

PETI OPĆI SABOR HDGK

Brijunski otoci, 26.-28.04.2001.

Ž. Šimunić, B. Pavlović, M. Medak, J. Bleiziffer, Ž. Smolčić, G. Šuto

POUZDANOST OSLONAČKIH SKLOPOVA I STUPOVA MOSTA KOPNO – OTOK KRK

SAŽETAK

Ukratko se prikazuju glavni pregledi i dinamička ispitivanja mosta kopno – otok Krk do 1998. godine. Opisuju se odabrani rezultati dinamičke analize 1998. – 2000. godine. Rezultati eksperimentalne analize uspoređeni su s teorijskim proračunom dinamičkih parametara. Na osnovi dinamičke analize ocjenjuje se pouzdanost oslonačkih sklopova i stupova mosta te se daju smjernice za redosljed izvođenja potrebnih radova na sanaciji i održavanju mosta.

RELIABILITY OF SUPPORT ELEMENTS AND COLUMNS OF THE MAINLAND – ISLAND OF KRK BRIDGE

SUMMARY

This is a short presentation of the inspections and dynamic testing performed on the Mainland – Island of Krk Bridge up to 1998, with a description of the results of the dynamic analysis performed between 1998 and 2000. Results of the experimental analysis are compared with the numerical dynamic parameters. Evaluation of the reliability of the support elements is based on the dynamic analysis with the guidelines for the order of bridge rehabilitation and maintenance works.

Prof. dr. Želimir Šimunić, dipl. ing. građ., Božidar Pavlović, dipl. ing. stroj., Matko Medak, dipl. ing. građ., Jelena Bleiziffer, dipl. ing. građ., Goran Šuto, dipl. ing. građ., Hrvatski institut za mostove i konstrukcije, Zagreb, Mr. Željko Smolčić, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

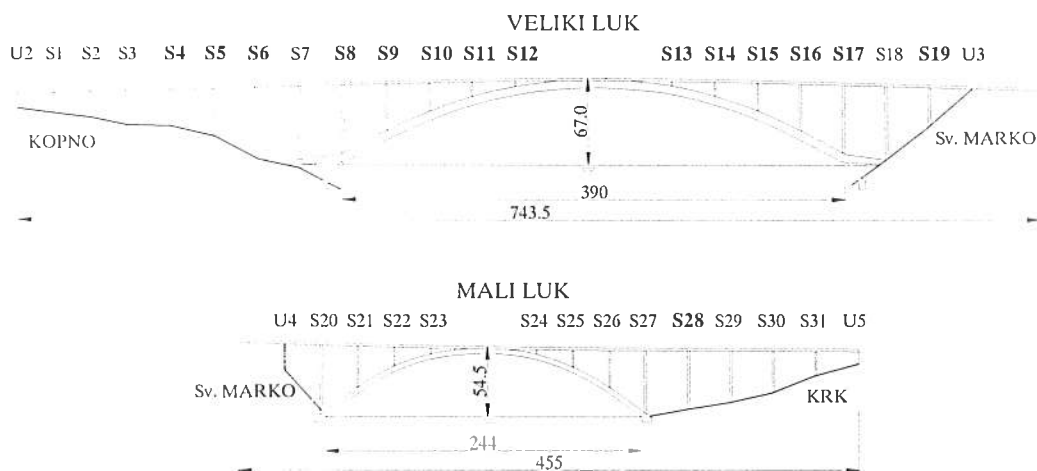
1. UVOD

U skladu s propisima te inženjerskom praksom sedamdesetih godina, Krčki je most projektiran i izveden s minimalnim dimenzijama nosivih elemenata te minimalnim zaštitnim slojem betona (2.5 cm) pa je agresivno djelovanje morske okoline uzrokovalo velika oštećenja nosivih elemenata mosta.

