

UDK 624.012.45.042.8

EKSPERIMENTALNA ANALIZA PONAŠANJA INTEGRALNOG MOSTA POD PROBNIM OPTEREĆENJEM – STUDIJA SLUČAJA (DEO 2 – ISPITIVANJE DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA)

Slobodan Ranković¹, Milovan Stanojev², Milan Gligorijević³

Rezime: U radu su prikazane karakteristike integralnih (ramovskih) mostova i njihovo ponašanje pod probnim opterećenjem. Vršena je analiza odgovora konstrukcije izožene dejstvu dinamičkog probnog opterećenja, na primeru armiranobetonskog drumskog mosta kod Trgovišta. Definisani su dinamički parametri na osnovu realnih zapisa dobijenih merenjima "in situ". Urađena je FFT analiza merenih signala primenom savremenih softvera, pri različitim konstalacijama saobraćajnog opterećenja.

Ključne reči: Ispitivanje, Integralni most, armiranobetonska konstrukcija, dinamička analiza.

EXSPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INTEGRAL BRIDGE BEHAVIOR UNDER THE TEST LOAD – CASE STUDY (PART 2 – DYNAMIC CHARACTERISTIC TESTING)

Abstract: The paper presents the characteristics of integral (framing) bridges and their behavior under test load. With the analysis of structural response exposed to a dynamic load test in the case of reinforced concrete road bridge near Trgoviste. Dynamic parameters are defined on the basis of real records obtained by measurements "in situ". FFT analysis is made of the measured signal by using modern software, in different constellations traffic load.

Key words: Testing, Integral bridge, concrete structure, dynamic analysis.

¹ dr Slobodan Ranković, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

² Milovan Stanojev, student doktorskih studia, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Milan Gligorijević, asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1 UVOD

O generalnim prednostima integralnih mostova bilo je više reči u prvom delu rada. Ovde će se nabrojati još neke njihove karakteristike i nešto više reći o ponašanju u dinamičkom smislu.

Integralni mostovi su idealni kod manjih raspona, kakav je konkretan primer ispitivanog mosta. Britanskim propisima je njihova dužina ograničena na 60 m. To što integralni mostovi nemaju dilatacije i što od stubova nisu razdvojeni ležajevima ni prelaznicama, osim povoljnosti u smislu održavanja, daje prednost i u dinamičkom smislu. Udarne dejstva na prelazu sa kolovoza na most u ovom slučaju su izbegnuta, što je značajna povoljnost. Eventualna oštećenja mogu nastati na prelazu između mosta i saobraćajnice. Rešenje za ovaj problem kojim se izbegavaju ta oštećenja je armiranje asfalt betona. Naponi na delu spoja rasponske konstrukcije i oslonca (krutom uglu) se povoljnije rasprostiru i nisu koncentrisani u jednom malom prostoru kao kod konvencionalnih mostova, tako da oslonci mogu biti uži.

Treba reći da se integralni mostovi razlikuju od konvencionalnih i konstrukcijski i statički.

U ovom radu, kako je naglašeno u prvom delu, prikazani su rezultati ispitivanja integralnog mosta preko Kozjedolske reke u blizini Trgovišta koje je sprovedeno u novembru 2015. godine. Opis konstrukcije integralnog mosta raspona 16,70 m takođe je dat u prvom delu rada.

2 PROGRAM ISPITIVANJA

2.1 Faze dinamičkog opterećenja

Dinamičko probno opterećenje aplicirano je u 4 faze: Prelaz vozila preko mosta brzinom od $V_1=3$ km/h – spora vožnja (I faza); prelaz maksimalnom brzinom $V_2=25$ km/h (II faza); prelaz preko prepreke (fosne visine 5 cm) brzinom $V_3=25$ km/h (III faza); i kočenje u polovini raspona pri brzini od $V_4=25$ km/h (IV faza).

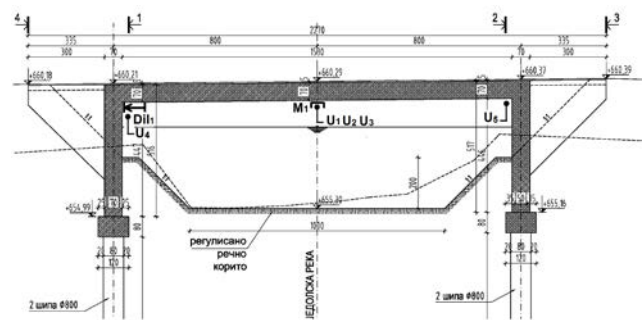
2.2 Vrste i raspored mernih instrumenata

