

ISPITIVANJE PROBNIM OPTEREĆENJEM SPREGNUTOG MOSTA TEST BY LOAD OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE BRIDGE

Branislava Maširević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu dat je postupak ispitivanja mostovskih konstrukcija probnim opterećenjem. U teorijskom delu rada, je prikazan pravilnik za ispitivanje konstrukcija probnim opterećenjem, kao i način modeliranja kod ispitivanja konstrukcija, dok je na praktičnom primeru predstavljen program ispitivanja probnim opterećenjem spregnutog mosta. U praktičnom delu je urađen proračun mostovske konstrukcije na projektno opterećenje, gde je na osnovu saobraćajnog opterećenja, određena veličina probnog opterećenja. Za potrebe probnog opterećenja, koriste se kamioni sa tri osovine, koji predstavljaju opterećenje novog modela za potrebe ispitivanja probnim opterećenjem.

Ključne reči: ispitivanje konstrukcija, modeliranje, probno opterećenje.

Abstract – In this paper, the testing by load of bridge structures, is given. In the theoretical part of the paper, the standard for load testing of the structures is elaborated, as well as the method of modeling for the purpose of testing by load, while in the practical part, a test program for test by load of a composite bridge, is presented. In the practical part, the calculations of a bridge structure for the design load, was made, where, based on the traffic load, the intensity of the test load was determined. For the purpose of test by load, three axle trucks are being used, that represent load in the new model for the test by load.

Keywords: testing of structures, modeling, test by load

1. UVOD

Nakon završetka izgradnje konstrukcije mosta, a pre njegove eksploatacije, potrebno je uraditi ispitivanje probnim opterećenjem, koje treba da bude koncipirano prema smernicama SRPS U.M1.046-Tehička regulativa za ispitivanje mostova probnim opterećenjem. Ispitivanjem konstrukcija probnim opterećenjem se na efikasan način dobija realno ponašanje konstrukcije i uočava moguće nepredviđeno ponašanje.

Prema standardu SRPS U.M1.046, utvrđuje se vrsta probnog opterećenja, postupak ispitivanja i ocena rezultata ispitivanja drumskih i železničkih mostova od armiranog i prednapregnutog betona, kao i čeličnih i spregnutih mostova.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dušan Kovačević, red. prof.

2. ISPITIVANJE MOSTOVSKIH KONSTRUKCIJA PROBNIM OPTEREĆENJEM

Probno opterećenje služi da odredi i kvantifikuje globalno ponašanje konstrukcije mosta pod opterećenjem. Pod pretpostavkom da postoji korelacija između ponašanja mosta pri ispitivanju probnim opterećenjem i tokom eksploatacije konstrukcije, probnim opterećenjem proveravamo upotrebljivost konstrukcije i utvrđujemo potencijalni rizik od prslina i deformacija tokom eksploatacije mosta. Do ovih zaključaka se dolazi uočavanjem odnosa između izmerenih i teorijskih vrednosti deformacija, prisustva prslina i njihove veličine pod opterećenjem, kao i veličina nepovratnih deformacija u toku probnog opterećenja.



Slika 1. Ispitivanje probnim opterećenjem

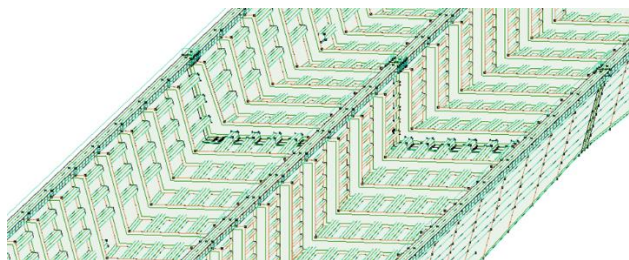
Kod ispitivanja probnim opterećenjem, mogu se koristiti različiti tereti. Opterećenje koje se koristi kod ispitivanja, zavisi od vrste i namene mosta, kao i od ekonomskog faktora. Program ispitivanja probnim opterećenjem treba da sadrži sve kombinacije opterećenja koje će izazvati najnepovoljnije uticaje u pojedinim delovima konstrukcije. Ponašanje konstrukcije usled statičkog opterećenja se uglavnom ispituje napunjenim kamionima, čija je težina prethodno izmerena, a teret se raspoređuje po osovina u skladu sa tehničkim karakteristikama kamiona. U slučaju da je predviđeno da se na mostu odvija železnički saobraćaj, kao probno opterećenje se koriste vagoni napunjeni pogodnim materijalom, za statička ispitivanja. Za dinamička ispitivanja železničkih mostova, se uglavnom koriste lokomotive, koje kretanjem definisanom brzinom izazivaju dinamičku pobudu konstrukcije mosta.

