

Hrvoje Biondić, ing.geod. ▶ Geokod d.o.o., 31000 Slavonski Brod, Matije Gupca 30, e-mail: hbiondic@gmail.com

PROBNO OPTEREĆENJE MOSTOVA

SAŽETAK

MOSTOVI SU GRAĐEVINSKI OBJEKTI KOJI SU SASTAVNI DIO GOTOVO SVAKE PROMETNICE. NJIHOVA OŠTEĆENJA ČESTO REZULTIRAJU KOLAPSI PROMETNOG SUSTAVA, A OSOBITO UTJEČU NA SIGURNOST U PROMETU. DA BI SE TAKVO ŠTO IZBJEGLO POTREBNO JE PRIJE PUŠTANJA MOSTOVA U PROMET OBAVITI STANOVITE KONTROLE KOJE ĆE UNAPRIJED DATI PODATAK POSTOJI LI MOGUĆNOST OD BUDUĆE ŠTETE. JEDNA OD NJIH JE TZV. PROBNO OPTEREĆENJE O KOJEMU ĆE U OVOM RADU BITI VIŠE RIJEČI, S POSEBNIM NAGLASKOM NA RADOVE KOJE PROVODE GEODETI.

KLJUČNE RIJEČI

most
opterećenje
promet

1. UVOD

Gradnja svake građevine traži njezino kontroliranje. Mostovi kao građevine mogu se razlikovati međusobno po mnogim osobinama kao npr. dužini, širini, namjeni itd., ali im je zajedničko to da se nad njima moraju provoditi ispitivanja. Pravilnik o ispitivanju mostova pokusnim ili probnim opterećenjem (HRN U.M1.046) je jedan od dijelova zakonske regulative koji se mora ispoštovati. U njemu je navedena svrha, vrste opterećenja, postupci, te ocijene rezultata ispitivanja konstrukcija. Konstrukcije mostova mogu biti armiranobetonske, prednapregnute betonske, čelične, drvene, plastične i sl. Predstojeći redci ovog teksta opisivati će postupak provođenja probnog opterećenja na armiranobetonskim mostovima.

2. RUŠENJE MOSTOVA

Konačni cilj gradnje mostova je spajanje. Mostovi spajaju naselja, sela, gradove, države. To su složene građevine u čijem nastajanju sudjeluju mnogi stručnjaci iz različitih strukovnih djelatnosti. Međutim, mostovi se i ruše. Rušenju mostova obično predstoji nekakva kataklizma, kao npr. poplava, jaki vjetrovi ili udari vjetra, velike temperaturne promjene, potres i slično. To je *nenamjerno* rušenje. Postoji, dakako, i *namjerno* rušenje. Most se namjerno ruši kada se ustanovi njegova dotrajalost pa bi kao takav predstavljao opasnost u prometu ili ako drukčija prometna rješenja zahtijevaju izgradnju novog objekta, a stari se ocjenjuje kao neupotrebljiv. U novijoj povijesti Republike Hrvatske imamo podosta primjera namjernog rušenja mostova i svi su uglavnom vezani za razaranja u Domovinskom ratu, gdje se prometnica »presjeca« na mostu kao jednom od njenih najvitalnijih dijelova. Primjeri takvog rušenja prikazani su na slikama 1 i 2.

Nadalje, do oštećenja i rušenja mostova dolazi i



SLIKA 1. Most na rijeci Savi (Slavonski Brod)



SLIKA 2. Most na rijeci Savi (Slavonski Brod)

zbog prometnih nesreća, udarima plovnih i kopnenih vozila u stupove ispod nadvožnjaka koje kao posljedicu imaju veće ili manje materijalne štete, a nekada i ljudske žrtve.

Iz gore navedenoga može se zaključiti da postoji potreba o kontinuiranog praćenja pomaka i deformacija mosta kako bi se na vrijeme moglo reagirati u slučaju primijećenih nedostataka.



