

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

Mladen Kustura

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, doc. dr. sc.
mladen.kustura@gf.sum.ba

Goran Šunjić

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, doc. dr. sc.
goran.sunjic@gf.sum.ba

Brigita Šunjić

JP Autoceste FBiH d.o.o. Mostar, mag. ing. aedif., s.brigita@jppautoceste.ba

Sažetak: Mostovi kao građevine, ali i simbol, izvlače ono najbolje iz čovjeka jer povezujući dvije strane, oni svakako uvijek više spajaju nego razdvajaju, ujedinjuju bez da dijele. Zadaci graditelja prvobitnih mostova bili su ograničeni na pješačke prijelaze. Bili su to prvi prirodni ili izgrađeni prijelazi od oborenih stabala koji su služili za potrebe ondašnjih korisnika. Danas, pješački mostovi dobivaju na značenju gradeći se ne samo kao komunikacija nego i kao moderan način zdravog življenja. Gradnja svake građevine pa tako i pješačkog mosta traži njezino kontroliranje. Svim mostovima bez obzira na njihovu dužinu, širinu i namjenu zajedničko je to da se nad njima moraju provoditi ispitivanja. Pravilnik o ispitivanju mostova pokusnim opterećenjem (JUS U.M1.046) je jedan od dijelova zakonske regulative koji se mora ispoštovati. Kroz ovaj Pravilnik definirani su postupci ispitivanja te ocjena rezultata ispitivanja konstrukcija. Osim kratkog uvida u moderne pješačke mostove u ovom radu su prezentirani praktični primjeri ispitivanja pješačkih mostova pokusnim opterećenjem uz sudjelovanje djelatnika Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru.

Ključne riječi: pješački mostovi, ispitivanje pokusnim opterećenjem, progibi, dilatacije

Pedestrian bridges and load testing

Abstract: Bridges as structures, but also as a symbol, draw the best out of a human, because by connecting two sides, they certainly always connect rather than separate, unite without dividing. The tasks of builders of primal bridges were limited to pedestrian crossings. Those were the first natural or constructed crossings made of fallen trees that were used for the needs of the then users. Today, pedestrian bridges are gaining importance by being constructed not only for communication but also as a modern way of healthy living. Construction of any structure, including a pedestrian bridge, requires its control. All bridges, regardless of their length, width and purpose, have in common that they must be tested. The Regulation on load testing of bridges (JUS U.M1.046) is one of the parts of legislation that must be adhered to. This Regulation defines the test procedures and evaluation of the results of tests on structures. In addition to a brief insight into modern pedestrian bridges, this paper presents practical examples of load testing of pedestrian bridges conducted by the staff of the Faculty of Civil Engineering, University of Mostar.

Key words: pedestrian bridges, load testing, deflections, deformations

1. UVOD

Projektiranje mostova složen je građevinsko-tehnički zadatak, koji treba zadovoljiti mnoge zahtjeve, a ne samo tehničko rješenje njegove nosive konstrukcije. Postojanje pouzdane nosive konstrukcije bitan je preduvjet postojanja mosta, ali nije dovoljan za njegovu uporabnu vrijednost. Osim ovih spomenutih uvjeta, mostovi kao i sve druge građevine, trebaju zadovoljiti zahtjeve funkcionalnosti, sigurnosti, trajnosti, ekonomičnosti, estetike i ekologije (utjecaja na okoliš). Geometrija pješačkih mostova (niveleta, nagibi), a posebno zakrivljenost osovine, puno je slobodnija od geometrije punih mostova. Ovisno o potrebama pješaka i biciklista usklađuju se širine mostova. Ona je kod dužih mostova konstantna, a kod kraćih se često predviđaju proširenja na krajevima. Ovisno o dužini mosta, bira se materijal za gradnju pa tako manji mostovi se grade od lameliranog drveta i betona, a duži od čelika ili kao spregnuta konstrukcija čelik – beton. Statički sustavi su gredni, okvirni, lučni, viseći i ovješeni. Upravo ovo stoljeće u kojem živimo i u kojem neboderi prelaze vertikalne granice, a 3-D printeri mijenjaju dizajn i inženjering puno je iznenađenja pa nimalo ne čudi kako i gradnja mostova prati novi inovativni *boom*. Iako je osnovna funkcija mostova osigurati prijelaz od točke A do točke B, njihova je struktura danas sve samo ne obična.

2. PRIMJERI PJEŠAČKIH MOSTOVA

U ovom dijelu rada bit će prezentirano nekoliko ostvarenja moderne gradnje pješačkih mostova u svijetu i regiji.