S obzirom da su kod ispitivanja korišćeni elektronski merni instrumenti, većina njih imala je funkciju i kod statičkog i kod dinamičkog ispitivanja. Merni senzori za praćenje dinamičkog ugiba bili su induktivni pretvarači pomeranja (LVDT) V50 i V20. Za praćenje dinamičkog odziva na armaturi korišćeni su elektro otporni tenzometari (merne trake) Hottinger

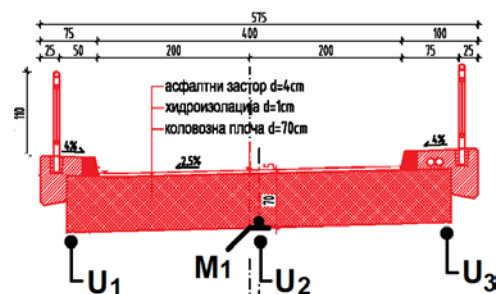
sa bazom od 6 mm. Snimanje signala sa betona vršeno je dilatometerom sa bazom od 100 mm korišćenjem elektronskih pretvarača pomeranja (LVDT) kao elektronskog merača izduženja.

Akvizicija (snimanje) dinamičkog odgovora mostovske konstrukcije vršeno je višekanalnim akvizicijskim sistemom SPIDER 8 povezanim sa personalnim računarom. Obrada podataka izvršena je originalnim HBM softverskim paketom CATMAN.

Merni senzori postavljeni su u polovini raspona i u krutom uglu ramovske konstrukcije mosta (slika 1), odnosno na mestu maksimalnih uticaja. Za praćenje deformacija (ugiba) konstrukcije pod dinamičkim probnim opterećenjem u polovinama raspona na nezavisnoj skeli postavljena su tri pretvarača pomeranja V50, koji je su beležili statičke i dinamičke ugibe. Na kraju raspona (krutom uglu), ugibi su određivani pretvaračima pomeranja V20. Merne trake su postavljene na podužnoj (glavnoj) armaturi $\varnothing 25$ mm na polovini raspona. U pritiskutoj zoni betona u neposrednoj blizini krutog ugla ramovske konstrukcije (osloncu) postavljen je dilatometer (prema šemi instrumenata). Ovi davači korišćeni su za određivanje dilatacija pri statičkom i dinamičkom opterećenju.



Slika 1: Raspored instrumenata u podužnom pravcu

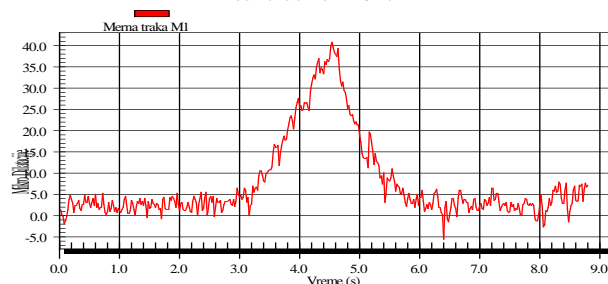


Slika 2: Raspored instrumenata u poprečnom pravcu

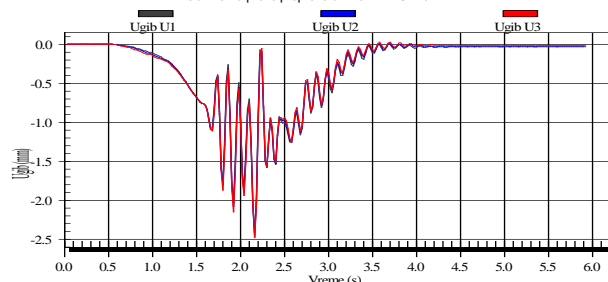
3 REZULTATI DINAMIČKIH ISPITIVANJA

Rezultati dinamičkih ispitivanja ugiba i dilatacija prikazani su dijagramskim zapisima u funkciji vremena. Konstelacije pokretnog opterećenja, kako je rečeno, bile su spora vožnja, maksimalna brzina, prelaz preko prepreke i kočenje. Prilikom prelaza vozila minimalnom brzinom (spora vožnja) cilj je definisati kvazi statičko ponašanje konstrukcije, odnosno odrediti realnu uticajnu liniju. Prelaz maksimalnom brzinom ima ca cilj definisanje maksimalnog dinamičkog koeficijenta, odnosno kritične brzine. Prelaz preko prepreke ima za cilj određivanje udarnog dejstva i definisanje povećanja dinamičkog (udarnog) koeficijenta. Kočenjem kao mogućom konstelacijom opterećenja definišu se maksimalna horizontalna dejstva i eventualni štetni uticaji na konstrukciju. Radi dalje analize prikazani su dobijeni dijagrami za uglob u polovini raspona i dilatacije u armaturi pri pomenutim konstelacijama opterećenja.