SLIKA 3. Statičko ispitivanje mosta

3. PROBNO ILI POKUSNO OPTEREĆENJE MOSTOVA

Projektom su predviđene tehničke osobine koje treba zadovoljiti građevina nakon gradnje. Ispitivanja materijala od kojih se gradi objekt su obavezna i moraju biti kontinuirana. Isto važi i za komponente od kojih se sastoji građevni materijal. To su zapravo pojedinačna mjerenja koja kao takva nisu dovoljna za ocjenu kvalitete izrađene građevine, već je poslije završenih radova potrebno napraviti ispitivanje gotove konstrukcije pod određenim opterećenjem.

Sve su to postupci na osnovi kojih će se ustanoviti postoje li uvjeti na temelju kojih se može reći da je izvedena konstrukcija tehnički ispravna, da je ponašanje konstrukcije pod opterećenjem u skladu sa statičkim proračunom predviđenog projektom, te da ne postoje funkcionalni nedostaci prilikom opterećenja.

Probna opterećenja se mogu svrstati u više vrsta. Tako prema učestalosti ispitivanja probna opterećenja mogu biti *redovita*, odnosno prije puštanja mosta u eksploataciju i *kontrolna*. Podjela prema veličini tereta je na *normalna* probna opterećenja, *posebna opterećenja* i *izuzetna opterećenja*. Ukoliko nisu postignuti svi zahtjevi iz projekta i postoje sumnje glede spojeva te ako konstrukcija nije zadovoljila ni nakon ponovljenog pokusnog opterećenja, takva vrsta opterećenja se nazivaju *posebna probna opterećenja*. *Izuzetna* probna opterećenja se provode samo u slučaju zahtjeva za većim opterećenjem od projektog, a rezultati vrijede jednokratno samo za to preopterećenje mosta kao npr. prijelaz specijalnih tereta. Po prirodi opterećenja su *statička* i *dinamička*. I *statičko* i *dinamičko* probno opterećenje je obavezno za cestovne mostove raspona 15 ili više metara, za željezničke mostove raspona 10 i više metara te mostove s posebnim i izuzetnim probnim opterećenjem neovisno o rasponu. Prema trajanju opterećenja su: *kratkotrajna* i *dugotrajna*. Statička probna opterećenja se provode na potpuno dovršenom mostu. Nužno je da se na mostu tijekom ispitivanja ne obavljaju nikakvi drugi radovi. Osim toga, prije ispitivanja potrebna je provjera izmjera elemenata i kvaliteta ugrađenog materijala (starost betona glavne konstrukcije ne smije biti manja od 28 dana). Da bi se uopće moglo početi provoditi probno opterećenje potrebno je prethodno napraviti: uvid u projektnu dokumentaciju, sastaviti program ispitivanja koji obuhvaća veličinu i raspored tereta po fazama, proračun očekivanih deformacija i

progiba, raspored mjernih mjesta i shemu ispitivanja. Nadalje, potrebno je napraviti uvid u dokumentaciju o kvaliteti materijala i naposljetku provesti makroskopski pregled mosta.

Razvojem računalne tehnologije eksperimentalna su istraživanja i ispitivanja konstrukcija postala složenija i kao takva daju sve iscrpnije rezultate iz kojih se primjenom različitih softverskih rješenja mogu do najsitnijih detalja protumačiti osobine neke konstrukcije. Kombiniranjem teorije i prakse dolazi se do sve složenijih, ali i laganijih konstrukcija te se u primjeni koriste novi materijali.

Konstrukcija u uporabi mora zadovoljiti slijedeće zahtjeve:

- Konstrukcija i svi njezini elementi moraju biti čvrsti i stabilni da bi mogli nositi predviđeno opterećenje.
- Pomaci pojedinih točaka konstrukcije ne smiju biti veći od pomaka koji su dopušteni uvjetima uporabe.
- Konstrukcija pod opterećenjem ne smije biti dovedena u stanje u kojemu nastaju pukotine i oštećenja koja smanjuju predviđeni način eksploatacije ili skraćuju vijek trajanja konstrukcije.

Statičko ispitivanje mosta prikazuje slika 3. Kamioni natovareni određenim teretom postupno opterećuju i rasterećuju most.