Nakon završenog ispitivanja probnim opterećenjem, dobijeni rezultati se upoređuju sa rezultatima numeričke analize. Rezultati se daju u izveštaju o ispitivanju, koji uključuje sve potrebne informacije za razumevanje rezultata. Izveštaj može da bude privremeni i konačni. Privremeni izveštaj obuhvata osnovne podatke o ispitivanju i zaključak o podobnosti za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja.

Konačni izveštaj, uz sve podatke o ispitivanju, mora da sadrži i uporedne teoretske proračune, analizu rezultata i zaključke o podobnosti mosta za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja.

3. MODELIRANJE KONSTRUKCIJA ZA POTREBE ISPITIVANJA PROBNIM OPTEREĆENJEM

Kada je u pitanju modeliranje konstrukcija za potrebe ispitivanja probnim opterećenjem, mora se imati u vidu da je potrebno da se utvrdi potpuno realno ponašanje konstrukcije, da bi se doneo zaključak o njenoj tehničkoj ispravnosti. U ovom slučaju uobičajene metode idealizacije konstrukcije i korišćenje pojednostavljenog modela, ne bi bili prikladno rešenje. Kada je konstrukcija izgrađena prema datom projektu, potrebno je uraditi novi model za potrebe ispitivanja, gde nam određeni ulazni podaci o karakteristikama konstrukcije, nisu nepoznati. Veoma je važno da model bude što približniji realnim, izvedenim uslovima. Na primer, poznate su tačne dimenzije elemenata koji su deo predmetne konstrukcije i karakteristike ugrađenih materijala. Ukoliko govorimo o ispitivanju konstrukcija koje su već u eksploataciji, trebalo bi proceniti stanje konstrukcije za koje se planira ispitivanje. Da bi se utvrdio kapacitet nosivosti konstrukcije i potrebe za ojačanjem, popravkom ili kompletnom zamenom određenih delova, dobra aproksimacija realnog ponašanja konstrukcije je neophodna. Shodno rezultatima procene stanja, u model za numeričku analizu se unose realne vrednosti karakteristika materijala i dimenzije, ne bi li se dobili precizni rezultati na osnovu kojih se može prikazati realno ponašanje konstrukcije, a samim tim i dovesti do ispravnih zaključaka. S obzirom na to da, ispitivanjem konstrukcije probnim opterećenjem, potvrđujemo da je konstrukcija tehnički ispravna, sa traženom potvrdom nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti konstrukcije, cilj je da se što bolje postigne poklapanje realnog sa računskim modelom. Na slici 2, se može videti primer modeliranja čeličnog sanduka, koji je ojačan poprečnim i podužnim rebrima za ukrućenje.



Slika 2. Čelični sanduk spregnutog mosta

4. PROJEKAT SPREGNUTOG MOSTA

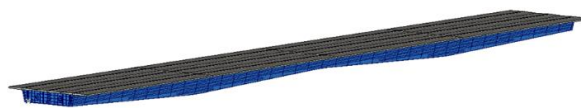
4.1. Tehnički opis

Projektovan je most za namenu drumskog saobraćaja, koji se nalazi na putu II razreda, preko reke Tise. Most je u pravcu, statičkog sistema kontinualni nosač sa tri polja i ukupne je dužine 160m, sa dva bočna raspona od po 40m i jednim srednjim rasponom od 80m. Spregnuta rasponska konstrukcija je predviđena sprežanjem betona i čelika, pomoću elastičnih moždanika. Gornji stroj mosta je

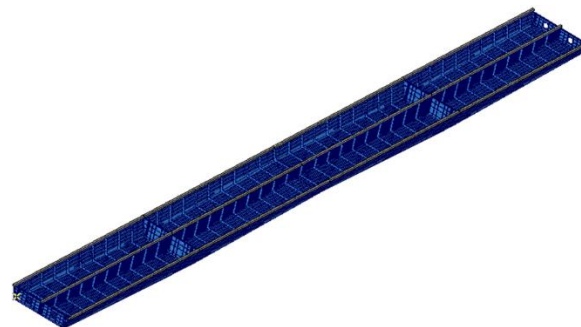
projektovan kao spregnuti sandučast nosač, promenljive visine. Kolovozna ploča je armirano betonska ploča klase C35/45, armirana rebrastom armaturom B500B. Debljina kolovozne ploče je promenljiva, gde je minimalna usvojena debljina od 25cm, a maksimalna debljina je 40cm na mestima vuta kod sprežanja sa čeličnim delom preseka. Donji stroj mostovske konstrukcije čine dva rečna armiranobetonska stuba i dva obalna stuba-oporca, temeljeni na bušenim šipovima.