Zbog neodgovarajućeg projektnog rješenja detalja oslanjanja glavnih nosača, a uslijed vanjskih djelovanja na most, došlo je do oštećenja ležajnih dijelova glavnih nosača. Zbog toga se, ubrzo nakon puštanja mosta u promet, ukazala potreba za detaljnim praćenjem stanja i provedbom sanacije oslonačkih sklopova.

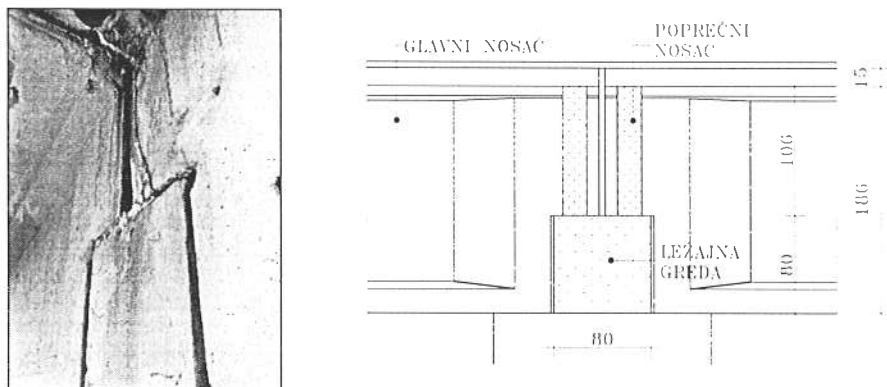
2. GLAVNI PREGLEDI I DINAMIČKA ISPITIVANJA DO 1998. GODINE

Glavni pregled mosta izvršen je 1986. godine. Vizualnim pregledom su uočeni: oštećeni elementi konstrukcije najjače izloženi koroziji, pukotine na stupovima, upornjacima i poprečnim nosačima te pukotine i inicijalna korozija na ležajnim dijelovima glavnih nosača. Projektom sanacije iz 1987. godine predviđena je ugradnja elastomernih ležajeva i ojačanje poprečnih priležajnih nosača. Sanacija nije izvedena do kraja pa se veliki i mali luk Krčkog mosta nalaze u različitim uvjetima oslanjanja. Na malom luku sanirano je samo jedno priležajno mjesto, a na velikom luku sanirano je četrnaest priležajnih mjesta. Na slici 1. prikazani su uzdužni presjeci velikog i malog luka. Oznake za stupove su S1 do S31, a masnim slovima označeni su stupovi na kojima su priležajna mjesta sanirana.



Slika 1. Raspored saniranih priležajnih mjesta na Krčkom mostu

Glavnim pregledom Krčkog mosta 1993. godine utvrđeno je stanje konstruktivnih elemenata izloženih djelovanju agresivne morske sredine. Na temelju izvršenog pregleda i analize stanja nosivih sklopova [1], [2] zaključeno je da su stupovi najoštećeniji elementi Krčkog mosta te da ih je potrebno u cijelosti sanirati. Uočena su i klasificirana oštećenja na nesanimiranim priležajnim mjestima. Oštećenja su se očitovala u drobljenju betona na ležajnim gredama i poprečnim nosačima (slika 2.).







Slika 2. Pukotine na naglavnoj gredi i na glavnom nosaču iznad stupa S30 (lijevo) i shematski prikaz priležajnog mjesta prema izvornom projektu (desno)

Dinamičkim ispitivanjima Krčkog mosta provedenim pri pokusnom opterećenju 1980. godine te kontrolnim ispitivanjima 1990. i 1996. godine dobiveni su samo globalni dinamički parametri. Zbog malog broja senzora mala je pouzdanost određivanja modalnih oblika te se neki tonovi nisu uočili, a pojedini tonovi luka i rasponskog sklopa nisu jasno razlučeni. Da bi se utvrdile promjene dinamičkih karakteristika nastale zbog promjene mehaničkih osobina betona tijekom vremena, nastalih oštećenja te izvršenih i još predviđenih sanacijskih radova, predložena je detaljnija analiza. Odabrani rezultati ove analize prikazani su na primjeru malog luka gdje je saniran samo jedan oslonac i gdje su u tijeku radovi na sanaciji stupova.