Ovom vrstom ispitivanja utvrđuju se reakcije konstrukcije na određena statička opterećenja koja su predviđena projektom. Za poznate tipove konstrukcija dozvoljava se eksploatacija do opterećenja sloma. Kod armiranobetonskih konstrukcija, prije sloma obično se pojavljuju manje pukotine. Kod opterećenja drvenih konstrukcija pojavljuju se zvučna upozorenja kao što je pucketanje drveta, ali kod čeličnih konstrukcija eksploatacija ponekad nije dopustiva jer slom, osim gubitka čvrstoće, može biti uzrokovan i gubitkom stabilnosti poput izvijanja, izbočivanja i sl., a bez prethodne ili vrlo teško uočljive najave, (Kapović, 1994).

Pravilnikom za ispitivanje mostova probnim opterećenjem daje se i ocjena rezultata.

Most će se smatrati ispravnom konstrukcijom ako su:

- Izmjereni progibi i pomaci manji ili jednaki teorijskim.
- Izmjereni trajni progibi nakon rasterećenja manji od 15% maks. mjerenih progiba na istom mjestu za čelične i spregnute mostove, 20% mjerenih progiba za mostove prednapregnutog betona i 25% maks. mjerenih progiba za armiranobetonske mostove.
- Širina mjerenih pukotina kod armiranobetonskih mostova manja od dozvoljenih, sukladno tehničkim propisima.
- Veličine izmjerenih progiba takve da ne utječu na funkcionalnost ili estetski izgled konstrukcije.

U slučaju da gore navedeni uvjeti nisu zadovoljeni, a trajni progibi su prekoračeni do 25%, potrebno je ponoviti probno opterećenje, pri čemu trajni progibi ne smiju prekoračiti: 7,5% mjerenih vrijednosti pod opterećenjem za čelične konstrukcije, 10% mjerenih vrijednosti za mostove od prednapregnutog betona i 12,5% mjerenih vrijednosti za mostove od armiranog betona, (Kapović, 1994).

4. OSNOVNA GEODETSKA MREŽA

Polazna osnova za sva geodetska mjerenja na svakom objektu, a tako i na mostu, čini *osnovna geodetska mreža*. Za geodetske poslove pri ispitivanju mosta probnim opterećenjem vrlo je važno imati geodetsku mrežu izvan zone radova (reper) i mrežu točaka na samom objektu (mjerna mjesta). Geodetske mreže za ovakva mjerenja, uglavnom stoje samostalno i prilagođavaju se obliku i vrsti objekta na kojemu će se provoditi opažanja, a sama geometrija mreže mora zadovoljiti već prihvaćene zahtjeve za točnost. Stabilizaciji tih točaka treba posvetiti osobitu pažnju. Naime, svrha je mreže da ostane nepromijenjena dulji vremenski period kako bi mjerenja na mostu bila neprekinuta. Stabilizaciju je najbolje izvesti u obliku betonskog stupa u čiji je vrh ubetoniran vijak s navojem za postavljanje instrumenta. Budući da su točke osnovne geodetske mreže polazne pri određivanju pomaka na mostu, važno je ispitati i njihovu stabilnost.

Točke na objektu koji se ispituje nazivaju se *mjerna mjesta*. Njihov se raz-

mještaj određuje na osnovi plana u kojem sudjeluju projektant, geolog i geodet. Mostovi su nosive konstrukcije i stoga je iznimno važno imati saznanja o njihovim vertikalnim pomacima. Geometrijski nivelman kao geodetska metoda mjerenja vertikalnih pomaka, pokazala se nezamjenjivom. način određivanja vertikalnog pomaka neke točke na mostu prikazuje slika 4.

Vertikalni pomak točke T određuje se prema formuli (Kapović 1994):

$$f_T = h_T^2 - h_T^1$$

gdje je:

f_T - vertikalni pomak točke T

h_T^1 - visina točke T u seriji 1

h_T^2 - visina točke T u seriji 2

Vertikalni pomak točke na mostu je razlika njene visine određene u dvije različite serije mjerenja. Serija 1 je tzv. *nulto mjerenje*, tj. kada most nije bio opterećen nikakvim teretom, a serija 2 predstavlja mjerenje u vrijeme dok je most opterećen teretom.