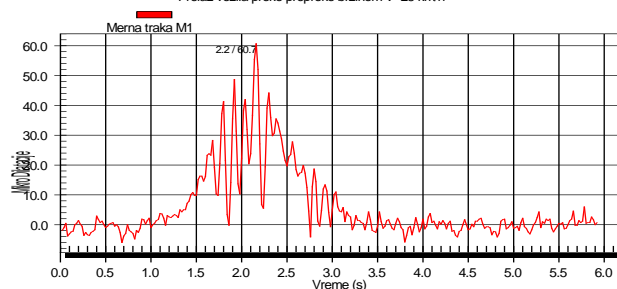
DIJAGRAM DILATACIJA NA ARMATURI U POLOVINI RASPONA
Prelaz vozila brzinom V=25 km/h



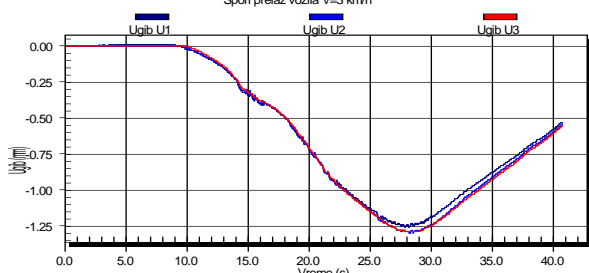
DIJAGRAM UGIBA U POLOVINI RASPONA
Prelaz vozila preko prepreke brzinom V=25 km/h



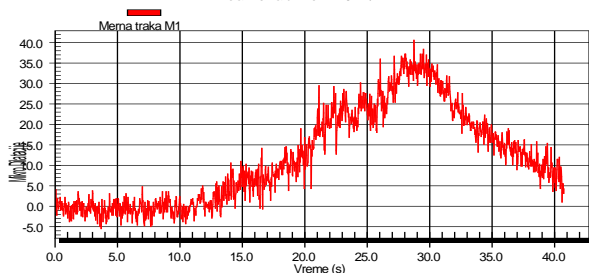
DIJAGRAM DILATACIJA NA ARMATURI U POLOVINI RASPONA
Prelaz vozila preko prepreke brzinom V=25 km/h



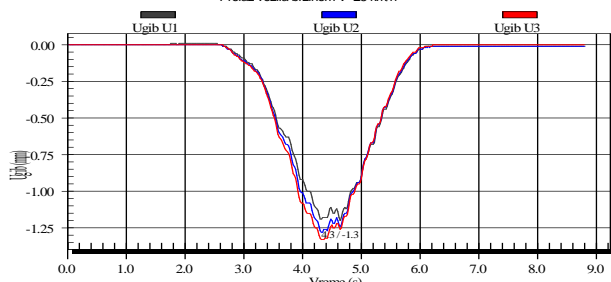
DIJAGRAM UGIBA U POLOVINI RASPONA
Sporni prelaz vozila V=3 km/h



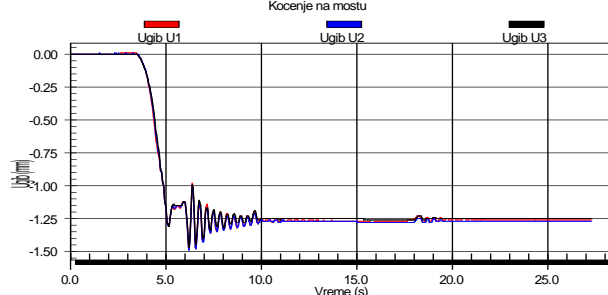
DIJAGRAM DILATACIJA NA ARMATURI U POLOVINI RASPONA
Prelaz vozila brzinom V=3 km/h



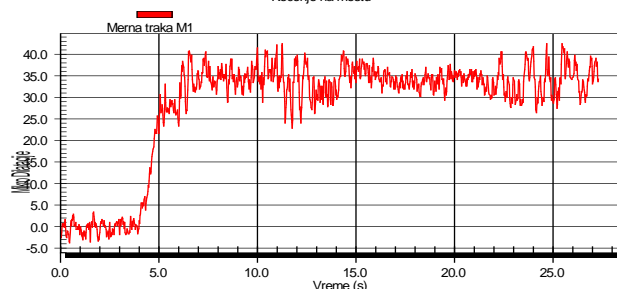
DIJAGRAM UGIBA U POLOVINI RASPONA
Prelaz vozila brzinom V=25 km/h



