

*Dušan Spasojević<sup>1</sup>, Goran Milutinović<sup>2</sup>, Željko Žugić<sup>3</sup>, Marko Marinković<sup>4</sup>*

## **PREGLED KARAKTERISTIČNIH TIPOVA OŠTEĆENJA MOSTOVA USLED ZEMLJOTRESA**

### **Rezime:**

U ovom radu je prikazan pregled karakterističnih tipova oštećenja mostovskih konstrukcija zabeleženih pri zemljotresnom opterećenju. Tipovi oštećenja specifični za mostove su klasifikovani u nekoliko kategorija, kao što su dislociranje rasponske konstrukcije mosta iz ležišta, obrtanje obalnih stubova, kolapsi ležišne grede i stubova. Zatim je izvršen pregled postojećih metodologija procene štete neposredno nakon zemljotresa, za mostove (ilustrovan primerima), radi brze kategorizacije objekata, tj. njihovog oštećenja. Sve gore navedeno predstavlja važne aspekte koje treba imati u vidu tokom studijskih poseta područjima pogođenim zemljotresima.

*Ključne reči: zemljotres, mostovi, kolapsi, studijske posete*

## **REVIEW OF TYPICAL DAMAGE TO BRIDGES IN EARTHQUAKES**

### **Summary:**

A literature review of the typical damage to bridges observed in earthquake is presented in this paper. Types of damage, specific for bridges, are classified in several categories, such as bridge unseating, abutment slumping, pier cap and column failures. Further, a review of the post-earthquake safety evaluation of bridges is presented (illustrated by examples), to classify the bridge structures, i.e. their damages, in a timely manner after earthquake. All above mentioned presents important aspects for the study visits in the areas that recently experienced earthquake.

*Key words: earthquake, bridges, collapses, reconnaissance missions*

---

<sup>1</sup> Dušan Spasojević, Bridge Designer at DB Inženjering, Belgrade, Serbia, and PhD Student at University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia, email: [dusanspasojevic995@gmail.com](mailto:dusanspasojevic995@gmail.com)

<sup>2</sup> Goran V. Milutinović, Bridge Designer at DB Inženjering, Belgrade, Serbia, and PhD Student at University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia, email: [gormilutin@gmail.com](mailto:gormilutin@gmail.com)

<sup>3</sup> Željko Žugić, PhD, University of Belgrade, Innovation Center of the Faculty of Mechanical Engineering, Serbia, email: [zzugic@gmail.com](mailto:zzugic@gmail.com)

<sup>4</sup> Marko Marinković, Assistant Professor at University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Serbia, email: [mmarinkovic@gf.bg.ac.rs](mailto:mmarinkovic@gf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Mostovske konstrukcije na putevima su posebni tipovi konstrukcija od velikog značaja, kod kojih ne sme doći do ugrožavanja globalne stabilnosti konstrukcije, radi nesmetanog funkcionisanja saobraćaja. Posmatrajući svetsku inženjersku praksu, u Japanu su već posle zemljotresa 1924. godine prvi put uvedeni u propise uticaji zemljotresa pri projektovanju mostova na autoputevima [1]. Tehnički uslovi koji su u Japanu važili do kraja 20. veka uključivali su proveru duktilnosti armirano betonskih stubova kod mosta, likvefakcije tla, analizu dinamičkog odgovora, seizmičke izolatore kao i uređaje za sprečavanje dislociranja nosača iz ležišta [2]. Ovakav način projektovanja u Japanu doneo je manja oštećenja mostovskih konstrukcija i duži eksploatacioni vek.

Ono što karakteriše ponašanje mostova pri zemljotresu je ponašanje slično sistemu obrnutog klatna, s obzirom da je veliki deo mase skoncentrisan na vrhu sistema. Prilikom dejstva zemljotresa u konstrukciji se javljaju pomeranja. U ranoj praksi sračunata pomeranja konstrukcije usled zemljotresa su bila značajno manja nego što stvarno jesu. Razlozi koji su doprineli tome su:

- uzimanje u obzir bruto poprečnog preseka stuba,
- nizak nivo razmatrane poprečne seizmičke sile.

Posledica neadekvatnog proračuna je da dužina oslanjanja kod dilatacionih spojnica nije bila dovoljno dugačka, što je rezultiralo čestim ispadanjem konstrukcije iz ležišta. Takođe, bočna razdaljina između susednih mostovskih konstrukcija nije bila dovoljno velika što je rezultiralo sudaranju susednih mostova u određenom broju slučajeva.

