

## ISPITIVANJE VIJADUKTA LIMSKA DRAGA POKUSNIM OPTEREĆENJEM

Zdravko KAPOVIĆ, Siniša MASTELIĆ-IVIĆ — Zagreb\*

*SAŽETAK: U radu su predočene teorijske osnove, praktična razmatranja i primjer određivanja vertikalnih pomaka pri pokusnom ispitivanju mostova. Posebno se upozorava na probleme geodetskih radova pri ispitivanju duljih kontinuiranih mostovnih konstrukcija.*

### UVOD

Na stacionaži 7+454,00 Jadranske autoceste kroz Istru (poluautoceste) na dionici Dragonja—Vodnjan, nalazi se Limski kanal. Taj prekrasni fjord, širok na mjestima i više od 500 m, trebalo je premostiti objektom pogodnim za svladavanje ove prirodne zapreke. Izrađeno je devet idejnih rješenja za prijelaz preko kanala. Nakon provedenih studija odlučeno je projektirati i izgraditi vijadukt čelične, protežite (kontinuirane) sandučaste konstrukcije. Projektni zadatak povjeren je projektantima IPZ-a iz Zagreba. Građevinske radove na donjem stroju izvelo je poduzeće »Viadukt«, a čeličnu konstrukciju poduzeće »Đ. Đaković« iz Slavenskoga Broda.

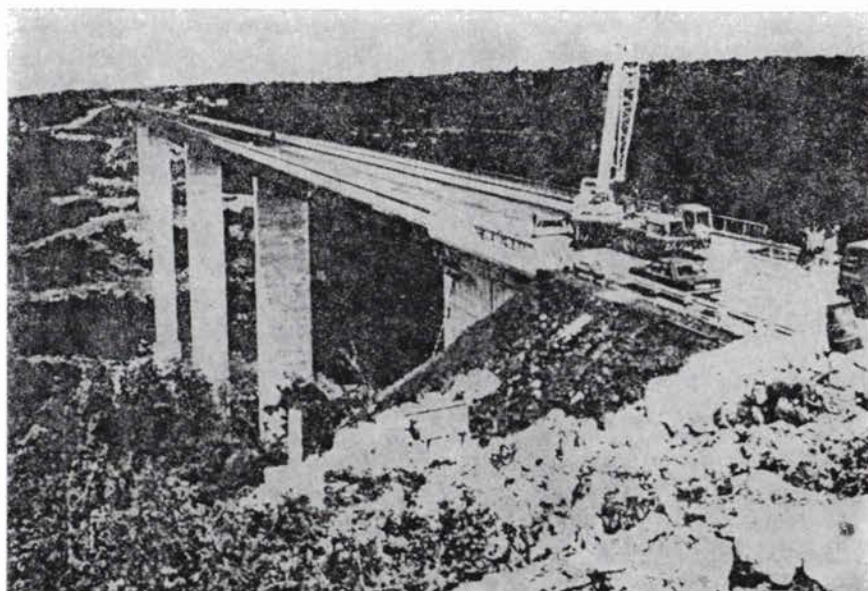
### GLAVNE ZNAČAJKE VIJADUKTA

Duljina vijadukta je 552 metra, s niveletom od oko 125 m iznad dna doline. Širina kolnika je 7,7 m, a pješačkih staza 1,0 m. Konstrukcija je sandučasta, širine 5,7 m i promjenljive visine, od 3,0 do 5,5 metara. Donji stroj vijadukta je od armiranog betona. Izgrađena su četiri stupa (poprečni presjek 8,0 × 4,9) od kojih je najviši 111 metara. I stupovi i upornjaci su šuplji. Otvori između stupova su: 80—100—160—100—80 m.