DIJAGRAM UGIBA U POLOVINI RASPONA
Kocenje na mostu

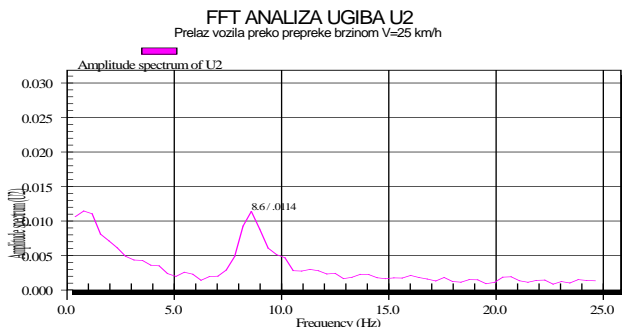


DIJAGRAM DILATACIJA NA ARMATURI U POLOVINI RASPONA
Kocenje na mostu



4 ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

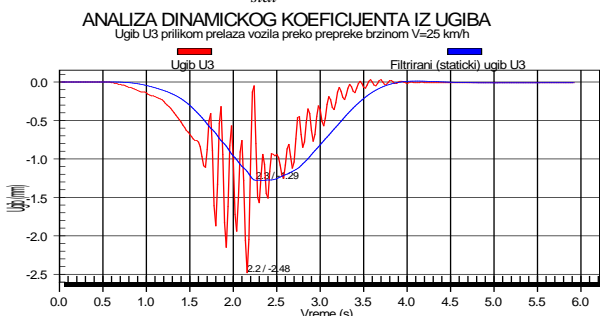
Analiza odziva konstrukcije na dinamičko opterećenje izvršena je sa dijagrama dinamičkog ugiba brzom Furijeovom transformacijom (Fast Fourier Transformation - FFT analiza), na osnovu koje je dobijena **frekvencija slobodnih oscilacija**. FFT analiza vršena je za amplitudno fazni spektar pri različitim konstalacijama opterećenja i dobijena vrednost $f=8,6$ Hz.



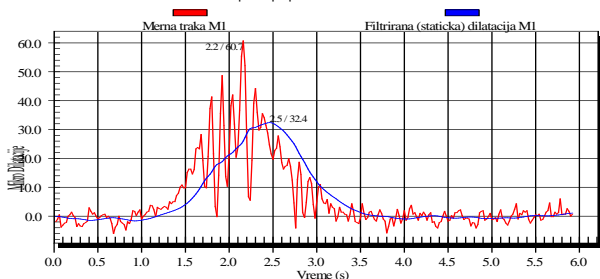
Analiza **dinamičkog koeficijenta** urađena je na osnovu dijagrama dinamičkog ugiba uz filtriranje signala. Digitalnim filtriranjem signala definisan je kvazi statički ugib, izazvan dejstvom istog pokretnog vozila, kako bi se najpreciznije definisao stvarni dinamički koeficijent. $\varphi = \frac{U_{din}}{U_{stat}}$

Za prelaz vozila preko prepreke brzinom od $V=25$ km/h, kao što se na dijagramu može uočiti, dobijen je dinamički koeficijent:

$$\varphi = \frac{U_{din}}{U_{stat}} = \frac{2,48}{1,29} = 1,92$$



ANALIZA DINAMICKOG KOEFICIJENTA IZ DILATACIJA ARMATURE



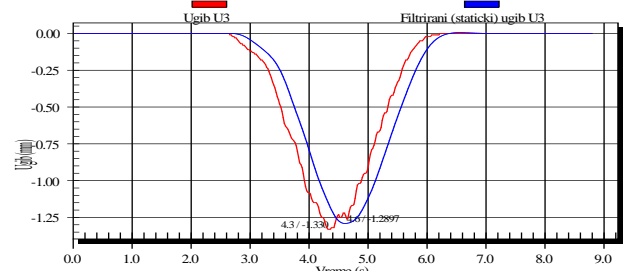
Analizom dinamičkog koeficijenta iz dilatacije u armaturi dobija se vrednost:

$$\varphi = \frac{M_{din}}{M_{stat}} = \frac{60,7}{32,40} = 1,87$$

Za prelaz vozila brzinom od $V=25$ km/h dobijen je dinamički koeficijent:

$$\varphi = \frac{U_{din}}{U_{stat}} = \frac{1,33}{1,29} = 1,03$$

IJAGRAM DINAMICKOG UGIBA I FILTRIRANOG (STATICKOG) UGIBA Ugib U3 prilikom prelaza vozila V=25 km/h