2.1 Viseći most Charles Kuonen, Švicarska



Slika 1. Viseći most Charles Kuonen, Švicarska

Dugačak skoro pola kilometra, most Charles Kuonen u Švicarskoj, nazvan i most Europa, najduži je pješački viseći most na svijetu koji nudi posjetiteljima šetnju koja oduzima dah. Most čelične konstrukcije izgrađen je na visini između 1600 i 2200 metara nadmorske visine s pogledom na Matterhorn, Weissshorn i bernske Alpe u daljini. Zamijenio je prethodni most koji je oštećen odronima kamena. Inženjeri Swissrope i Lauber žičare za samo deset tjedana uspjeli su podići most. Most širine samo 65 cm moguće je preći za deset minuta.

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.
Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

2.2 Most Sölvesborg, Ljusarkitektur, Švedska

Ivesborgsbron ili Sölvesborg Bridge najduži je pješački most u Europi, dugačak čak 755,90 metara. Nalazi se u Švedskoj i spaja gradić Sölvesborg s novi modernim stambenim naseljem smještenim preko zaljeva. Upečatljivi dizajn mosta obogaćen je rasvjetom postavljenom na vanjski dio konstrukcije gdje svaki modul ističe suspenzije kabela i tri luka koji su zajedno izrađeni od 150 tona čelika. Izravnu svjetlost su prigušili i postavili zaštitu koja smanjuje odbljesak te skriva njezin izvor. Različite sekvence u boji programirane su u LED-u i mijenjaju se tijekom godine.



Slika 2. Most Sölvesborg, Ljusarkitektur, Švedska

2.3 Milenijski most preko Temze u Londonu, Engleska



Slika 3. Milenijski most preko Temze u Londonu, Engleska

Milenijski most preko Temze u Londonu, Engleska viseći je most preko tri raspona s plitkim nosivim užadima izuzetno male strijele. Užad preko čeličnih "V" pilona prelaze neprekinuto i tako ostvaruju lončanicu s malom strjelom i velikom horizontalnom silom. Lagana aluminijska staza za pješake je konstruirana iz dvije uzdužne cijevi na rubovima presjeka poprečnih nosača i sprega od unakrsnih dijagonala. Greda mosta je s krutim vješaljka promjenjivog rastojanja naliježuće površine od hvatišta užadi obješena na nosivu užad. Pored lijepo oblikovanih stupova i "V" pilona most ostavlja i dojam industrijske improvizacije. Ovaj most izgrađen je za potrebe turista i pješaka koji od Crkve svetog Pavla žele da posjete novu Tate galeriju na drugoj obali Temze.

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.
Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

2.4 Henderson Waves, Singapur

Henderson Waves, Singapur, najviši pješački most u Singapuru, dio je 9-kilometarskog lanca zelenila koji se proteže kroz tri velika parka, Mount Faber, Telok Blangah Hill Park i Kent Ridge Park. Ovaj jedinstveni most dugačak je 274 metra i nalazi se na 36 metara visine. Valovitog je oblika i izrađen je od zakrivljenih čeličnih rebara koja funkcioniraju kao zakloni od vremenskih nepogoda ili radoznalih pogleda. U zaklonima su postavljene sjedalice. Pod je popločan letvicama od žutog *balau* drveta, koje raste u jugoistočnoj Aziji, a na njima je naznačena visina pojedinih točaka mosta. Most je preko noći osvijetljen popularnim LED svjetiljkama koje mu daju potpuno novu dimenziju i drugačiji izgled.



Slika 4. Henderson Waves, Singapur

2.5 Pješački most Šangaj, Kina – 3D print

U Šangaju je otvoren najduži betonski pješački most na svijetu koji je tehnologijom 3D printanja izgradio tim stručnjaka sa Sveučilišta arhitekture Tsinghua u Pekingu. Dugačak je 26,3 metra i širok 3,6 metara, a nalazi se u šangajskoj četvrti Baoshan. Ovaj jednokrlni most izgrađen je od 176 betonskih jedinica koje su printane pomoću dva robotizirana 3D printera u roku od 450 sati. Za razliku od tradicionalnih mostova, u ovaj nije ugrađen armirani beton. Izrađen je od materijala koji mogu izdržati sunce i kišu dovoljno dugo da ispunjava nacionalne građevinske standarde.



Slika 5. Pješački most Šangaj, Kina – 3D print

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

Konstrukcija mosta obuhvaća 44 šuplje jedinice, dok je paluba izgrađena od 68 kolničkih jedinica ispunjenih bijelim šljunkom, a rukohvati su izrađeni od još 64 komada. Sve komponente su printane pomoću kompozita od polietilenskog betona i dodataka. Po procjenama stručnjaka, u usporedbi s konvencionalnim procesom gradnje, uštedeno je 33% predviđenog novca. Prije početka izgradnje mosta, stručnjaci su napravili manji model kojim su testirali cijeli projekt. Svrha testiranja jest dokazati da most može izdržati pješake koji njime prolaze i koji se zadržavaju na mostu. U most je ugrađen i sustav praćenja u realnom vremenu koji nadzire eventualne deformacije i pomicanja, a ove će se informacije koristiti za daljnju pomoć u razvoju 3D printanja za inženjering.