Osetljivost infrastrukturnih objekata se definiše kao stepen oštećenja infrastrukture usled dejstva zemljotresa. Treba uočiti razliku između osetljivosti sistema i osetljivosti lokalnih elemenata konstrukcije. Infrastruktura sa minimalnim oštećenjima usled dejstva zemljotresa je preduslov za efikasno funkcionisanje infrastrukturnog sistema posle zemljotresa, kao i brza sanacija oštećenih delova konstrukcije [2]. Prilikom projektovanja mosta treba uzeti u obzir više parametara, kao što su funkcionalnost, stabilnost, estetika, ekonomičnost, dugotrajnost, ali i visinu sredstava potrebnih za održavanje objekta duž svog eksploatacionog veka. U SAD krajem 20. veka izvršna je analiza oštećenja mostovskih konstrukcija na uzorku od 1500 mostova. Kao rezultat dobijeno je da su na 64% objekata oštećenja posle zemljotresa nastala kao produkt lošeg održavanja i sanacija elemenata tokom eksploatacionog perioda pre delovanja seizmičkog opterećenja [2].

Minimalna oštećenja kao i brza sanacija oštećenih elemenata saobraćajne infrastrukture je ključan faktor za funkcionisanje države nakon zemljotresa.

## 2. PREGLED MOGUĆIH OŠTEĆENJA KONSTRUKCIJE MOSTA NAKON SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA

Poznavanje mogućih oštećenja mostovske konstrukcije i nekonstruktivnih elemenata mosta je važan faktor za pravilno definisanje nivoa stepena oštećenja. U narednom delu su taksativno ispisane neke od često zabeleženih oštećenja mostova nakon zemljotresa.

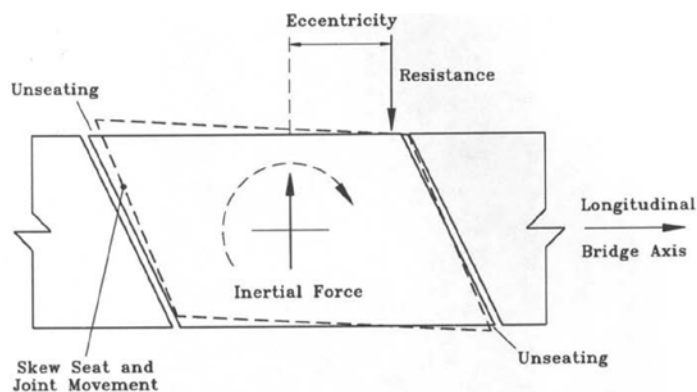
## 2.1. DISLOCIRANJE RASPONSKE KONSTRUKCIJE IZ LEŽIŠTA

Čest slučaj oštećenja mostova je usled ispadanja mosta iz ležišta zbog relativnog pomeranja delova konstrukcije u podužnom pravcu u odnosu na donji stroj, koja prevazilaze dužinu oslanjanja nosača. Posledica je ispadanje mosta na mestu dilatacionih spojnica. Najčešće, ovaj slučaj se javlja kod mostova sa visokim stubovima. U primeru sa *Slike 1*, postojao je mehanički spoj koji je povezivao gornji i donji stroj konstrukcije, koji je prekinut usled dejstva zemljotresa. Ova pristupna konstrukcija je projektovana kao prosta greda da bi se konstrukcija oslobodila uticaja usled diferencijalnog sleganja oslonaca, s obzirom da je most fundiran na lošem tlu [3].



*Slika 1 – Dislociranje rasponske konstrukcije iz ležišta, godina 1995. posle zemljotresa u Kobe-u [3]*

Kosi mostovi sa dilatacionim spojnica su posebno osetljivi na ispadanje mosta usled rotacije. Na *Slici 2* je šematski prikazano ponašanje ovakvih mostova.