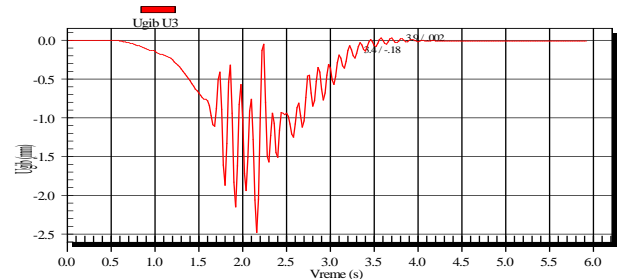


Prigušenje mostovske konstrukcije definisano je preko logaritamskog dekrementa $\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n}$

Iz dijagrama slobodnih oscilacija za prelaz preko prepreke dobijen je logaritamski dekrement:

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n} = \frac{1}{4} \cdot \ln \frac{0,18}{0,02} = 0,549$$

ANALIZA PRIGUSENJA IZ UGIBA U POLOVINI RASPONA Prelaz vozila preko prepreke brzinom V=25 km/h



5 OCENA REZULTATA – ZAKLJUČAK

Ispitivanjem na uticaj dinamičkog probnog opterećenja ustanovljeno je: 1) da je frekvencija slobodnih oscilacija $f= 8,6$ Hz i da spada u uobičajene za ovaj tip konstrukcija (približno 100/l); 2) da dinamički koeficijent dobijen prelaskom vozila preko mosta ima vrednost od $\varphi=1,03$ što je znatno manje od računskog ($\varphi=1,27$) i predstavlja povoljan efekat jer spada u izrazito male vrednosti ovog po konstrukciju nepovoljnog koeficijenta; 3) Da dinamički koeficijent dobijen prelaskom vozila preko prepreke (daske) debljine 5 cm, od $\varphi=1,87 \div 1,92$ spada u veoma visoke dinamičke koeficijente, pa se s tim u vezi nameće zaključak da neravnine na kolovozu

moгу imati veoma nepovoljan efekat po mostovsku konstrukciju. 4) S obzirom da se radi o tzv. "integralnom" mostu, odnosno ramovskom statičkom sistemu koji nema prelaznice (dilatacije), eksploatacioni uslovi su povoljni u dinamičkom smislu jer nema mogućih denivelacija i dinamičkog udara prilikom nailaska vozila na most; 5) Vrednosti logaritamskog dekrementa ukazuju na veliku krutost konstrukcije i naglo prigušenje izazvanih oscilacija, sa malom amplitudom oscilovanja. Tokom prelaska vozila primetna je glatka kriva sa malim oscilacijama u pomeranjima i dilatacijama. Nema pojave neugodnosti u dinamičkom smislu, odnosno pojave podrhtavanja ili rezonancije. Kočenje na mostu ne izaziva pomeranja u obalnim stubovima i nema negativne konotacije za konstrukciju. Sve ove dinamičke karakteristike ispitivanog integralnog mosta ukazuju na zaključak da se radi o tehnički ispravnoj konstrukciji.

5 FOTO DOKUMENTACIJA



Slika 3: Izgled mosta (nizvodna strana)



Slika 4: Položaj dilatometra u blizini oslonca (kruti ugao rama)



Slika 5: III faza dinamičkog opterećenja (prelaz preko prepreke maksimalnom brzinom)



Slika 6: Položaj ugibomera (U3) na nizvodnoj strani mosta u polovini raspona



Slika 7: Merna stanica (SPIDER8 i PC)

LITERATURA

- [1] Izveštaj o ispitivanju IK 25/15, Laboratorija za ispitivanje konstrukcija, GAF Niš, 2015.
- [2] SRPS U.M1.046, 1984: *Ispitivanje mostova probnim opterećenjem.*

- [3] Radojković M.: *Ispitivanje konstrukcija*, Građevinski fakultet, Beograd, 1979.
- [4] Ranković S: *Dinamički odgovor spregnutih mostovskih konstrukcija izloženih dejstvu pokretnog opterećenja od vozila*, Nauka+praksa, br 6, Niš, 2004.
- [5] Ranković S., Vacev T., Živković S: *Dynamic characteristics of a damaged steel bridge - case study, Noise and vibration, 24th International Conference, Niš 2014.*
- [6] Dally J.W. and Rily W.F.: *Experimental Stress Analysis*, Mc Graw Hill international editions, 1991.