2.6 Pješački most (Bijeli most, Most mladosti), Osijek, Hrvatska

Pješački most (Bijeli most, Most mladosti), Osijek, Hrvatska je viseći pješački most izgrađen 1980. godine i to u svega 3 mjeseca, te je odmah postao simbol grada kao jedini gradski pješački most visok 35 m i širok 6 m, kao stari gradski mostovi. Svojim 200-metarskim lučnim mosnim dijelom vezanim čeličnom užadi za četverodijelne vitke obalne stupove jedinstvena je građevina Osijeka i Hrvatske. Središnjim dijelom podsjeća na Elizabetin most u Budimpešti, a stupovi na Eiffelov toranj u Parizu. Posljednjih godina na mostu se sve češće mogu pronaći i lokoti koje su zaključali zaljubljeni ne bi li vječno „zatočili“ svoju ljubav.



Slika 6. Pješački most (Bijeli most, Most mladosti), Osijek, Hrvatska

2.7 Most svetog Irineja, Srbija

Most svetog Irineja u Srbiji pješački je most preko rijeke Save između dvije Mitrovice, Sremske i Mačvanske. S ukupnom dužinom od 262,5 metara ovo je najduži viseći pješački most u Europi i najduži pješački most u Srbiji i na Balkanu. Most je otvoren 28.6.1994., a projekt ovog mosta uradio je srpski akademik Nikola Hajdin.

Glavnu konstrukciju mosta čini sustav s kosim kablovima. Rasponi su $35 + 192,5 + 35 = 262,5$ m pri čemu je srednja vrijednost raspon između pilona (stupova). Širina mosta je svega 5,5 m pa se ovaj most ubraja u najuže mostove ovog sustava u odnosu na raspon. Glavni nosač je spregnutog presjeka s betonskom pločom i visinom od 1,3 m. Na srednjem (velikom) rasponu tri kabla polaze od pilona na krajevima velikog raspona i poduhvataju glavni nosač na razmacima od 27,5 metara. Kablovi koji polaze od pilona su na krajevima konstrukcije ankerovani na obje strane poprečnog presjeka. Piloni mosta u obliku obeliska izgrađeni su od armiranog betona. Ovaj most ima i svoju najznačajniju točku: samo s jednog

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

mjesta se mogu vidjeti zvonici sve tri crkve u gradu, ali mjesto nije obilježeno nego ga turisti sami trebaju pronaći.



Slika 7. Most svetog Irineja, Srbija

3. ISPITIVANJE PJEŠAČKIH MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJEM

Cilj gradnje mostova jeste spajanje naselja, sela, gradova, država. Međutim, mostovi se i ruše te možemo razlikovati nenamjerno i namjerno rušenje. Kod nenamjernog rušenja mostova obično su uzroci poplava, jaki vjetrovi ili udari vjetra, velike temperaturne promjene, potres i slično. Namjerno rušenje mostova slijedi 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. Prometne nesreće, udari plovnih i kopnenih vozila u stupove ispod nadvožnjaka za posljedicu imaju veće ili manje materijalne štete, a nekada i ljudske žrtve. Iz gore navedenoga može se zaključiti kako postoji potreba o kontinuiranom praćenju pomaka i deformacija mosta kako bi se na vrijeme moglo reagirati u slučaju primijećenih nedostataka. Ispitivanje mostova pokusnim opterećenjem izvodi se prema Pravilniku o ispitivanju mostova pokusnim opterećenjem JUS U.M1.046:1984.

3.1 Pokusno opterećenje

Pokusna opterećenja mogu se podijeliti u više vrsta. Prema učestalosti, na *redovita* i *kontrolna*, prema veličini tereta na *normalna* pokusna opterećenja, *posebna opterećenja* i *izuzetna opterećenja*. Posebna pokusna opterećenja vrijede za slučaj kada nisu postignuti svi zahtjevi iz projekta i postoje sumnje glede spojeva te ako konstrukcija nije zadovoljila ni nakon ponovljenog pokusnog opterećenja dok se izuzetna pokusna opterećenja provode samo u slučaju zahtjeva za većim opterećenjem od projektnog, a rezultati vrijede jednokratno samo za to preopterećenje mosta kao npr. prijelaz specijalnih tereta.