### ISPITIVANJE VIJADUKTA PROBNIM OPTEREĆENJEM

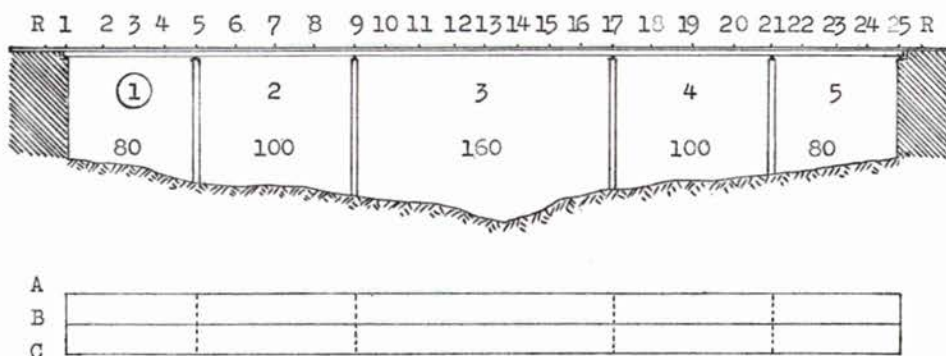
Na ispitivanje gotovih konstrukcija obvezuje Pravilnik o tehničkim normativima čeličnih konstrukcija. Pokusnim opterećenjem provjerava se sposobnost konstrukcije za preuzimanje opterećenja predviđenih projektom.

\* Mr. Zdravko Kapović, Siniša Mastelić-Ivić, dipl. inž., Geodetski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26.



Slika 1. Vijadukt Limska draga

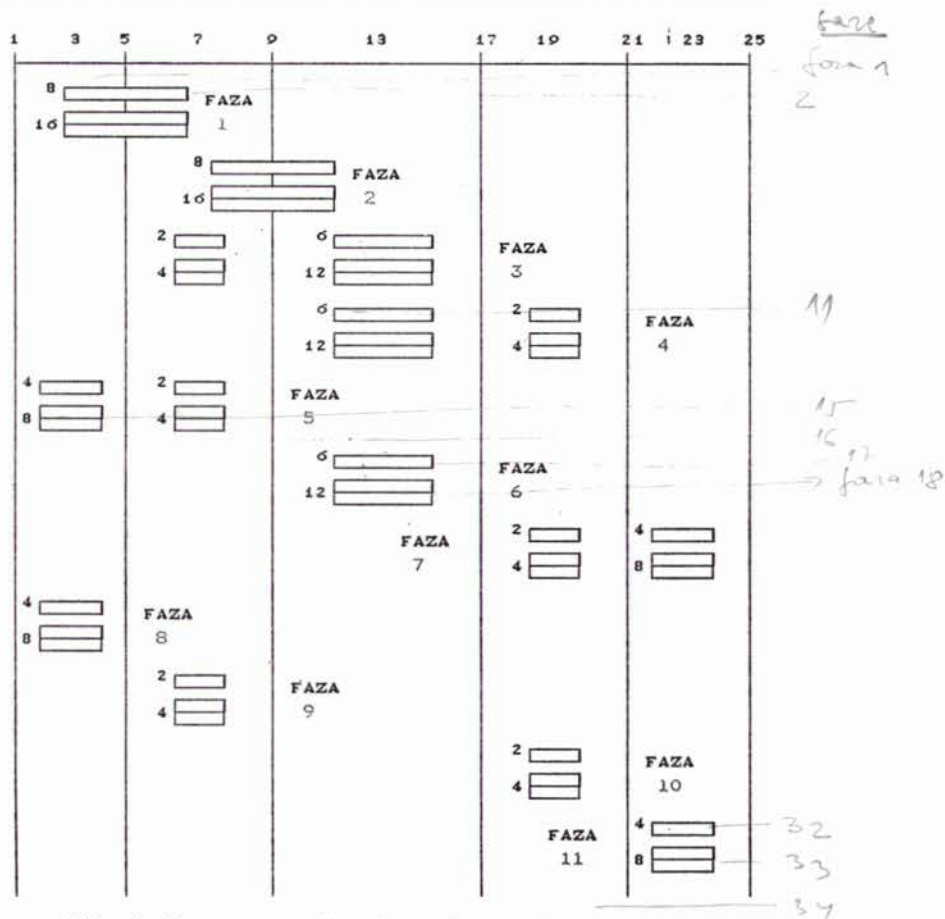
Pokusno opterećenje uglavnom je statičko jer je teret pri ispitivanju (opterećenje) u stanju mirovanja. Geodetski radovi sastoje se u određivanju vertikalnih pomaka na znakovitim mjestima pri opterećivanju dijelova konstrukcije. Znakovita su mjesta mosta (vijadukta) iznad ležajeva i u sredinama polja (otvora), a na ovom vijaduktu (zbog veličine otvora) još u četvrtinama i osminama. Mjerna mjesta (deformacijske marke) stabilizirana su uzduž triju linija: uz rubove kolnika (linije A i C), te po uzdužnoj osi vijadukta (linija B).