3. REZULTATI DINAMIČKE ANALIZE 1998. - 2000. GODINE

Mjerni sustav za dinamičko ispitivanje Krčkog mosta čine tri podsustava: senzorski sklop, sustav za prijenos signala i sustav za akviziciju. Sensorima su praćene relativne deformacije (tenzometri) i ubrzanje (akcelerometri) konstrukcije, na osnovi kojih su određena naprezanja, brzine i pomaci konstrukcije. Senzori su kablovima spojeni na centralno mjerno mjesto gdje je vršena konverzija mjernog signala iz analognog u digitalni oblik te su pomoću višekanalnog mjernog računala praćeni signali svakog senzora, a za svaku fazu opterećenja posebno su obrađeni pojedini nosivi sklopovi konstrukcije. Dinamička pobuda na mostu izazvana je prijelazima teških vozila preko mosta sa i bez simuliranog dinamičkog udara te jakim udarima bure. Ispitivanjem su registrirani osnovni tonovi, ali i neki viši modalni oblici i frekvencije mosta.

Za teorijsku dinamičku analizu izrađeni su numerički 3D štapni modeli na osnovi raspoložive projektne dokumentacije i projekata sanacije (model 1.). Za određenu teorijsku vrijednost karakteristične vlastite frekvencije pojedinog nosivog sklopa, utvrđivala se odgovarajuća vrijednost iz baze registriranih eksperimentalnih frekvencija. Analiza i usporedba izrađeni su na osnovu sličnosti modalnih oblika. Iz usporedbe eksperimentalnih i teorijskih frekvencija pojedinih modalnih oblika *malog luka*, vidljiva je niža eksperimentalna vlastita frekvencija prvog horizontalnog tona (tablica 1.) što upućuje na detaljniju analizu ponašanja nosivih sklopova pri horizontalnim opterećenjima.

MALI LUK		
Modalni oblik	Frekvencije (Hz)	
	Teorijska	Eksperimentalna
	0.395/0.416*	0.391
	1.107/1.170*	1.243
	2.083/2.198*	2.423
	2.980/3.138*	3.236

Zvijezdicom su označene vrijednosti za model s izmjerenom čvrstoćom betona.

Tablica 1. Usporedba teorijskih i eksperimentalnih frekvencija malog luka Krčkog mosta

Zbog toga su izrađeni dodatni numerički modeli. U modelu 2 omogućeno je zakretanje rasponske konstrukcije oko vertikalne osi nad osloncima, koje projektom mosta nije predviđeno. I za model 1 i za model 2 razmatrana je i projektirana i ispitivanjima utvrđena kvaliteta (marka) betona.

Usporedbom modalnih krutosti određenih pomoću teorijskih modela i eksperimentalnih podataka moguće je procijeniti oštećenja i pouzdanost konstrukcije. Odstupanje modalnih krutosti određeno je izrazom:

$$\frac{K_n}{K_n'} = \frac{f_n^2}{f_n'^2}$$

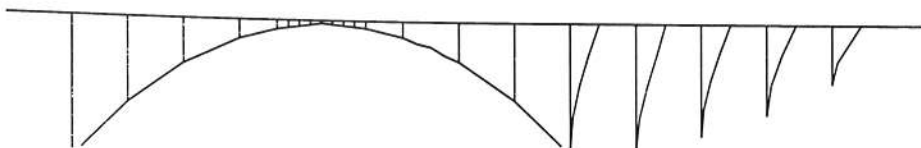
gdje su K_n , K_n' i f_n , f_n' generalizirane krutosti, odnosno vlastite frekvencije n-tog modalnog oblika.

Vrijednosti u tablici 2. pokazuju da je stvarno ponašanje mosta između navedenih teorijskih modela. Vrijednosti $K_{n,T}$ i $K_{n,E}$ predstavljaju teorijsku, odnosno eksperimentalnu modalnu krutost, a zvijezdicom su označene vrijednosti za modele s izmjerenom čvrstoćom betona.