Statičko i *dinamičko* pokusno opterećenje obvezno je za cestovne mostove raspona 15 ili više metara, za željezničke mostove raspona 10 i više metara te mostove s posebnim i izuzetnim pokusnim opterećenjem neovisno o rasponu. Ova vrsta probnih opterećenja provode se na potpuno dovršenom mostu i nužno je da se na mostu tijekom ispitivanja ne obavljaju nikakvi drugi radovi. Prema trajanju opterećenja su: *kratkotrajna* i *dugotrajna* i važno je da se prije ispitivanja izvrši provjera izmjera elemenata i kvaliteta ugrađenog materijala. Aktivnosti koje prethode provedbi ispitivanja jesu između ostaloga i uvid u projektnu dokumentaciju, kompletiran program ispitivanja koji obuhvaća veličinu i raspored

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

tereta po fazama, proračun očekivanih deformacija i progiba, raspored mjernih mjesta i shemu ispitivanja.

Zahtjevi koje konstrukcija mora zadovoljiti su sljedeći:

- Konstrukcija i svi njezini elementi moraju biti čvrsti i stabilni kako 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.

Kao ispravnu konstrukciju mosta, prema Pravilniku o ispitivanju mostova pokusnim opterećenjem, možemo uzeti ako su:

- Izmjereni progibi i pomaci manji ili jednaki teorijskim;
- Izmjereni trajni progibi nakon rasterećenja manji od 15% maksimalnih mjerenih progiba na istome mjestu za čelične i spregnute mostove, 20% mjerenih progiba za mostove prednapregnutog betona i 25% maksimalnih 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 pokusno opterećenje, pri čemu trajni progibi ne smiju prekoračiti: 7,5% mjerenih vrijednosti pod opterećenjem za čelične konstrukcije, 10% mjerenih vrijednosti za mostove od prednapetog betona i 12,5% mjerenih vrijednosti za mostove od armiranog betona.

3.2 Primjeri ispitivanja pješačkih mostova

U svom višegodišnjem angažmanu djelatnici Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru ispitivali su veliki broj mostova, a među njima ima i onih pješačkih. Kao primjere možemo izdvojiti ispitivanja provedena u Mostaru na novoizgrađenoj pješačkoj pasareli na sjevernom ulazu u grad, zatim ispitivanje drvenog pješačkog mosta u Mjestu Tihaljina u Općini Grude te ispitivanje pješačkog mosta u Visokom u naselju Luke-Ozrakovići, a provedba ispitivanja ovoga mosta bit će detaljnije analizirana.

3.3 Pješački most na sjevernom ulazu u Grad Mostar



Slika 8. Pješački most na sjevernom ulazu u Grad Mostar

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.
Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

Ovaj pješački most nalazi se na samom ulazu u Mostar sa sjeverne strane i možemo reći da odmah asocira na jedan od gradskih simbola – Stari most. Ova reprezentativna konstrukcija, koja ima i simboličko i estetsko značenje, primarno služi prelasku pješaka, ali i povezivanju dviju urbanih cjelina u jednu. Sam prijelaz je projektiran kao spregnuta konstrukcija obješena na dvodijelni armirano – betonski luk raspona 30 m. Rasponska konstrukcija je izvedena kao monolitna AB ploča debljine 20 cm oslonjena na poprečne čelične nosače HEA 260 koji su na krajevima obješeni na AB luk. Poprečni nosači su u podužnom pravcu povezani s HEA 220.



Slika 9. Pokusno opterećenje na mostu

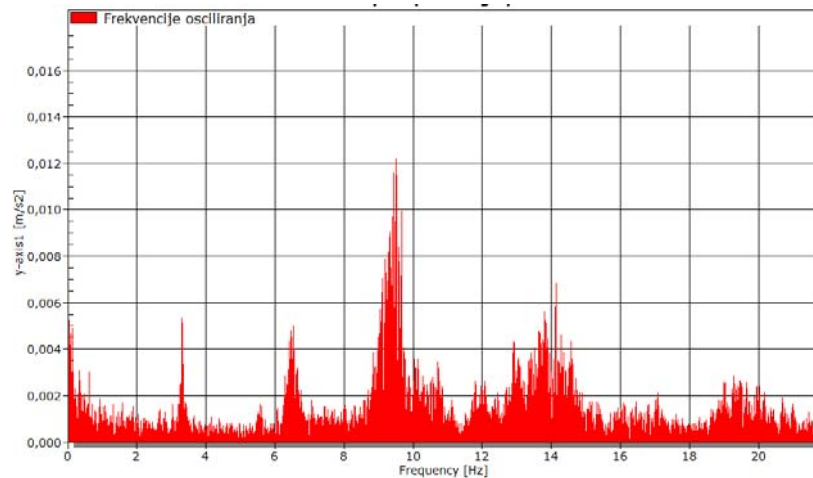
Za mjerenje progiba na konstrukciji odabrana su 3 mjerna mjesta i to na mjestima kačenja poprečnog nosača HEA 260 na zategu, izmjeren je maksimalan progib od 6,5 mm. Osim toga izvršeno je i mjerenje dilatacija u betonu i čeliku, i to u podnožju AB luka i na jednoj čeličnoj zategi.