Iz slike je vidljivo da se određivanje pomaka točke T provodi u odnosu na "čvrstu" referentnu točku R, tj. reper. Ukoliko reper R zadržava istu visinu u svim serijama mjerenja, pomak točke T se može izračunati vrlo jednostavno, ali ako je referentni reper nestabilan, a otprije se zna, da je prisustvo pogrešaka neizbježno, tada će prema (Kapović 1994) biti:

$$f_i = f_s + f_R + \varepsilon_i$$

gdje je:

f_i - izmjereni pomak

f_s - stvarni pomak

f_R - pomak referentnog repera

ε_i - pogreška mjerenja

Najmjerodavniji element u ocjenjivanju izdržljivosti, nosivosti i kvaliteti mosta je vertikalni pomak. Iz tog razloga treba uvijek izrazitu pažnju dati mjerenjima, odnosno treba znati koju točnost treba postići za kvalitetnu analizu podataka. Optimalna točnost mjerenja pomaka je u granicama:

$$\frac{1}{20} \left\langle \frac{\delta_f}{f} \right\rangle < \frac{1}{10}$$

gdje je:

δ_f - standardna devijacija

f - veličina pomaka

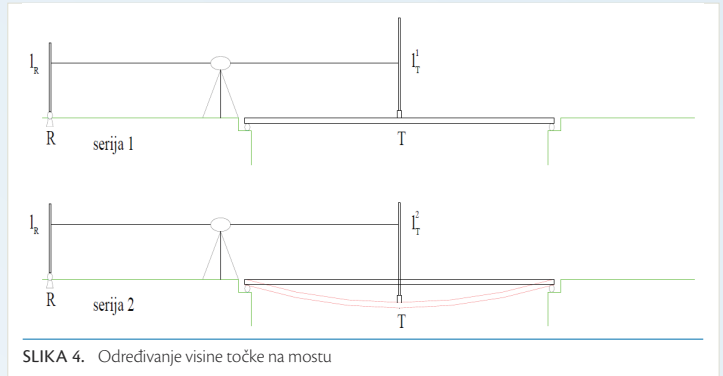
Međutim, zadovoljavajuće podatke za obradu mogu se dobiti i u granicama:

$$\frac{1}{10} \left\langle \frac{\delta_f}{f} \right\rangle < \frac{1}{5}$$

Ako postoji mogućnost za postizanje veće točnosti od ove, preporuča ju se primijeniti.