Slika 2. Dispozicija mjernih mjesta

Budući da je vijadukt konstruiran s kontinuiranim uzdužnim nosačima, potrebno je, osim opterećenih polja, opažati i susjedna. Primjerice, ako je opterećeno polje 2, treba opažati i polja 1 i 3 ili barem do sredine susjednih

polja. U promatranom primjeru to znači opažati relativno veliki broj mjernih mjesta. Stoga je svaku liniju opažao jedan geodetski stručnjak. Kao opterećenje korišteno je 16 kamiona težine oko 30 t, s poznatim osovinskim opterećenjem kamiona i s točno utvrđenim rasporedom na mostu.



Slika 3. Shema opterećivanja po fazama i broj kamiona

Prema (Narobe, Kapović, Fanton 1988) pomak mjerne marke u bilo kojoj  $i$ -toj fazi opažanja u odnosu na stanje u fazi 1 (nulto mjerenje) je:

$$f^{(i)} = \Delta I_m^{(i)} + K^{(i)}$$

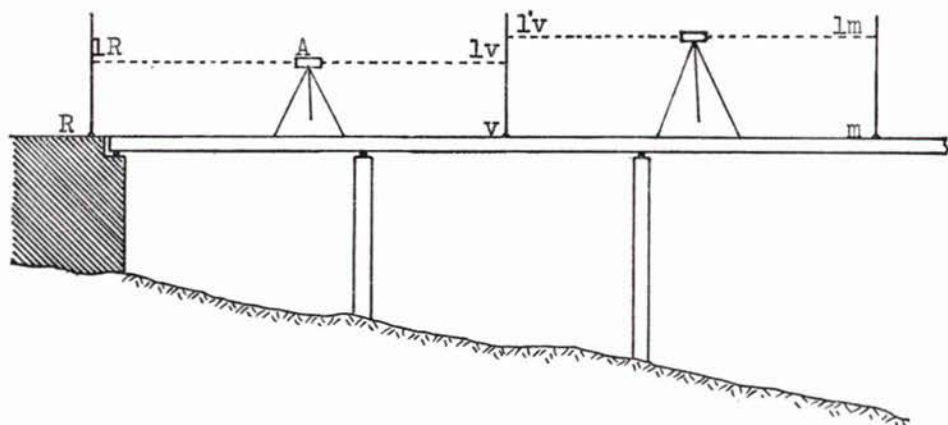
gdje su:

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

$$K^{(i)} = I_R^{(1)} - I_R^{(i)}$$

Ti izvodi vrijede onda kada se s istog stajališta instrumenta opažaju stabilni (osnovni) reper (R) izvan zone deformacija (izvan mosta) i deformacij-

ske marke. Pri mjerenju pomaka vijadukta Limska draga, zbog velikih dužina, osnovni reper i deformacijske marke nije bilo moguće opažati s jednog stajališta. Primijenjen je zato postupak opažanja prijenosom visine preko vezne točke (sl. 4). Sa stajališta instrumenta A, u svakoj fazi određuje se vi-



Slika 4. Prijenos visine preko vezne točke

sinska razlika između repera (R) i vezne točke (v) dok se, sa stajališta B, određuju relativni pomaci marki (m) na mostu u odnosu na veznu točku (v). Iskustva su pokazala da se postižu velike prednosti ako se to obavlja s dva nivelira (A i B).