Slika 10. Mjerenje dilatacija podnožju AB luka Slika 11. Mjerenje dilatacija na jednoj zategi

Mjerenje dinamičkih karakteristika konstrukcije izvršeno je prilikom prelaska ručnog paletara preko drvene daske, što je izazvalo dinamički udar, odnosno izazvalo pobudu konstrukcije, koja je nastavila da vibrira slobodnim vibracijama, čija frekvencija je izmjerena.

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.
Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem



Slika 12. Frekvencije osciliranja

3.4 Pješački most na izvoru rijeke Tihaljine, Općina Grude

Izgradnjom avanturističkog parka na lokalitetu izvorišta rijeke Tihaljine u općini Grude izvedena je i zanimljiva konstrukcija drvenog pješačkog mosta okvirnog statičkog sustava, s nosivim elementima od lijepljenog lameliranog drva.



Slika 13. Pješački most na izvoru rijeke Tihaljina, Općina Grude

Raspon mosta je 18,24 m, a širina 2,3 m. Okvirna konstrukcija je oslonjene na upornjake, te na kosnike koji podupiru strukturu mosta u srednjoj trećini njegovog raspona. Pješačka staza je od talpi debljine 8 cm, oslonjenih na dva glavna uzdužna nosača. Na sredini mosta urađena je čelična zatega $\Phi 30$, koja povezuje vrh kosnika i glavne uzdužne nosače. Ograda mosta je također drvena, visine 100 cm. Veze pojedinih dijelova konstrukcije urađene su s vijcima i čeličnim veznim limovima.

Pokusno opterećenje je ostvareno pomoću drvenih paleta na kojima je postavljeno 6 betonskih cestovnih rubnjaka 15/25/100 cm pojedinačne težine od 90 kg. Ukupni teret je bio oko 5,5 kN po paleti koje su postavljene jedna do druge po čitavom mostu.

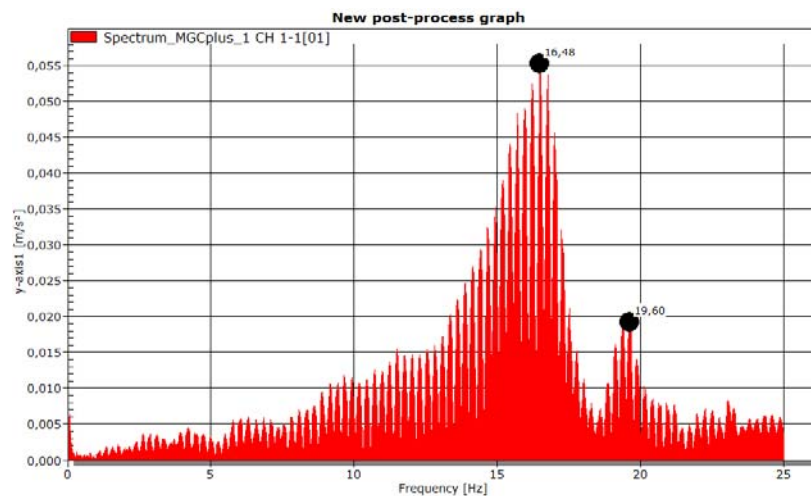
Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.
Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem



Slika 14. Pokusno opterećenje na mostu

Na mostu su mjereni na odgovarajućim mjernim mjestima progibi u svim poljima mosta. Mjerenje progiba se vršilo prije, za vrijeme i poslije pokusnog opterećenja (rasterećenje). Maksimalna vrijednost izmjenog progiba iznosila je 2,1 mm.

Za dinamičko ispitivanje mjerio se odgovor konstrukcije na dinamičku pobudu koju je izazvalo skakanje mase oko 2 kN. Vlastite frekvencije konstrukcije mosta su se odredile mjerenjem vertikalnih ubrzanja preko akcelerometra koji je postavljen na konstrukciju mosta.



Slika 15. Frekvencije osciliranja

3.5 Pješački most u Visokom

Djelatnici Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru izvršili su ispitivanje novog pješačkog mosta preko rijeke Bosne u Visokom u svibnju, 2017. godine. Most povezuje dva naselja, a poseban je po rasvjeti i svom izgledu. Radi se o tehnički zahtjevnom pješačkom mostu, jer se premošćuje rijeka Bosna, a mjesto izgradnje, tip konstrukcije, materijali, tehničko i tehnološko rješenje, estetsko oblikovanje, detalji, proračuni stabilnosti i otpornosti urađeni su po najnaprednijim strukovnim i svjetskim standardima.