4.2. Modeliranje konstrukcije i analiza uticaja projektnog opterećenja

Modeliranje konstrukcije je urađeno pomoću programa Axis VM. Svi elementi konstrukcije su modelirani *Shell* konačnim elementima. Na slikama 3 i 4 je prikazan model konstrukcije mosta.

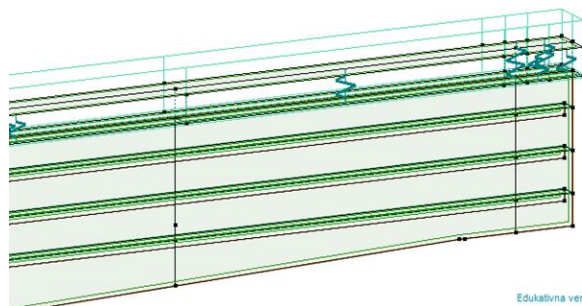


Slika 3. Izometrijski prikaz modela konstrukcije mosta



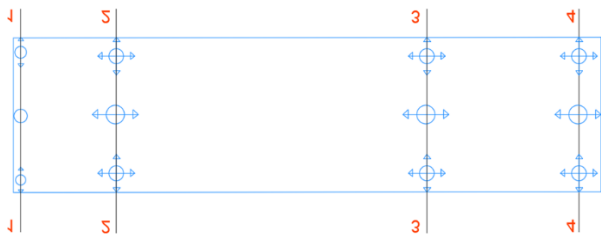
Slika 4. Prikaz modela čeličnog dela konstrukcije

Betonska ploča je promenljive visine, gde je na mestu spajanja sa čeličnim sandukom, spregnuta pomoću moždanika sa glavom. Veza čeličnog i betonskog dela preseka je modelirana pomoću *link* elementa (slika 5).



Slika 5 Modeliranje veze čeličnog i betonskog dela preseka

Oslonci su modelirani kao površinski, definisani na donjoj ploči čelične konstrukcije. Šematski prikaz rasporeda ležišta na konstrukciji je prikazan na slici 6. U osi 1 u sredini je postavljen nepokretni oslonac, dok je na krajnjim ležištima dopušteno samo poprečno pomeranje, s obzirom na to da je most velike širine. U ostalim osama, središnja ležišta su pomerljiva u podužnom pravcu, dok su krajnja ležišta pomerljiva u oba pravca.



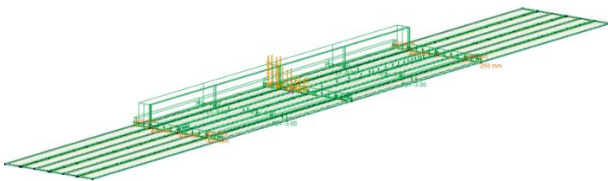
Slika 6. Šematski raspored ležišta spregnutog mosta

Opterećenja modelirana za numeričku analizu konstrukcije, podrazumevaju:

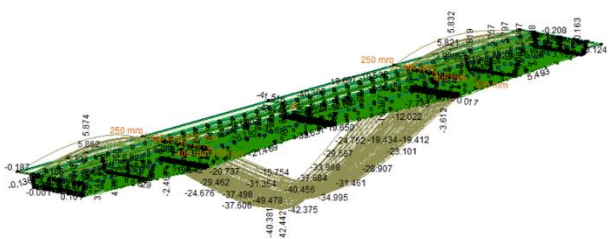
- Stalno opterećenje
- Saobraćajno opterećenje
- Dejstvo vetra
- Dejstvo temperature
- Dejstvo snega

U analizi uticaja konstrukcije na projektno opterećenje, razmatrana su sva opterećenja. Za potrebe ispitivanja probnim opterećenjem, razmatrani su uticaji od saobraćajnog opterećenja. Prema EC1991-2:2003,t. 4.3, saobraćajno opterećenje se sastoji od sistema osovina (TS) i jednako podeljenog opterećenja (UDL). Saobraćajno opterećenje je modelirano kao površinsko opterećenje, uz modeliranje dodatnih koncentrisanih sila koje predstavljaju merodavno vozilo.