Visina marke (m) u odnosu na veznu točku (v), izmjerena u fazi 1, bit će:

$$h_m^{(1)} = l_{v'}^{(1)} - l_m^{(1)} \quad (1)$$

a u  $i$ -toj fazi:

$$h_m^{(i)} = l_{v'}^{(i)} - l_m^{(i)} \quad (2)$$

Prema tomu, vertikalni pomak (f) marke (m), u fazi  $i$ , bit će:

$$f_m^{(i)} = h_m^{(1)} - h_m^{(i)} = (l_{v'}^{(1)} - l_m^{(1)}) - (l_{v'}^{(i)} - l_m^{(i)}) \quad (3)$$

ili, uz drukčiji raspored,

$$f_m^{(i)} = (l_m^{(i)} - l_m^{(1)}) + (l_{v'}^{(1)} - l_{v'}^{(i)}) \quad (3a)$$

Ako se uvedu oznake

$$\Delta l_m^{(i)} = l_m^{(i)} - l_m^{(1)} \quad (4a)$$

i

$$K_v^{(i)} = l_{v'}^{(1)} - l_{v'}^{(i)} \quad (4b)$$

dobit će se izraz za računanje pomaka (f) marke (m) u fazi  $i$ :

$$f_{m,v}^{(i)} = \Delta l_m^{(i)} + K_v^{(i)} \quad (5)$$

Valja primijetiti da je to izraz kojim se dobiva relativni pomak marke (m) u odnosu na veznu točku (v). Kako se i vezna točka nalazi na visinski nestabilnom mjestu, to onda i nije realna vrijednost pomaka. Prava vrijednost pomaka dobit će se ako se izraz (5) korigira još za iznos pomaka vezne točke. Točnije, prava vrijednost pomaka marke (m) dobiva se algebarskim zbrojem relativnog pomaka ( $f_{m,v}^{(i)}$ ) i pomaka vezne točke ( $f_{v,R}^{(i)}$ ) tj.:

$$f_m^{(i)} = f_{m,v}^{(i)} + f_{v,R}^{(i)} \quad (6)$$

odnosno, uzevši u obzir (5).

$$f_m^{(i)} = \Delta I_m^{(i)} + K_v^{(i)} + f_{v,R}^{(i)} \quad (7)$$

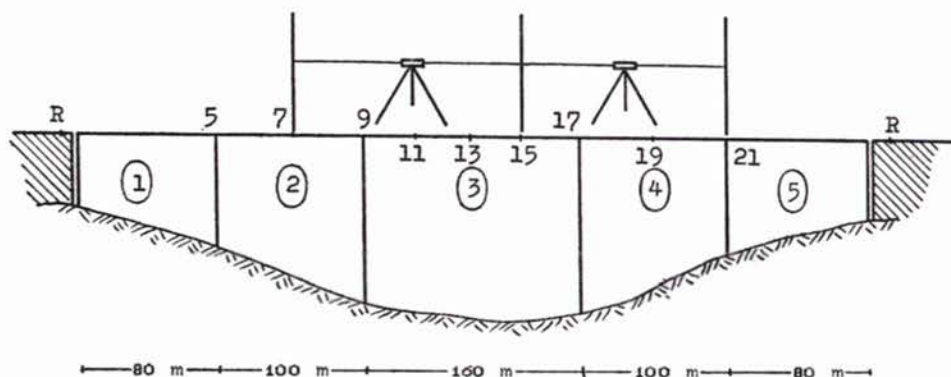
gdje je:

$$f_{v,R}^{(i)} = (I_v^{(i)} - I_v^{(1)}) + (I_R^{(1)} - I_R^{(i)}) \quad (8)$$

Kada su to relativno veći mostovi (vijadukti), kao što je ovaj, navedeni postupak se malo modificira. Naime, pri opterećivanju polja 3, potrebno je opažati i barem do polovice susjednih polja (do točaka 7 i 19).