Ovješeni sklop mosta čini armiranobetonska rasponska konstrukcija, betonski pilon i kose zatege od visokovrijednog čelika. Projektirana su tri kabla koja vežu rasponsku konstrukciju sa desne strane pilona sa odsječcima 13,25 m za prvi kabel ,13 m za drugi

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

kabel i 13 m za treći kabel, dok se sa lijeve strane pilona postavljaju tri paralelna kabela na osovinskoj udaljenosti od pilona 13,43 m, 14,23 m i 14,78 m. Sidrenje zatega vrši se preko čeličnih limova ubetoniranih u rasponsku konstrukciju i pilon te u betonsko rebro na obalnom stubu.



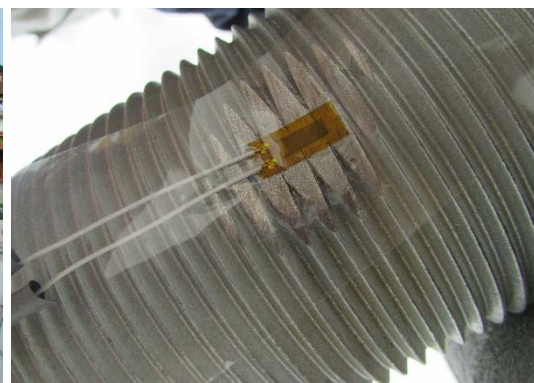
Slika 16. Pješački most u Visokom

Obalni stup na lijevoj obali projektiran je u armiranom betonu C 25/30, čelik B500B kao „U” presjek sa prednjim zidom debljine 1,30 m i paralelnim krilima debljine 0,35 m. Tijelo stuba zajedno sa stojećim krilima oslonjeno je na temeljnu ploču tlocrtnih dimenzija 6,70x6,40 m i debljine 1,30 m, a preko četiri bušena šipa Ø100 cm na osovinskom razmaku 4,50 m u sloj supstrata. Obalni stub je koncipiran kao oslonac rasponske konstrukcije i kao dio pristupne rampe iz pravca naselja Luke prema mostu. U osovini obalnog stuba koja se poklapa sa osovinom mosta projektirano je rebro širine 0,70 m i dužine 4,70 m koje će poslužiti za ankerovanje kabela.

3.5.1 Način ispitivanja i opterećenje



Slika 17. Pokusno opterećenje



Slika 18. Mjerna traka za čelik

Na mostu su se na odgovarajućim mjernim mjestima mjerili progibi u poljima mosta, dok su se relativne deformacije čelika mjerile na čeličnim vijcima zatega u većem polju, budući da je mjernim trakama nemoguće mjeriti deformacije žičanih zatega. Deformacija betona na donjoj strani ploče mosta mjerila se samo u presjeku većeg polja mosta gdje su najveći

momenti savijanja i progibi mosta. Mjerenje progiba se vršilo geodetski. Na mostu se mjerio i dinamički odgovor konstrukcije na pobudu izazvanu udarom jedne betonske ograde od most.

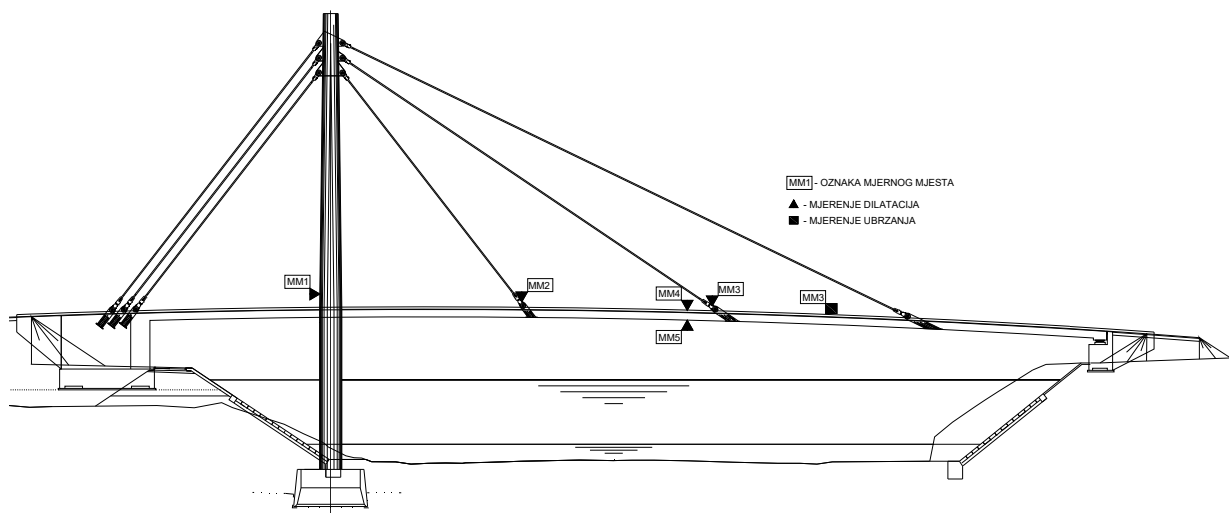
Pokusna opterećenja su izvedena od bidona ispunjenih vodom i od betonskih odbojnih ograda poznate težine. Pokusno opterećenje je urađeno s tri tipa opterećenja postavljenih u položaje u kojem izazivaju najveća naprezanje u poljima i zategama mosta. Prvi tip opterećenja se sastoji od 4 predgotovljene betonske odbojne ograde duljine 5 m. Drugi tip opterećenja se sastoji od 20 plastičnih bidona volumena od 1 m^3 ispunjenih vodom. Treći tip opterećenja su 4 betonske ograde i 2 bidona.