*Slika 2 – Dislociranje rasponske konstrukcije iz ležišta usled kosine mosta [3]*

## 2.2. AMPLIFIKACIJA SEIZMIČKOG POMERANJA USLED EFEKATA TLA

Kada su mostovi izgrađeni na mekom tlu ili tlu podložnom likvefakciji, prethodni problem je još naglašeniji. Deformacije tla izazivaju i preraspodelu napona u konstrukciji, usled pomeranja oslonca. Meka tla će generalno amplifikovati seizmički odgovor, povećavajući mogućnost ispadanja gornjeg stroja. Kada su stubovi mosta fundirani na šipovima koji se prostiru kroz saturirane peskovite prašine ili prašinate peskove, preterano vertikalno i/ili horizontalno pomeranje tla može prouzrokovati pojavu likvefakcije tla (iznenadan gubitak nosivosti pri seizmičkom dejstvu). Jedan primer kolapsa usled likvefakcije je prikazan na *Slici 3*. Takođe važno je napomenuti da je kolaps mosta na *Slici 1* potpomognut i likvefakcijom tla.



*Slika 3 – Kolaps usled likvefakcije, godine 1990. zemljotres u Kostariki [3]*

## 2.3. SUDARANJE SUSEDNIH MOSTOVSKIH KONSTRUKCIJA

Nepredviđena seizmička pomeranja mogu da prouzrokuju sudaranje između susednih mostova. Uzrok ove pojave jesu neadekvatno ostavljeni zazori između konstrukcija. Ovo je posebno slučaj kada su konstrukcije različite visine, pa je moguć slučaj udara gornjeg stroja jednog mosta u stub drugog mosta. Jedan takav slučaj je prikazan na *Slici 4b*.

## 2.4. OBRRTANJE OBALNIH STUBOVA

U slučaju neadekvatno zbijenog tla nasipa iza obalnog stuba mosta, može doći do obrtanja obalnog stuba prilikom zemljotresa. Naime, usled podužnog odgovora rasponske konstrukcije i njenog udara u gornji deo obalnog stuba, iza obalnog stuba generisaće se veliki pasivni pritisak tla. On će postojati i na mestu udara, ali i ispod mesta udara, što može da proizvede obrtanje obalnog stuba oko tačke udara. To može dovesti do oštećenja parapeta obalnog stuba ili oštećenja šipova. Na *Slici 4a*, prikazan je primer obrtanja obalnog stuba usled zemljotresa koji se dogodio 1990. godine u Kostariki. Iako može doći do potpunog kolapsa mosta usled obrtanja obalnog stuba, on ipak nije čest, i često je moguće u nekoliko sati ili dana vratiti most u stabilni položaj i vratiti ga u funkciju, tako da se omogući prolaz kolima hitne pomoći, spasiocima i vatrogascima. Potpunu sanaciju obalnog stuba i mostovskih elemenata potrebno je izvršiti u procesu obnove nakon zemljotresa, i takva sanacija je najčešće jako skupa.

## 2.5. OŠTEĆENJA STUBOVA

Otkazivanje stuba mosta, može biti rezultat brojnih nedostataka vezanih za geometrijske karakteristike poprečnog preseka, mehaničke i reološke karakteristike materijala kao i

posledica nedostatka elastičnog dimenzionisanja stuba. Najčešći razlozi zbog kojih dolazi do oštećenja stubova, razmatrani su u nastavku.



Slika 4 – a) Obrtanje obalnog stuba, godine 1990. zemljotres u Kostariki b) Sudaranje susednih mostovskih konstrukcija, godina 1989 Loma Prieta, Kalifornija, SAD [3]

### 2.5.1. Nosivost na savijanje i duktilnost

Ranije se dimenzionisanje vršilo na veoma nizak nivo seizmičke horizontalne sile. Na primer, u Kaliforniji pre nekoliko decenija, bilo je uobičajeno projektovanje na seizmičku silu jednaku 6% sopstvene težine konstrukcije, dok se danas procenjuje da nivo seizmičke sile može da dostigne i 100% sopstvene težine. Međutim, to samo po sebi nije preveliki problem zbog tadašnjeg konzervativnog načina proračuna nosivosti na savijanje. Jedan razlog konzervativnosti je taj što se koristio elastični odgovor koji se zasniva na linearnoj interakciji između momenta savijanja  $M$  i aksijalne sile  $P$ , od oko 45% čvrstoće na savijanje pod čistim savijanjem do oko 30% aksijalne čvrstoće na pritisak prilikom čistog pritiska. Međutim, kao što je prikazano na *Slici 6b* čvrstoća na savijanje se smanjuje kako se aksijalni pritisak povećava, dok za niske nivoe aksijalnog pritiska (karakteristične za mostovske stubove) nosivost preseka na savijanje se povećava. Kao posledica toga, stvarna čvrstoća na savijanje je često preko tri puta veća od projektovane veličine [3]. Takođe je bitno da i u slučaju prekoračenja napona u armaturi, kao što je poznato sa radnog dijagrama čelika, dolazi do očvršćavanja čelika. Iz ovih razloga, stvarna čvrstoća stubova na savijanje na starijim mostovima u Kaliforniji koja odgovara 25% sopstvene težine konstrukcije je vrlo česta.