5. MJERENJE (STATIČKA ISPITIVANJA)

Za opis mjerenja poslužit će primjer ispitiva-

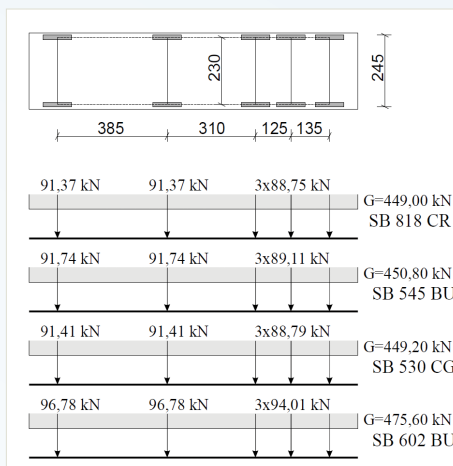


SLIKA 4. Određivanje visine točke na mostu

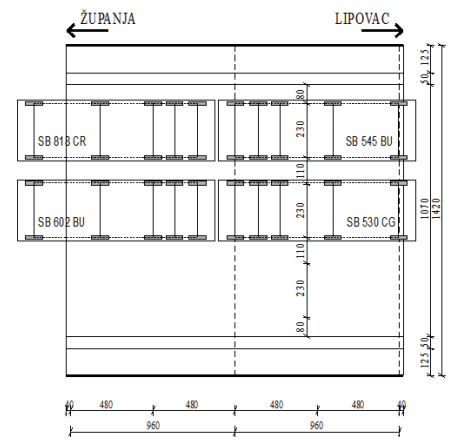
nja armiranobetonskog mosta južnog kolnika na autocesti Zagreb-Lipovac (stac. 461+472.42) kao redovito ispitivanje prije puštanja u promet. Ispitivanje je obavljeno pri djelovanju normalnog probnog opterećenja. U suradnji s projektantom potrebno je sačiniti program za ispitivanje mosta. Program ispitivanja statičkim opterećenjem treba sadržavati sve kombinacije opterećenja koje će izazvati najnepovoljnije utjecaje na pojedinim dijelovima konstrukcije. Statičko opterećenje se obično provodi kamionima napunjenih pijeskom ili šljunkom koji su izvagani, a teret se raspoređuje po osovinama sukladno prospektima proizvođača (slika 5).

Most će se opterećivati sukladno fazama i shemi opterećenja koji se sa- stavljaju prije početka mjerenja. Statičko opterećenje (u ovom primjeru) sadrži šest faza:

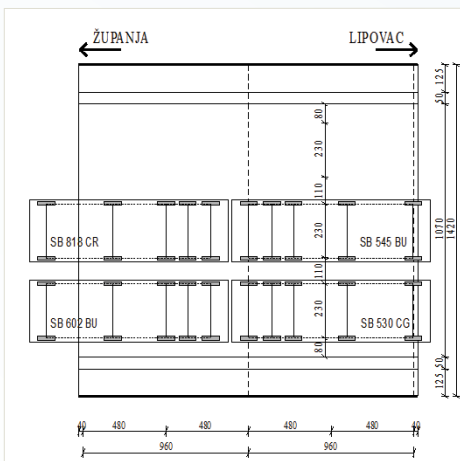
1. faza - most neopterećen, očitavanje nultog stanja na mostu,
2. faza - nesimetrično opterećenje mosta preko dvije trake (sjeverna i srednja) duž cijelog raspona (slika 6),
3. faza - most neopterećen, mjerenje zaostalih pomaka,
4. faza - nesimetrično opterećenje mosta preko dvije trake (srednja i južna) duž cijelog raspona (slika 7),
5. faza - simetrično opterećena sredina raspona (slika 8),



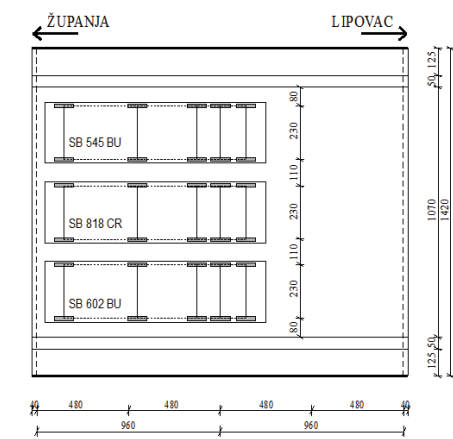
SLIKA 5. Osovinska opterećenja kamiona



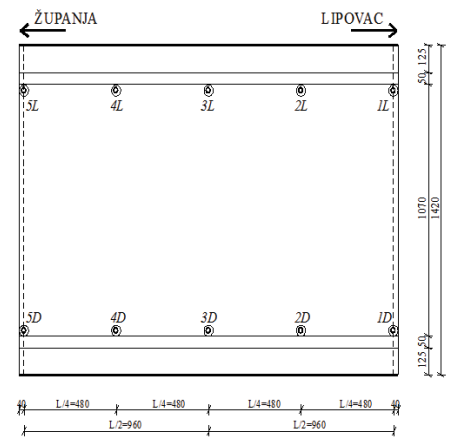
SLIKA 6. Raspored opterećenja za fazu 2



SLIKA 7. Raspored opterećenja za fazu 4



SLIKA 8. Raspored opterećenja za fazu 5



SLIKA 9. Skica rasporeda mjernih mjesta

Br	Oznaka kamiona	Marka kamiona	Ukupna težina (kN)
1	SB 818 CR	MAN 19 362	449,00
2	SB 602 BU	MAN 19 463 Silent	475,60
3	SB 545 BU	MAN 19 463 Silent	450,80
4	SB 530 CG	MAN TG410A	449,20
Ukupno			1824,60

