerenja vertikalnih pomaka prilikom statičkih ispitivanja. Pri tome, ograničit ćemo se na slučajeve svojstvene tzv. pokusnim opterećenjima građevinskih konstrukcija. Radi pobliže definicije naslova članka, spomenimo još da ćemo pod terminom »krat-

* Adresa autora: Prof. dr Zvonimir Narobe, mr. Zdravko Kapović, Ivan Fanton, dipl. inž. — Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva ul. 26.

kotrajno« ovdje podrazumijevati vremenske intervale tj. dužine faza od približno jedne pa do nekoliko desetaka minuta.

Za ilustraciju primjene geometrijskog nivelmana uzмимо jednostavni primjer mjerenja pomaka na izdvojenom građevinskom elementu — nosaču oblika proste grede (slika 1). Pomaci neka se mjere na pet karakterističnih mjesta nosača; mjerna mjesta ($m = 1, \dots, 5$) su prethodno stabilizirana odgovarajućim markama na koje se postavlja nivelmanska letva. Prema slici, marka broj 3 je na polovini nosača, marke 2 i 4 na četvrtinama a 1 i 5 iznad ležajeva grede. Opažanja se oslanjaju na visinski stabilnu točku — reper R.



Slika 1.

Mjerenje pomaka praktički se sastoji od najmanje tri faze opažanja. Najprije se registrira stanje prije opterećenja — nulti položaj. Kod opterećene grede, marke se opažaju u drugoj fazi i zatim ponovno, nakon rasterećenja, u trećoj fazi. Faze opažanja odnosno opterećenja imaju dakle slijedeća obilježja:

- Faza 1 — opažanja kod neopterećene grede (tzv. nulta mjerenja)
- Faza 2 — opažanja kod stanovitog (poznatog) opterećenja
- Faza 3 — ponovna opažanja nakon rasterećenja grede.

Prema tome, razlikom u visini pojedine marke između faze 2 i faze 1 određena je vrijednost pomaka uzrokovanog opterećenjem, a razlikom faze 3 i faze 1 vrijednost zaostalog pomaka (tzv. trajna deformacija). Pri iskazivanju rezultata, ove se razlike obično naznačuju kao pomaci za faze 2(1) odnosno faze 3(1).

Razumljivo, vrijednost pomaka ne računa se iz apsolutnih visina (kota), nego relativnih, u odnosu na odabrani stabilni (nulti) reper. Budući da je to značajno za daljnja razmatranja, način računanja pomaka obrazložiti će se detaljnije.

Prema slici, neka je,

l_R — čitanje letve na reperu (stabilnoj točki izvan zone mogućih visinskih pomaka)

l_m — čitanje letve postavljene na marki za koju se određuje vertikalni pomak.

Visina marke od horizonta repera R kao nultog nivoa, izmjerena u fazi 1, bit će

$$h_m^{(1)} = l_R^{(1)} - l_m^{(1)}, \quad (1)$$

a visina iste marke izmjerena u fazi 2

$$h_m^{(2)} = I_R^{(2)} - I_m^{(2)}, \quad (2)$$

Vrijednost vertikalnog pomaka u fazi 2, $(f_m^{(2)})$ kao razlika opažanja u fazama 1 i 2, bit će,

$$f_m^{(2)} = h_m^{(1)} - h_m^{(2)} = (I_R^{(1)} - I_m^{(1)}) - (I_R^{(2)} - I_m^{(2)}). \quad (3)$$

Primjena metode geometrijskog nivelmana kod mjerenja pomaka, sa kratkotrajnim fazama, pri pokusnim opterećenjima građevina, ima izvjesnih specifičnosti. Jedna od bitnijih značajki jeste u tome da se čitanja na reper u različitim fazama, $I_R^{(1)}$, $I_R^{(2)}$, $I_R^{(3)}$, ..., najčešće međusobno vrlo malo razlikuju. Obzirom na ovu okolnost, svrsishodno je primijeniti prikladniji način računanja pomaka.

Izraz (3) napišemo sa izmijenjenim redosljedom članova:

$$f_m^{(2)} = (I_m^{(2)} - I_m^{(1)}) + (I_R^{(1)} - I_R^{(2)}). \quad (4)$$

Ako se ovdje razlika čitanja letve na marki u fazi 2, obzirom na nulto opažanje u fazi 1, obilježi sa

$$\Delta I_m^{(2)} = I_m^{(2)} - I_m^{(1)}, \quad (5)$$

a razlika čitanja letve na reperu tretira kao promjena visine horizonta vizure u fazi 2 i smatra korekcijom za (5) tj.

$$K^{(2)} = I_R^{(1)} - I_R^{(2)}, \quad (6)$$

pomak marke u fazi 2 računao bi se prema izrazu

$$f_m^{(2)} = \Delta I_m^{(2)} + K^{(2)}. \quad (7)$$

Prema gornjim formulama, za pomake f_m rezultiraju predznaci uobičajeni u građevinarstvu tj. pozitivni predznak ukazuje na smjer prema dolje (spuštanje, slijegavanje), negativni prema gore (izdizanje na mjernom mjestu).

Analogno izloženom načinu računanja pomaka za fazu 2(1), na osnovi opažanja u fazi 3 i fazi 1 računali bi se pomaci za fazu 3(1) itd.