Zbog svega navedenog, stvarna nosivost, starije projektovanih stubova, na savijanje je približna nosivosti stubova koji su projektovani po današnjim propisima, ali tu nosivost ne prati odgovarajuća duktilnost koja se zahteva današnjim propisima. Dakle, takvi stariji stubovi bi imali nosivost koja odgovara na primer tzv. "duktilnom ponašanju" po EN1998-2 (sa faktorom ponašanja većim od 1.5 u većini slučajeva), ali bez odgovarajuće duktilnosti. Ta realna nosivost starijih stubova u Kaliforniji je ipak manja nego ukoliko bi se projektovala konstrukcija za elastični odgovor po današnjim propisima (na primer sa faktorom ponašanja jednak 1.0 po EN1998-2), za koji su blazi zahtevi duktilnosti. Na *Slici 7b* je prikazan primer

stuba male duktilnosti i lošeg detalja – slabo utegnuta preseka plastičnog zgloba sa malom količinom poprečne armature doveo je do kolapsa konstrukcije.



Slika 5 – Fleksiono-smičući lom stuba usled preranog završetka podužne armature, 1995. zemljotres u Kobe-u, Japan [3]

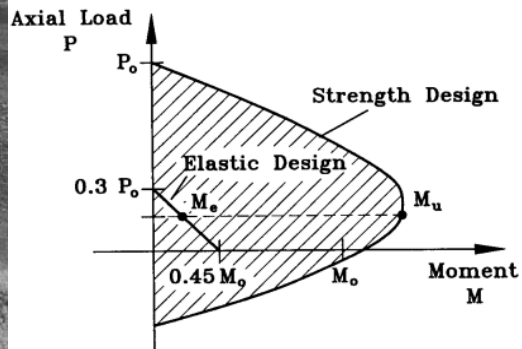
### 2.5.2. Nedovoljni preklop armature u stubu

Na sledećem primeru je prikazan stub u kome su nastala oštećenja usled neadekvatne dužine preklopa podužne armature. Naime kod ovog stuba je za dužinu preklopa uzeta dužina od 20 prečnika korišćene armature. Ispitivanja pokazuju da je to nedovoljno da bi se dostigla čvrstoća stuba na savijanje [7]. Na *Slici 6a* prikazan je lom stuba na mestu preklopa armature. Posmatrajući *Sliku 6a* može se zaključiti da je armatura preklapljen u blizini maksimalnog uticaja momenta savijanja, odmah iznad temelja, što je često neophodno zbog ankera iz temelja. Međutim, zaključuje da je jedan od uzroka ovog oštećenja preklop svih šipki podužne armature u jednom preseku. Nedovoljne dužine preklapanja armature i preklop svih podužnih šipki armature u jednom preseku treba rigorozno izbegavati u projektovanju stuba mosta.

### 2.5.3. Otkazivanje nosivosti stuba na smicanje

Posebnu pažnju treba posvetiti kratkim stubovima, jer su ovakvi stubovi podložni gubitku nosivosti na smicanje kao posledice visokog odnosa sile smicanja i momenta savijanja. Bitno je naglasiti da će nosivost stuba na savijanje biti višestruko veća zbog ranijeg konzervativnog projektovanja na osnovu teorije elastičnosti, dok su izrazi za smičuću nosivost generalno manje konzervativni. Tipičan primer otkaza nosivosti stuba usled prekoračenja napona smicanja, a sa velikom nosivošću na savijanje, desio se prilikom zemljotresa 1971. godine u San Fernando-u, SAD. Na *Slici 7a* predstavljen je tipičan krt lom smicanjem. Sa *Slike 7a* može se zaključiti da nije došlo do razvoja plastičnog zgloba. Takođe, zapažanjem kroz oštećenja nastalih od zemljotresa u San Fernando-u može se zaključiti da je čvrstoća na smicanje u regionima plastičnog zgloba manja nego u ostalom delu stuba. Takođe je bitno naglasiti da zbog loma

poprečne armature, dolazi do gubitaka strukture i oblika stuba, pa i samo gravitaciono opterećenje dovodi do otkaza konstrukcije.