TABLICA 1. Podaci o korištenim kamionima

Mjerno mjesto	Faze ispitivanja		
	2	4	5
2L	-6,9655	-3,0231	-4,2807
3L	-9,9252	-4,2703	-6,2827
4L	-6,9563	-3,1641	-4,5637
2D	-3,0472	-7,0202	-4,5169
3D	-4,3052	-10,0171	-6,6324
4D	-3,1888	-7,0266	-4,8061

TABLICA 2. Proračun očekivanih vrijednosti mjerenih veličina (progibi u mm)

6. faza - most rasterećen, mjerenje zaostalih progiba i deformacija.

Već je ranije rečeno da je za geodetska mjerenja važno imati geodetsku osnovu koju čini referentna točka (reper) izvan zone mjerenja i točke na samom objektu, tj. mjerna mjesta. Mjerna mjesta definiraju položaj na objektu na kojem će se mjeriti pomaci. Za stabilizaciju mjernih mjesta obično se koriste bolcne koje geodeti svakodnevno upotrebljavaju u svome radu. Raspored mjernih mjesta na objektu koji je predmet ispitivanja prikazuje slika 9.

Mjerenje pomaka geodetski se provodi u uzdužnom smjeru nad ležajevima i u svim četvrtinama raspona (5 mjesta), a u poprečnom na linijama rubnjaka (2 linije). Ukupan broj mjernih točaka je $2 \times 5 = 10$.

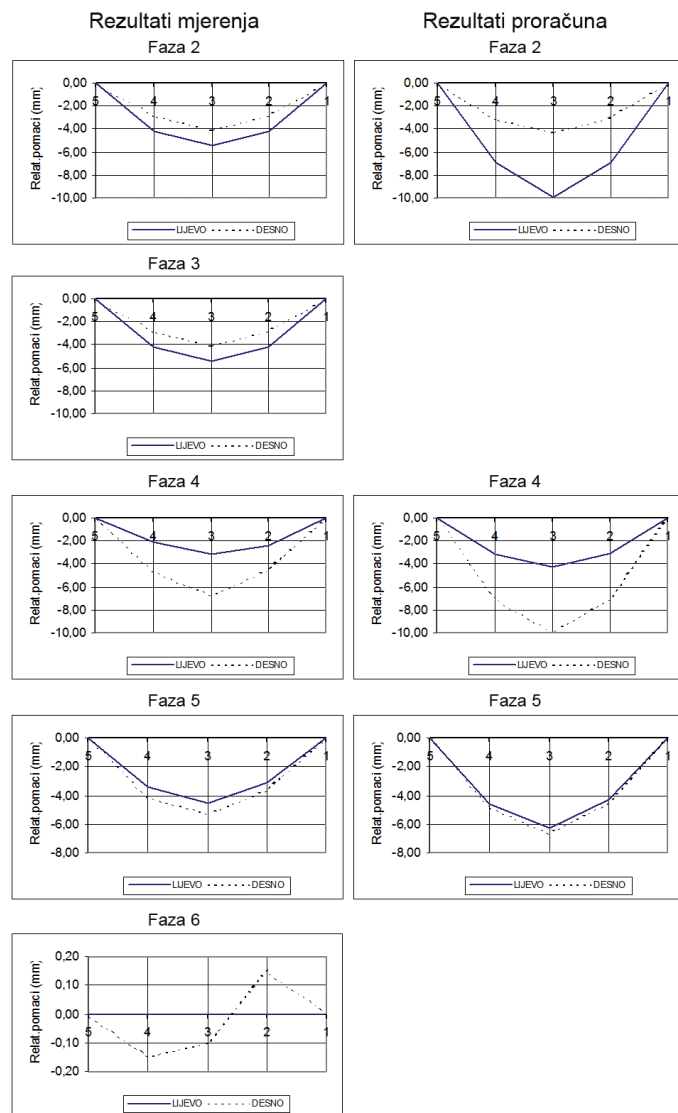
Kako bi se postigla što bolja točnost potrebno je više vremena za mjerenje i skuplja mjerna oprema. Geodetski instrumentarij i pribor koji će dati zadovoljavajuću točnost za ovakvu vrstu mosta je precizni nivelir Zeiss KONI 007 i polucimetarske letve s invarnim trakama.