Teorijske frekvencije (Hz)		Odstupanje $K_{n,T}$ modela 2 od $K_{n,T}$ modela 1 (%)	Eksperimentalna frekvencija (Hz)	Odstupanje $K_{n,E}$ od $K_{n,T}$ modela 1 (%)	Odstupanje $K_{n,E}$ od $K_{n,T}$ modela 2 (%)
Model 1	Model 2				
0.395/0.416*	0.359/0.379*	-17.4/-17.0*	0.391	-2.0/-11.7*	+18.6/+6.4*
-	0.828/0.887*	-	1.047	-	+59.9/+39.3*

Tablica 2. Usporedba teorijskih i eksperimentalnih modalnih krutosti malog luka Krčkog mosta

Također je, dinamičkim ispitivanjem malog luka, registriran horizontalni uzdužni ton pri frekvenciji 0.178 Hz (slika 3.) iako su projektom pretpostavljene nepomične veze na upornjacima. Analogni teorijski modalni oblik određen je na numeričkom modelu s omogućenim uzdužnim pomacima na upornjacima pri frekvenciji 0.161 Hz (model 3.).



Slika 3. Horizontalni uzdužni ton malog luka Krčkog mosta

4. ZAKLJUČAK

Prikazanom dinamičkom analizom malog luka Krčkog mosta, potvrđena je pretpostavka da su oslonci i stupovi Krčkog mosta vrlo nepouzdana nosivi sklopovi, odnosno da problem pouzdanosti mosta nije samo penetracija klorida u betonski zaštitni sloj.

Izvršena sanacija oslonaca na velikom luku poboljšala je pouzdanost konstrukcije s obzirom na početno stanje [3], [4]. Međutim, izborom ležajeva i rubnih uvjeta drugačijih karakteristika od projekta sanacije može se znatno poboljšati pouzdanost mosta. Daljnju

sanaciju oslonaca potrebno je idejno riješiti i izvesti na osnovi provedenih proračuna i analiza dinamičkih svojstava konstrukcije te dalje pratiti stanje pouzdanosti kritičnih nosivih sklopova.

Na kraju je važno naglasiti da, radi optimalnog izvođenja radova na sanaciji Krčkog mosta, redosljed radova treba uskladiti s načelnim programom radova koji je izradila ekspertna grupa 1998. godine, a prihvatio investitor. S obzirom na složenost ovog problema, potrebno je uključiti znanstvenike i stručnjake priznate na ovom području, kako bi se izvršili cjeloviti pripremni i izvedbeni radovi na sanaciji mosta kopno – otok Krk.

5. LITERATURA

- [1] Ž. Šimunić, J. Radić, V. Čandrlić, T. Čandrlić, V. Krstić, G. Puž, S. Antoljak: Problematika pregleda i ispitivanja mostova na primjeru Krčkog mosta, Zbornik radova 2. radnog sabora DHGK, Brijunski otoci, 1993., 515.-522.
- [2] Ž. Šimunić, V. Krstić, G. Puž: Izvješće o glavnom pregledu i ispitivanjima Krčkog mosta, Hrvatski institut za mostove i konstrukcije, Zagreb, 1993.
- [3] Ž. Šimunić, B. Pavlović, M. Medak, D. Šimunić: Dinamičko ispitivanje i analiza Krčkog mosta sa svrhom utvrđivanja sanacije za 1998. godinu, Hrvatski institut za mostove i konstrukcije, Zagreb, 1999.
- [4] Ž. Šimunić, B. Pavlović, M. Medak, A. Kučer, J. Bleiziffer: Dinamička analiza Krčkog mosta, Hrvatski institut za mostove i konstrukcije, Zagreb, 2000.
- [5] Ž. Šimunić, B. Pavlović, J. Bleiziffer: Dynamic Behaviour of Concrete Arch Bridges on the Adriatic Coast, 3rd International Conference on Arch Bridges ARCH '01, Paris, France, 2001