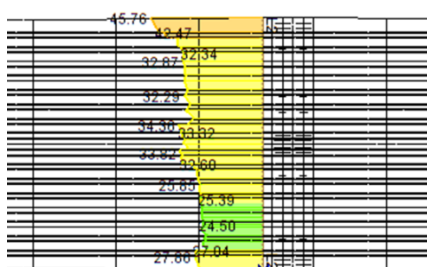
Na slici 7 je prikazan slučaj gde je saobraćajno opterećenje modelirano kao karakterističan slučaj opterećenja za uticaje u srednjem rasponu mostovske konstrukcije (LM1). Slika 8 prikazuje vertikalna pomeranja konstrukcije od saobraćajnog opterećenja LM1, dok se na slici 9 vide normalni naponi donje čelične ploče usled datog opterećenja.



Slika 7. Saobraćajno opterećenje na srednjem rasponu



Slika 8. Vertikalno pomeranje od LM1



Slika 9. Naponsko stanje donje čelične ploče usled LM1

5. IZBOR VOZILA I KONFIGURACIJE PROBNOG OPTEREĆENJA

Probno opterećenje je analizirano u skladu sa projektim saobraćajnim opterećenjem, razmatranjem kriterijuma nosivosti i upotrebljivosti. Kriterijum nosivosti je kontrolisan analizom vrednosti napona, dok se kriterijum upotrebljivosti kontrolisao analizom vertikalnih pomeranja u karakterističnim preseccima konstrukcije. Na osnovu kriterijuma deformacija, je određena veličina probnog opterećenja, odnosno tip teretnog vozila (slika 10).



Slika 10. Teretno vozilo za ispitivanje probnim opterećenjem

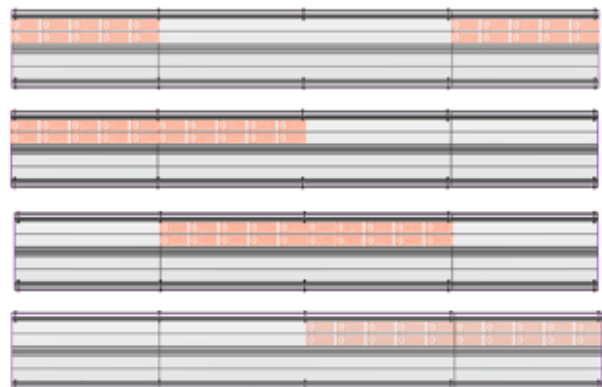
Raspored intenziteta po osovini vozila koji se koristi u svrhu ispitivanja probnim opterećenjem je prikazan u tabeli 6.1. Osovinsko opterećenje vozila se nanosi na konstrukciju mosta u skladu sa tehničkim karakteristikama teretnog vozila.

Tabela 1 Osovinsko opterećenje teretnog vozila

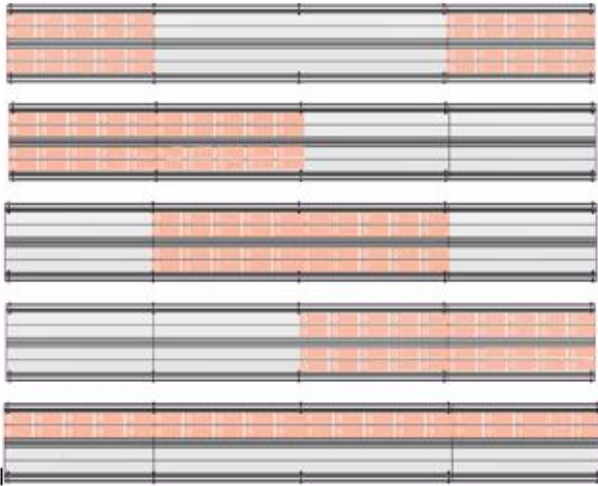
Osovine	Vrednosti (kN)	Ukupno
1	65	245
2	90	
3	90	

Izvođenje probnog opterećenja podeljeno je u 9 faza, koje su organizovane tako da izazovu najveće uticaje, predviđene projektim opterećenjem.

Predviđeno je izvođenje ispitivanja probnim opterećenjem u trajanju od dva dana. Faze 1-4 (slika 11) planirane su za prvi dan, gde je potrebno polovina ukupno planiranog broja kamiona, dok su za drugi dan planirane faze 5-9 (slika 12). Ukupan broj kamiona potreban za izvođenje obe faze ispitivanja probnim opterećenjem je 40.