Uzevši osnovni reper (R) s bilo koje strane kanala, potrebno je, s prijenosom visine, opažati područje do oko 390 metara (od R do točke 7, ili s druge strane, od R do točke 19). Iz iskustva je poznato da, opterećujući polje 3, ne treba očekivati signifikantnije pomake točaka 5 i 21 (iznad stupova). To omogućuje da se jedna od tih točaka uzme kao osnovni reper (R) i od nje, s prijenosom visine, opaža područje djelovanja opterećenja.

Praktičan primjer računanja pomaka na osnovi prethodnih spoznaja vidi se iz priloženog dijela zapisnika. Izvadak iz zapisnika opažanja, s nivekirima Wild NA2, odgovara položajima instrumenata prema slici 5. i shemi opterećenja (faza 6).



Slika 5. Raspored instrumenata pri opterećenju polja 3

Pri opažanju pomaka građevina, općenito se postavlja pitanje neophodne i rentabilne točnosti. Prema izrazu:

$$\frac{1}{20} < \frac{m_f}{f} < \frac{1}{10}$$

gdje su:

$f$  — apsolutna vrijednost pomaka

$m_f$  — srednja pogreška pomaka

u radu (Kapović 1984) definirana je optimalna odnosno rentabilna točnost određivanja pomaka. Budući da su, na osnovi statičkih proračuna, očekivani pomaci oko 30 cm, prema navedenom izrazu, treba postići točnost određivanja pomaka od  $\pm 1,5$  do 3,0 cm. Međutim, prema spomenutom Pravilniku, zaostale, trajne deformacije mogu iznositi do 10% od izmjerenih pomaka pri opterećenju, pa se postavlja pitanje točnosti određivanja tih (zaostalih) pomaka. Oni se određuju posebnim postupkom povećane točnosti, koji ovdje izostavljamo.

## PRIKAZ DIJELA ZAPISNIKA S OBJAŠNENJEM, PREGLED REZULTATA IPIITIVANJA, DIJAGRAM POMAKA

### ZAPISNIK

Mjerno mjesto	Opt. = 0		Opt. = 12 kamiona		
	FAZA I		FAZA 2		
	očitanje letve	očitanje letve	$\frac{\Delta l}{\Delta l_{(m)}^2}$	$K_{15}^2$	$f_{(m)}^2$
7	2063	1893	-170		-37
8	1963	1800	-163		-30
9	1839	1709	-130		3
10	1741	1681	-60		73
11	1634	1654	20		153
12	1540	1622	82		215
13	1430	1536	106		239
14	1380	1462	82		215
15	1315	1322	7	(-7)	140
				$f_{15,R}^2$	
15	2058	2246	188	140	140
16	1998	2111	113		65
17	1885	1935	50		2
18	1770	1775	5		-43
19	1662	1663	1		-47
20	1558	1577	19		-29
21 (R)	1505	1553	48	$(K^{(2)} = -48)$	0

### Objašnjenje

Točka 21 je osnovni reper (R), a točka 15 vezna točka. Računamo npr. pomake ( $f_m^2$ ) u točkama 13 i 19.

$\Delta l$  — razlika očitavanja letve u fazi 2 u odnosu na 1

$f_m^2$  — veličina pomaka

Prema (7):

$$f_{13}^{(2)} = \Delta l_{13}^{(2)} + K_{15}^{(2)} + f_{15,R}^{(2)} = 106 + (-7) + 140 = 239 \text{ mm}$$

gdje je:

$$\Delta l_{13}^{(2)} = l_{13}^{(2)} - l_{13}^{(1)} = 106 \text{ mm}$$

$$K_{15}^{(2)} = l_{15}^{(1)} - l_{15}^{(2)} = -7 \text{ mm}$$

$$f_{15,R}^{(2)} = (l_{15}^{(2)} - l_{15}^{(1)}) + (l_{R}^{(1)} - l_{R}^{(2)}) = 188 + (-48) = 140$$

Prema (Narobe 1988):

$$f_{19}^{(2)} = \Delta l_{19}^{(2)} + K^{(2)} = 1 + (-48) = -47 \text{ mm}$$

gdje je:

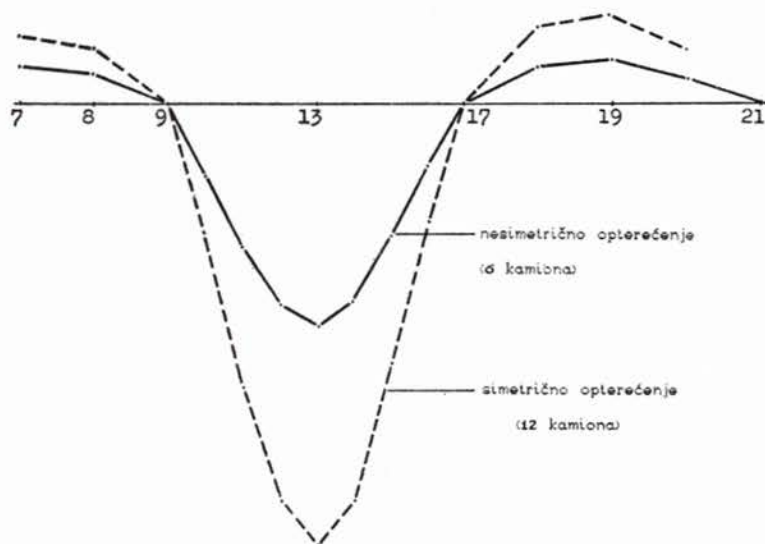
$$\Delta l_{19}^{(2)} = l_{19}^{(2)} - l_{19}^{(1)} = 1 \text{ mm}$$

$$K^{(2)} = l_{R}^{(1)} - l_{R}^{(2)} = -48 \text{ mm}$$

#### REZULTATI — SHEMA 6

Mjerno mjesto	Nesimetrično opterećenje			Simetrično opterećenje			O		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
7	-22	-17	-13	-37	-37	-35	-1	-1	-1
8	-17	-14	-10	-30	-30	-39	-1	-1	-1
9	1	1	1	3	3	3	0	0	0
10	40	38	36	73	75	75	1	0	0
11	78	77	75	153	152	152	2	1	0
12	109	108	103	215	214	214	5	4	4
13	121	121	118	239	239	237	5	4	4
14	108	108	105	215	214	214	5	5	5
15	73	72	71	140	141	141	4	5	5
16	35	33	30	65	66	65	1	1	0
17	2	1	0	2	2	2	0	0	0
18	-21	-21	-17	-43	-43	-42	0	0	0
19	-25	-25	-19	-47	-48	-48	-1	-1	0
20	-14	-13	-11	-29	-29	-29	-1	-1	-1
21	0	0	0	0	0	-1	0	0	0

Pomaci su iskazani u mm.



Slika 5. Dijagram pomaka

## ZAKLJUČAK

U radu su prikazani geodetski radovi vezani uz praktičan primjer ispitivanja mosta pokusnim statičkim opterećenjem. S obzirom na to da se ovakva vrst geodetskih radova rjeđe objelodanjuje, vjerujemo da će iznijeta praktična iskustva na razmatranom objektu biti korisna geodetskim stručnjacima koji rade na ovakvim i sličnim zadacima.

## LITERATURA

- Boljšakov, V. D., Levčuk, G. P. (1975): Spravočnik geodezista, Nedra—Moskva 1975.
- Kapović, Z. (1984): Geodetske metode određivanje pomaka pri ispitivanju mostova, Magistarski rad, Geodetski fakultet, Zagreb 1984.
- Kapović, Z., Narobe, Z., Mastelić-Ivić, S. (1990): Instrumentalne pogreške pri mjerenju kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina, Geodetski list 1990, 1—3, 35—43.
- Narobe Z., Kapović Z., Fanton, I. (1988): Mjerenje kratkotrajnih vertikalnih deformacija građevina, Geodetski list 1988, 7—9, 249—253.

## EXPERIMENTAL LOADING EXAMINATION OF THE *LIMSKA DRAGA* VIADUCT

Presented are theoretical bases, practical considerations and an example of computing vertical deformations with experimental examination of bridges. A special attention is paid to the problem of geodetic work which is present at examining long continued bridge structures.

Primljeno: 1991-10-14