Proračun mosta izvršen je u programu Tower 7.0, te je na osnovu dobivenih rezultata ispitivanja probnih opterećenjem i računskog modela izvršena usporedba i dan zaključak.

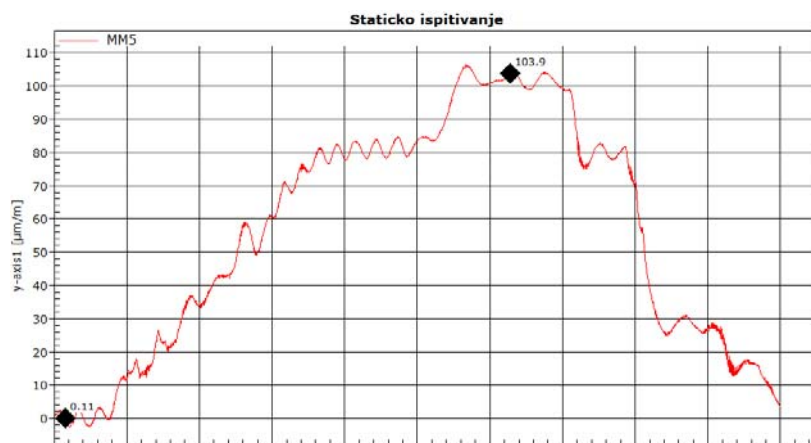
3.5.2 Rezultati ispitivanja

Mjerenje dilatacija izvršeno je na ukupno pet mjernih mjesta, a zbog ograničenosti brojem stranica u ovome radu kao rezultati ispitivanja će se prikazati utjecaji od statičkog opterećenja na AB rasponskoj konstrukciji (mjerno mjesto 5), čeličnoj zategi (mjerno mjesto 3) te dinamički odgovor konstrukcije mosta na pobudu.

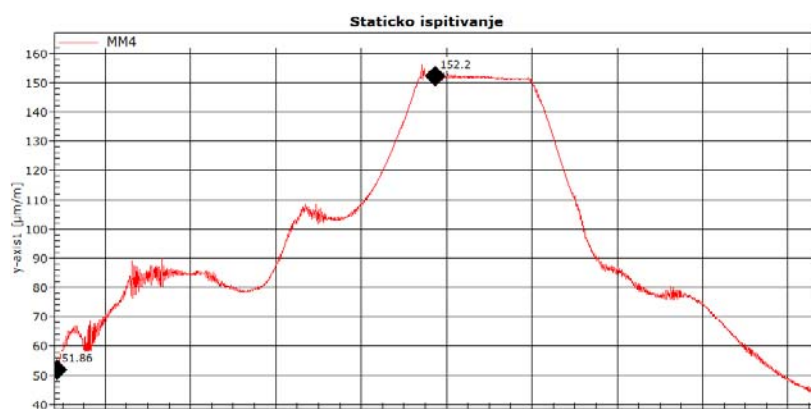
Mjerenje dilatacija za čelik i beton izvršeno je mjernim trakama tvrtke HBM a mjerenje odgovora konstrukcije na dinamičku pobudu registracijom ubrzanja obavljeno je davačem ubrzanja odnosno jednoosnim akcelerometrom tvrtke HBM tip B12/500. Prikupljanje izmjerenih vrijednosti vršeno je sistemom MGC plus a obrada izmjerenih vrijednosti izvršena je u programskom paketu Catman AP. Za geodetsko snimanje korišten je elektronski nivelir tip Leica Sprinter 150M.