Slika 6 – a) Lom stuba na mestu preklopa podužne armature, 1995. zemljotres u Kobe-u, Japan, i b) Dijagram interakcije stuba [3]



Slika 7 – a) Otkaz smicanjem bez formiranja plastičnog zgloba na krajevima stuba, i b) lom uled nedovoljnog utezanja plastičnog zgloba, 1971. zemljotres u San Fernando, SAD [3]

## 2.6. KOLAPS LEŽISNE GREDE

Posmatrajući, na konkretnom primeru zemljotresa koji se desio 1989. godine u Loma Prieta-i, zaključeno je da oštećenja u ležišnim gredama nakon zemljotresa najčešće nastaju usled narednih nedostataka:

- nedostatak kapaciteta prenosa smičuće sile koji je posebno izražen kod slučajeva gde se transverzalne sile od seizmičkog opterećenja superponiraju sa transverzalnim silama od gravitacionog opterećenja.

- preran završetak armature u ležišnoj gredi u gornjoj zoni (idući ka sredini raspona), kod srednjeg stuba ramovskog tipa gde je stub prepušten van gabarita gornjeg stroja mosta,

- nedovoljna dužina sidrenja armature iz ležišne grede u krajnji stub, kod ramovskog tipa srednjeg stuba mosta.

Prva dva uzroka oštećenja su karakteristične za mostove sa srednjim stubom ramovskog tipa prepušten van gabarita gornjeg stroja, dok se treci vid javljao često kod mnogih mostova sa

ramovskim tipom srednjeg stuba. Na *Slici 8*, vidi se oštećenje na spoju ležišne grede i stuba u vidu široke prsline sa unutrašnje strane stuba, usled nedovoljne dužine sidrenja šipke iz donje zone ležišne grede od samo 15 prečnika armature.



*Slika 8 – Oštećenja čvora donjeg stroja, 1989. zemljotres u Loma Prieta-i [4]*

### **3. METODOLOGIJE OCENE STEPENA OŠTEĆENJA MOSTOVSKIH KONSTRUKCIJA POSLE ZEMLJOTRESA**

U Republici Srbiji nije razvijen sistem metodologije brze procene stepena oštećenja mostovskih konstrukcija nakon zemljotresa radi adekvatnog oporavka zemlje i funkcionisanja saobraćajnog sistema nakon zemljotresa. Jedna od vodećih zemalja sveta u izučavanju zemljotresnog inženjerstva je SAD, pa će u ovom delu biti prikazana metodologija koja se koristi u pomenutoj državi.

#### **3.1. METODOLOGIJA U SAD, DRŽAVA INDIJANA**

U američkoj državi Indijani, organ nadležan za održavanje mostova je Indiana Department of Transportation (INDOT). U ovom poglavlju opisan je sistem za brzu procenu stanja mostova nakon zemljotresa koji je predviđen za upotrebu u Indijani, napravljen na Purdue Univerzitetu u saradnji sa INDOT-om [9]. Od 4 autora ovog sistema, tri su članovi komisije ACI 318 (glavne komisije za projektovanje betonskih konstrukcije u SAD), a i Prof. Mete Sozen je poznat da je prvi postavio osnove metode programiranog ponašanja konstrukcije pri seizmičkom dejstvu [9].

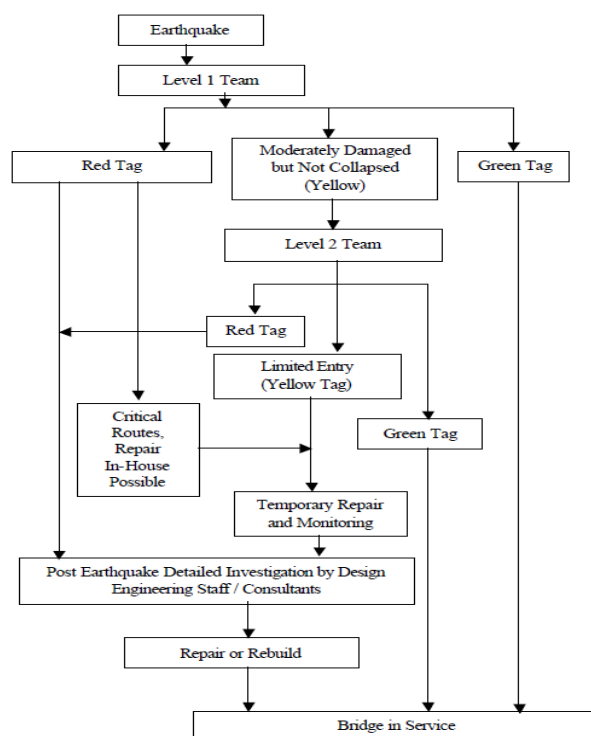
Naime, po ovom sistemu predviđeno je da se izvrši prvo brza Nivo 1 ('Level 1') procena bezbednosti, gde se svaki most obeleži jednom od sledeće tri boje:

- Zelenom Zastavom ('Green Flag') – ukoliko je most u potpunosti bezbedan, i saobraćaj se može odvijati nesmetano;
- Žutom Zastavom ('Yellow Flag') – ukoliko most zahteva dalju detaljniju procenu – prelaz preko mosta je moguć, ali uz ograničenja;
- Crvenom Zastavom ('Red Flag') – ukoliko je jasno da se mora zabraniti saobraćaj na mostu usled oštećenja.

Nivo 1 procena se vrši vizuelnim pregledom; ovaj nivo procene je potrebno uraditi dosta brzo, da bi se bar deo putne infrastrukture što pre osposobio. Nakon pregleda mosta procenom



Nivoa 1, vrši se detaljniji pregled mostova tzv. procenom Nivoa 2. Glavni prioritet Nivoa 2 procene je inspekcija svih mostova obeleženih Žutom Zastavom za vreme procene Nivoa 1. Tim koji vrši procenu Nivoa 2 mora da bude predvođen iskusnim inženjerom. Rezultat procene Nivoa 2 mostova obeleženih Žutom Zastavom je ili (a) zatvaranje tog mosta za saobraćaj ili (b) otvaranje mosta samo za hitni saobraćaj ili (c) potpuno otvaranje mosta za saobraćaj. Nakon pregleda svih mostova obeleženih Žutom Zastavom, Nivo 2 podrazumeva i pregled svih mostova obeleženih Crvenom Zastavom na važnim putnim pravcima, da se odredi da li INDOT može sam da izvrši popravku. Ovaj inspeksijski tim takođe treba da da preporuke za privremene ('short-term') popravke i da li INDOT može to sam da sprovede ili je potrebno angažovati podizvođača. Takođe, neophodno je i odrediti da li je potrebno podupiranje i praćenje oštećenih mostovskih konstrukcija. Grafički prikaz cele INDOT metodologije je prikazan na *Slici 9*.



Slika 9 – Grafik prikaza sistema procene bezbednosti mostova nakon zemljotresa [9]

### 3.1.1. Nivo 1 procene

Obrazac za Nivo 1 procene, predstavljen na *Slici 11*, definiše postupak pregleda; jedan red je predviđen za jedan most. Svakom timu (obično sa dva člana) se dodeljuje pregled određene primarne deonice puta i svih mostova na toj deonici. Primarni putevi su deonice za pristup kritičnim oblastima, kao što su gradovi, bolnice, izvori energije, centri komunikacije, škole i privredni objekti. Nakon pregleda svih mostova na primarnim deonicama, nadležni organ treba da odredi sekundarne deonice puteva koje treba pregledati.

Nivo 1 procene se vrši vizuelnim pregledom svih mostova na dodeljenoj deonici. Glavni cilj pregleda je brz i tačan zaključak stanja date mostovske konstrukcije neposredno nakon zemljotresa. To je od izuzetne važnosti da bi pomoć mogla da stigne na željeno odrediste preko otvorenih deonica. Rezultat Nivoa 1 procene su da je saobraćaj preko mosta potpuno otvoren, ograničen ili zatvoren. Svako zatvaranje mosta ili dela puta na dodeljenoj deonici se odmah prijavljuje nadležnom organu.

Preporuka je da se najpre brzo obiđe ceo most da se stekne globalna slika stanja, a zatim se radi detaljniji pregled, imajući u vidu tipična oštećenja ilustrovana primerima datim ranije. Preporučena generalna procedura za Nivo 1 procene je sledeća:

- Oštećenja puta pri dolasku na mostu treba biti zabeležena (oštećenje asfalta, oštećenje nasipa, prepreke na putu i prestanak rada saobraćajne signalizacije).

- Nakon dolaska na lokaciju mosta, zabeležiti vreme dolaska.