Prije mjerenja potrebno je sastaviti proračun očekivanih mjerenih veličina (tablica 2). Nakon mjerenja radi se obrada podataka i prikazuju se podaci (tablica 3). Dobiveni rezultati se na kraju uspoređuju s računskim rezultatima po fazama mjerenja (slika 10).

Kao završni korak u ispitivanju mostova probnim opterećenjem je sastavljanje izvješća koje izdaje tijelo koje je ispitivanje i provelo. U izvješću mora biti naznačena vrsta probnog opterećenja. Izvješće može biti *privremeno* s osnovnim podacima o ispitivanju i zaključkom o podobnosti mosta za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja i *konačno* sa svim podacima o ispitivanju, usporednim teorijskim proračunima, analizom rezultata i zaključkom o podobnosti mosta za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja. Privremeno izvješće važi do izrade konačnog i to najdulje šest mjeseci.

Mjerno mjesto	Pomaci (mm)					Relativni pomaci (mm)					
	Faze ispitivanja					Faze ispitivanja					
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	trajno (%)
1L	-0,90	-0,40	-0,60	-0,80	-0,40						
2L	-5,20	-0,30	-3,10	-4,00	-0,40	-4,18	0,10	-2,35	-3,13	0,00	0,00
3L	-6,60	-0,50	-4,10	-5,50	-0,40	-5,45	-0,10	-3,20	-4,55	0,00	0,00
4L	-5,40	-0,50	-3,10	-4,40	-0,40	-4,13	-0,10	-2,05	-3,38	0,00	0,00
5L	-1,40	-0,40	-1,20	-1,10	-0,40						
1D	-0,90	-0,70	-1,40	-1,20	-0,50						
2D	-3,70	-0,20	-6,00	-4,80	-0,30	-2,85	0,38	-4,58	-3,65	0,15	3,28
3D	-4,90	-0,40	-8,20	-6,40	-0,50	-4,10	0,05	-6,75	-5,30	-0,10	1,48
4D	-3,60	-0,60	-6,10	-5,20	-0,50	-2,85	-0,28	-4,63	-4,15	-0,15	3,24
5D	-0,70	-0,20	-1,50	-1,00	-0,30						

TABLICA 3. Rezultati mjerenja pomaka



SLIKA 10. Usporedba mjerenih i računskih rezultata

6. ZAKLJUČAK

Kroz povijest su ljudi gradili građevine čijoj se impozantnosti, ljepoti i dugotrajnosti divimo i danas. Načine, metode i proračune koje su građevinari tada koristili za izgradnju i kontrolu svojih djela možda nikada nećemo saznati, a niti to jesu li uopće i provodili kontrole te će sve ostati samo na pretpostavkama. Ali isto tako, kroz povijest smo bili i svjedoci mnogih katastrofa, pa se provođenje kontrola, same po sebi nameću kao nužnost. Probno opterećenje samo je jedan segment u cijelom nizu kontrola koje prolaze građevine današnjeg vremena, a osobito mostovi.

LITERATURA

- › Kapović, Z. (1994): Analiza rezultata mjerenja pomaka mosta preko Pazinske jame, Geodetski list, 4, str. 361-368.
- › Janković, M. (1966): Inženjerska geodezija 1.dio, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, str. 329-334.
- › Janković, M. (1981): Inženjerska geodezija 2.dio, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, str. 163-173.
- › Beoković, V. (1969): Geodezija u inženjerskim radovima, Uprava inženjerije KoV JNA, str. 367-371.
- › Pravilnik o ispitivanju mostova pokusnim opterećenjem (2005): norma HRN U.M1.046.
- › Arhiv muzeja Brodskog Posavlja, Slavonski Brod. [B]