Općenito, pomak neke marke u bilo kojoj, i — toj fazi opažanja, u odnosu na stanje iz faze 1, suglasno izrazima (4) ... (7), računao bi se po formuli

$$f_m^{(i)} = \Delta I_m^{(i)} + K^{(i)} \quad (8)$$

gdje su,

$$\Delta I_m^{(i)} = I_m^{(i)} - I_m^{(1)}, \quad (9)$$

$$K^{(i)} = I_R^{(1)} - I_R^{(i)}. \quad (10)$$

Upotrebljavajući prikladni formular zapisnika, korisno je odmah u toku ispitivanja građevine, izračunavati vrijednosti pomaka. Time se onda, raznim analogijama i upoređivanjem pomaka, veoma efikasno kontroliraju podaci i

uočavaju eventualne anomalije ili pogreške mjerenja, koje se još mogu, ponovljenim fazama i opažanjima, provjeriti odnosno ispraviti. Osim toga prednost je, već u toku radova raspolagati sa osnovnim pokazateljima o »ponašanju« građevine pod opterećenjem. Po potrebi, tada se naime može uspješno i racionalizirati program ispitivanja (skratiti, dopuniti).

Umjesto izdvojenog elementa kao na slici, za daljnja razmatranja uzмимо primjer mjerenja pomaka na jednostavnijoj građevinskoj konstrukciji. Neka je to npr. manji most, sa samo jednim otvorom i sa dva paralelna uzdužna nosača (dvije grede).

Kod spomenute konstrukcije, pomaci će se u pravilu opažati na mjernim mjestima uzduž barem dvije paralelne linije. Poželjno je da os nosača i linija opažanja budu u istoj vertikalnoj ravnini. Međutim, u praksi se od toga često odstupa, uglavnom, zbog dispozicije tereta na objektu. Kod cestovnih mostova, mjerne marke se zato najčešće stabiliziraju uz rubove kolovoza. Iz tako izmjerenih pomaka, podaci relevantni za analize nosivosti građevine, proračunavaju se kasnije interpolacijom.

Uobičajeno ispitivanje opisane konstrukcije, sastoji se od jednog ciklusa mjerenja koji uključuje nekoliko faza opažanja: početne faze pri neopterećenom mostu, zatim jedne ili više faza sa različitim opterećenjem i na kraju opet opažanja kod rasterećenog mosta. Treba nastojati da se cijeli takav ciklus mjerenja izvrši, ne mijenjajući stajalište instrumenta.

Međutim, teret na mostu redovito će spriječiti dogledanje do svakog mjernog mjesta sa istog stajališta nivelira. U tom slučaju, najbolje je primijeniti istovremena opažanja sa dva nivelira. Upotrebu jednog nivelira, uz njegovo premiještanje u istom ciklusu mjerenja, treba izbjegavati. Za naš primjer, najpovoljnije bi bilo postaviti instrumente u linije opažanja, na stabilnija mjesta, nekoliko metara izvan konstrukcije.

Ukoliko je udovoljeno gornjim preporukama, tada se povremeno, očitavanjem letve na reperu l_R , provjerava stabilnost instrumenta. Učestalost kontrolnih čitanja ovisi o sigurnosti stajališta. U normalnim okolnostima, letva na reperu ponovo se očitava u svakoj novoj fazi opterećenja.

Općenito, fluktuacija očitanih vrijednosti $l_R^{(1)}, l_R^{(2)}, l_R^{(3)} \dots$, ukazuje na postojanost horizonta vizure nivelira. Iskusniji opservator, uzimajući u obzir postojeće uvjete, lako će zaključiti radi li se o značajnim razlikama ili su one posljedica neminovnih slučajnih pogrešaka mjerenja. U drugom slučaju, kada su dakle vrijednosti K^2, K^3, \dots minimalne, ova korekcija se i ne uvodi. Smatra se da je visina horizonta vizure stabilna ($K = 0$), čime se i računanje pomaka prema (8) pojednostavljuje.

U ovom članku, navedene su samo najosnovnije karakteristike i metodika opažanja kratkotrajnih »faznih pomaka« građevine. O specifičnostima u raznim uvjetima mjerenja i praktičnim primjenama bit će govora drugom prilikom.

Primijetimo još na kraju da su, u prednjem tekstu, pomaci odnosno deformacije tretirani kao istoznačni termini. Razumljivo, razlika nije bitna samo za interpretacije vezane uz tematiku članka. Inače, za analize vertikalnih deformacija građevina, mjerodavni parametri jesu *progibi*. U našem primjeru, to bi bili pomaci reducirani na ležajeve grede.

LITERATURA

- [1] Kapović, Z.: Geodetske metode određivanja pomaka pri ispitivanju mostova, magistarski rad, Geodetski fakultet — Zagreb 1984.
- [2] Narobe, Z.: Geodetska mjerenja pri pokusnom opterećenju mostovnih konstrukcija; Problematika primjene geodezije za potrebe inženjerskih projektiranja te za privredne i ekonomske potrebe, IV. Kongres geodetskih inženjera i gometara Jugoslavije — Sarajevo 1968.
- [3] Levčuk, G. P.: Kurs inženernoj geodezii, Nedra — Moskva 1970.
- [4] Viduev, N. G. Rakitov D. I.: Priloženie geodezii v inženerno — stroiteljnom dele, Nedra — Moskva 1964.

SAŽETAK

U članku se ukazuje na najvažnije karakteristike opažanja kratkotrajnih vertikalnih deformacija, metodom geometrijskog nivelmana. Razmatranje je povezano sa ilustracijom primjene mjerenja pomaka prilikom statičkog pokusnog opterećivanja mosta sa jednim otvorom.

ZUSAMMENFASSUNG

Durch geometrischer Nivellement bestimmt, wird hier auf die Haupteigenschaften der Beobachtung zeitlich begrenzten Vertikaldeformationen der Bauwerke verweisen. Die Betrachtung ist mit illustriertem Beispiel bei Vermessung der Vertikalbewegungen bei Versuchsbelastung einer Brücke mit einem Durchlass verknüpft.

Primljeno: 1987-06-27