- Proveriti saobraćaj na mostu. Iako može biti saobraćaja na mostu, to ne znači da je most bezbedan. Svakom mostu treba pristupiti sa pretpostavkom da je oštećen.

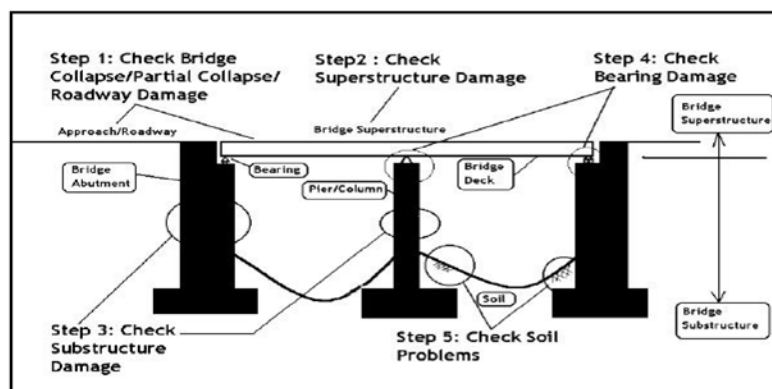
- Pristupiti mostu sa oprezom i nikad ne ići odmah ispod ili preko mosta. Preći preko mosta, tek kad je ustanovljena vizuelno kontinualna linija ivičnjaka ili ograde (da se vidi jasno da nije došlo do pomeranja susednih dilatacionih celina ili celog mosta), i nakon provere donje površine mosta.

- Ustanoviti plan pregleda. Proveriti prvo prilaze mostu, pa nastaviti po redosledu iz obrasca (*Slika 11 i Slika 12*). Da bi se ubrzao pregled, inspektori treba da krenu na različite strane mosta.

- Nakon pregleda mosta, tim zajedno dolazi do zaključka kako obeležiti most. Ako je most primio barem jedan odgovor DA za tip štete od 1 do 5 (*Slika 11*) u obrazcu, most treba da se obeleži ili Crvenom Zastavom, za zatvaranje mosta, ili Žutom Zastavom ako je zaključeno da je neophodan detaljni pregled u kom slučaju je moguć ograničen prelaz preko mosta. Ako je most neoštećen, obeležiti ga Zelenom Zastavom.

- Zalepiti oznaku (sa datumom i vremenom pregleda i inicijalima inspektora) na vidno mesto na mostu.

Preporuke za određivanje stanja mosta, tj. obeležavanje određenom bojom su date na *Slici 12*, za konkretne tipove oštećenja. Na *Slici 10* je prikazana šema postupka pregleda mosta.



Slika 10 – Šema postupka i elemenata mosta za pregled [9]

**INDOT RAPID ASSESSMENT BRIDGE INSPECTION REPORT (LEVEL I)**

Route \_\_\_\_\_ Direction \_\_\_\_\_ from Intersection \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_ of \_\_\_\_\_

Date and Local Time: \_\_\_\_\_

Post Earthquake Condition of the Bridge (Please write "YES, NO or DRN (Detailed Review Needed)" for items 1-6)

Bridge Number	1. Collapse / Partial Collapse/ Roadway Closed	2. Superstructure Damage Movement, Pounding, Buckling, Cracking, Failure	3. Substructure Damage Shear Key Damage, Local Buckling, Settlement, Tilting, Sliding, Rotation, Cracking, Failure	4. Bearing Damage Failure, Movement, Shearing or pullout of bolts	5. Soil Problems Slope Failure, Soil Liquefaction, Fissure, Differential Settlement	6. Secondary Structure Damage Wing walls, Parapets, Pylons	7. Explain Other Problems Observed (Damage in Pipelines or Other Utilities etc.)	RED TAG	YELLOW TAG	GREEN TAG
	YES NO DRN	YES NO DRN	YES NO DRN	YES NO DRN	YES NO DRN	YES NO DRN				

Slika 11 – INDOT Obrazac za brzu procenu mostova [9]

	GREEN TAG	YELLOW TAG	RED TAG
<b>Traffic Barriers and Railings</b>	damage does not impede traffic	damage impedes traffic	
<b>Movement at Expansion Joints</b>	1) < 1in. offset in vertical or horizontal alignment 2) spalling of concrete cover	1) 1 to 6 in. offset in vertical or horizontal alignment 2) local buckling of steel stringers	> 6 in. offset in vertical or horizontal alignment
<b>Seats at Expansion Joints</b>	< 1 in. reduction in seat length	> 1in. reduction in seat length	unseating
<b>Bearings</b>		visible damage	