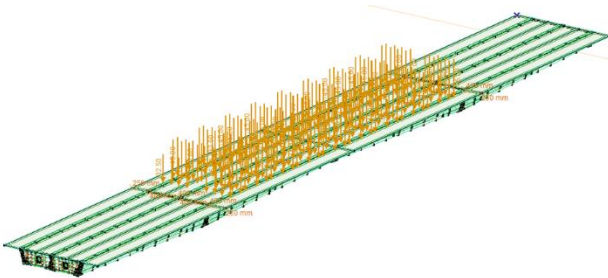
Slika 11. Raspored faza probnog opterećenja (1-4)



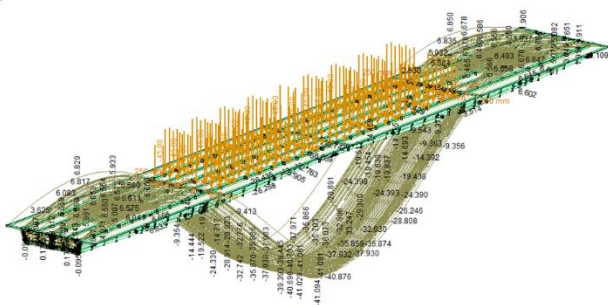
Slika 12. Raspored faza probnog opterećenja (5-9)

6. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE I ANALIZA UTICAJA PROBNOG OPTEREĆENJA

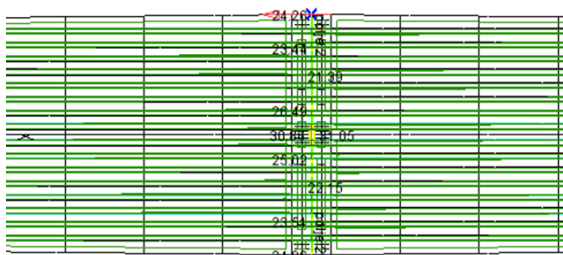
Probno opterećenje je modelirano kao sistem koncentrisanih sila, koje predstavljaju opterećenje od točkova teretnog vozila. Intenzitet po osovini je dat u tabeli 1, dok je razmak koncentrisanih sila, definisan prema osovinskom razmaku teretnog vozila. Na slikama 13-15 je prikazano modeliranje probnog opterećenja faze 7, kao i uticaji usled datog opterećenja.



Slika 13. Modeliranje probnog opterećenja-faza 7



Slika 14. Vertikalno pomeranje konstrukcije-faza 7



Slika 15. Naponsko stanje donje čelične ploče-faza 7

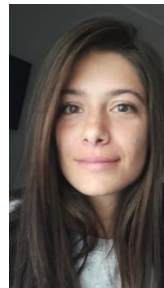
7. ZAKLJUČAK

Cilj rada jeste da se uradi proračun konstrukcije za potrebe ispitivanja probnim opterećenjem, na primeru mosta preko reke Tise. Nakon urađenog statičkog proračuna konstrukcije mosta za projektovano opterećenje, (čime je dokazan kapacitet nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti konstrukcije), pristupljeno je proceni veličine probnog opterećenja za ispitivanje konstrukcije mosta, prema saobraćajnom projektom opterećenju. Kamioni za ispitivanje probnog opterećenja birani su na osnovu kriterijuma napona i deformacija, nakon čega je data konfiguracija ispitivanja probnim opterećenjem, odnosno raspored kamiona po fazama, čime je planirano da se izazovu projektom predviđeni naponi i deformacije u konstrukciji. Tako definisano probno opterećenje, bi u toku ispitivanja trebalo da izazove napone i deformacije predviđene programom ispitivanja, koji bi potvrdili tehničku ispravnost konstrukcije mosta u pogledu nosivosti, stabilnosti i upotrebljivosti za projektovano opterećenje.

8. LITERATURA

- [1] SRPS.U.M1:1984-Ispitivanje mostova probnim opterećenjem
- [2] EN1991:2003-Part 2-Traffic loads on bridges
- [3] Munzer Hassan, Olivier Burdet, Renaud Favre, Analysis and evaluation of bridge behaviour under static load testing leading to better design and judgment criteria
- [4] Hrvoje Biondić, Probno opterećenje mostova, Ekscentar br. 14,2011

Kratka biografija:



Branislava Maširević rođena je u Somboru, 1989. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Konstrukcije odbranila je 2019.god. kontakt: branislava909@gmail.com