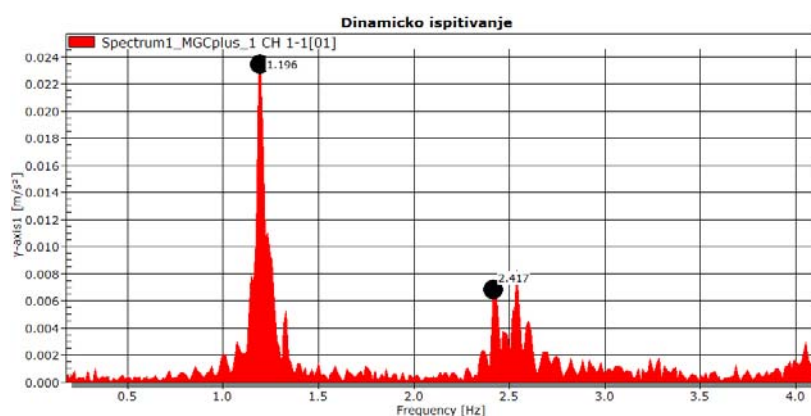
Slika 19. Shematski raspored mjernih mjesta



Slika 20. Dilatacija za mjerno mjesto 5 – betonska ploča



Slika 21. Dilatacija za mjerno mjesto 3 – čelična zatega



Slika 22. Frekvencije osciliranja mosta

Usporedbom rezultata dobivenih pokusnim ispitivanjem mosta, odnosno geodetski izmjerenih progiba, gdje je maksimalna vrijednost progiba izmjerenog tijekom ispitivanja iznosila je 2,1 mm a proračunski progib u istom mjernom mjestu iznosio je 2,08 mm te izmjerenih dilatacija i frekvencija osciliranja mosta s vrijednostima dobivenim proračunom u

Kustura, M., Šunjić, G., Šunjić, B.

Pješački mostovi i ispitivanje pokusnim opterećenjem

softveru Tower 7.0 zaključeno je kako se ispitani most ponaša u skladu s računskim modelima te ima potrebnu sigurnost za projektirano opterećenje i može služiti predviđenoj namjeni.

4. ZAKLJUČAK

Impozantnost, ljepota i dugotrajnost građevina građenih kroz povijest i danas plijene pozornost znanstvene struke i šire zajednice. Za neke od metoda i proračuna korištenih od strane projektanata u vrijeme kada nije bilo suvremenih matematičkih modela i alata te načina kontrole izvedenih građevina možemo reći da su i danas dobrim dijelom nepoznanica. Također, kroz povijest smo svjedočili nizu katastrofa te se provođenje kontrola, ispitivanje izgrađenog nameću sami po sebi. Jedan važan segment u cijelom ovom nizu jeste i ispitivanje pokusnim opterećenjem koje nam može dati cjelovit uvid u stanje ispitivanih građevina posebice mostova, bili oni cestovni, željeznički ili pješački. Praktična saznanja o stvarnoj nosivosti, stabilnosti, nastajanju i veličinama deformacija kao i drugim statičkim i dinamičkim parametrima osnovni su cilj ispitivanja mostova i drugih konstrukcija. U ovisnosti o geometrijskim i proračunskim karakteristikama ispitivane konstrukcije određuje se i obim ispitivanja, a zakonska regulativa kao spoj iskustva i znanosti ukazuje nam koje to konstrukcije treba ispitivati. Usporedba dobivenih eksperimentalnih rezultata s proračunskim vrši se u cilju verifikacije proračunskih modela i utvrđivanja kvalitete izvedbe ispitivane konstrukcije. Ovaj rad ukratko prikazuje metode ispitivanja pješačkih mostova pokusnim opterećenjem, u kojima su sudjelovali djelatnici Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, u cilju određivanja relevantnih statičkih i dinamičkih parametara.

LITERATURA

1. Pržulj, M., Mostovi, Udruženje Izgradnja Beograd, Beograd 2014.
2. Popović J., Đuranović N.: Aktuelne metode ispitivanja mostovskih konstrukcija – dio 1
3. Pravilnik o ispitivanju mostova pokusnim opterećenjem JUS U.M1.046:1984.
4. Kapović, Z. (1994): Analiza rezultata mjerenja pomaka mosta preko Pazinske jame, Geodetski list, 4, str. 361-368.
5. Rak, M., Krolo, J., Bartolac, M.: Ispitivanje i analiza parametara velikih lučnih mostova, Građevinar 62 (2010) 10, 913-920
6. Biondić, H., Pokusno opterećenje mostova, časopis Ekscentar, br. 14, str. 80-83, (2011)
7. Glibić M.; Kustura M.: Izvješće o ispitivanju pješačkog mosta preko rijeke Bosne u Visokom, naselje Luke-Ozrakovići
8. Glibić M.; Kustura M.: Izvješće o ispitivanju pješačkog mosta na izvoru rijeke Tihaljine, Općina Grude
9. Popović, J., Đuranović, N.: Aktualne metode ispitivanja mostovskih konstrukcija – dio 2
10. Rahimić Đ.: Izvještaj o ispitivanju denivelisanog pješačkog prelaza, naselje Zalik – škola Zalik, Mostar, 2018.
11. HBM test and measurement, <http://www.hbm.com/>