	GREEN TAG	YELLOW TAG	RED TAG
<b>Columns, Cross-Beams and Piers</b>	1) vertical cracks in RC beams 2) horizontal cracks in RC columns and piers	1) diagonal cracks in RC beams, columns and piers. 2) loss of concrete cover 3) any crack in steel beams or columns	1) bar buckling in RC beams, columns and piers 2) local buckling in steel columns
<b>Column/ Beam Joints</b>		1) any cracks. 2) loss of concrete cover	
<b>Footings/ Pile Caps</b>	space between columns and surrounding earth	any other damage (e.g., cracks, spalling, rotation)	

	GREEN TAG	YELLOW TAG	RED TAG
<b>Abutments</b>	spalling at expansion joint	any other damage (e.g., cracks, spalling, rotation)	
<b>Approach/ Abutment interface</b>	< 1 in. settlement	1 to 6 in. settlement	> 6 in. settlement
<b>Roadway</b>	Normal Driving Conditions	Reduced Speed, or Quickly Repairable	Impossible

Slika 12– Klasifikacija oštećenja po INDOT metodologiji [9]

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan pregled mogućih oštećenja mostovskih konstrukcija, posle zemljotresa, sa komentarima mogućih konstruktorskih rešenja kako bi se izbegla oštećenja. Grupa osnovnih razloga oštećenja konstrukcije mosta usled seizmičkog opterećenja je nedovoljni preklap armature, mala dužina sidrenja armature, neadekvatno održavanje mostovskih konstrukcija tokom eksploatacionog perioda, neadekvatna konstruktivna rešenja oblika konstrukcije kao i nedovoljna duktilnost elemenata. Sa ciljem približavanja inženjerskoj struci, dat je i jedan od mogućih načina za procenu stabilnosti mosta nakon zemljotresa, njegovih oštećenja i prohodnosti. Rad ima i elemente načina stručnog ponašanja inženjera u vandrednim situacijama u oblastima pogođenim zemljotresom.

Proučavanjem tipičnih oštećenja mostovskih konstrukcija, kao i pregledom postojećih metodologija brze procene mostova nakon zemljotresa, postižu se dva cilja:

- Vršiti se priprema za studentske posete regionima pogođenim zemljotresom, tokom kojih će se proširiti znanje o ponašanju mostovskih konstrukcija za vreme zemljotresa,
- Postavlja se osnova za definisanje metodologije brze procene mostovskih konstrukcija nakon zemljotresa u Republici Srbiji.

Minimalna oštećenja i brz oporavak saobraćajnica i mostova na njima je ključan deo adekvatnog funkcionisanja cele zemlje nakon zemljotresa. Brzom procenom velikog broja mostova maksimizuje se prohodnost saobraćajnica, što je od izuzetne važnosti za funkcionisanje saobraćajne mreže.

#### LITERATURA

- [1] R. Folić, Projektovanje seizmički otpornih betonskih mostova, Materijali i konstrukcije 51, 2008, st. 41-65.
- [2] Manić N, Lukić D, Prokić A, Seizmička otpornost infrastrukturnih objekata, zbornik GFS 22.004, 2022, st. 1-12.
- [3] M.J.N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi, *Seismic design and retrofit of bridges*, USA, 1996, 6-52.
- [4] M. Fardis, "Capacity design: Early history," *Earthquake Engng Struct Dyn.*, 2018, doi: 47:2887–2896. <https://doi.org/10.1002/eqe.3110>.
- [5] Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, *Protecting Infrastructure from Earthquakes*, California, 2010.
- [6] Jost, A., *Vulnerability of Infrastructure*, Studerengineering, CH 8038 Zürich, Switzerland, 2000.
- [7] Brunson, D., *Critical Infrastructure and Earthquakes: Understanding the Essential Elements of Disaster Management*, . National Lifelines Co-ordinator, Wellington, New Zealand. 2003.
- [8] Olgun, M., i dr., Faktori koji uticu na stabilnost kosina tokom dejstva zemljotresa, J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ., v.24, n.2, Turska, 2009.
- [9] Julio A. RAMIREZ, Robert J. FROSCHE, Mete A. SOZEN, A. Murat TURK, *Handbook for the post-earthquake safety evaluation of bridges and roads*, School of Civil Engineering, Purdue University, March 2000.