

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet

Ela Njirić, Josipa Šiljeg

**OCJENJIVANJE UČINKOVITOSTI CESTOVNIH MOSTOVA ZA RANGIRANJE
PRIORITETA U ODRŽAVANJU**

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je pri Zavodu za konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Ane Mandić Ivanković, dipl. ing. građ. i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017./2018.

Popis oznaka

G_{AADT}	ocjena za godišnji prosječni dnevni promet (<i>eng: grade for annual average daily traffic</i>)
G_{DD}	ocjena za zaobilaznu udaljenost (<i>eng: grade for detour distance</i>)
G_{LS}	ocjena za najveći raspon (<i>eng: grade for largest span</i>)
G_{RC}	ocjena za kategoriju ceste (<i>eng: grade for road category</i>)
G_{TL}	ocjena za ukupnu duljinu (<i>eng: grade for total length</i>)
$G_{VI,i}$	ocjena oštećenja na temelju vizualnog pregleda (<i>eng: damage assessment grade based on a visual inspection</i>)
$I_{D,CO}$	važnost pojedine oštećene komponente na trajnosne aspekte (<i>eng: durability importance of a certain damaged component</i>)
$I_{SS,CO}$	važnost pojedine oštećene komponente u sigurnosti konstrukcije (<i>eng: structural safety importance of the damaged component</i>)
$I_{TS,CO}$	važnost pojedine oštećenje komponente u prometnoj sigurnosti (<i>eng: traffic safety importance of the damaged component</i>)
$KPI_{AV,SY}$	ključni pokazatelj dostupnosti mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge availability</i>)
$KPI_{AV,SY,rail}$	ključni pokazatelj dostupnosti mosta za željeznički promet (<i>eng: key performance indicator of bridge availability for rail bridges</i>)
$KPI_{AV,SY,road}$	ključni pokazatelj dostupnosti mosta za cestovni promet (<i>eng: key performance indicator of bridge availability for road bridges</i>)
$KPI_{BCA,IP}$	ključni pokazatelj cjelokupne ocjene stanja pojedinog elementa mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge condition assessment for individual parts</i>)
$KPI_{BCA,SY}$	ključni pokazatelj cjelokupne ocjene stanja mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge condition assessment</i>)
$KPI_{BI,NET}$	ključni pokazatelj važnosti mosta na razini mreže (<i>eng: key performance indicator of bridge importance at the network level</i>)
$KPI_{D,IP}$	ključni pokazatelj trajnosnih svojstava pojedinog elementa mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge durability for individual parts</i>)
$KPI_{D,SY}$	ključni pokazatelj trajnosnih svojstava mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge durability</i>)
$KPI_{SS,IP}$	ključni pokazatelj sigurnosti konstrukcije pojedinog elementa mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge structural safety for individual parts</i>)
$KPI_{SS,SY}$	ključni pokazatelj sigurnosti konstrukcije mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge structural safety</i>)

$KPI_{TS,IP}$	ključni pokazatelj prometne sigurnosti pojedinog elementa mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge traffic safety for individual parts</i>)
$KPI_{TS,SY}$	ključni pokazatelj prometne sigurnosti mosta (<i>eng: key performance indicator of bridge traffic safety</i>)
$PI_{BCA,CO}$	pokazatelj općeg stanja mosta na razini svake komponente (<i>eng: bridge condition assessment indicator at the level of each component</i>)
$PI_{CA,CO}$	pokazatelj ocjene stanja oštećene komponente (<i>eng: performance indicator for the condition assessment of damaged bridge component</i>)
$PI_{D,CO}$	pokazatelj trajnosti na razini komponente (<i>eng: durability indicator at the component level</i>)
$PI_{DA,CO}$	pokazatelj maksimalne ocjene oštećenja pojedine komponente (<i>eng: damage assessment indicator at the level of each component</i>)
$PI_{SS,CO}$	pokazatelj sigurnosti konstrukcije na razini komponente (<i>eng: structural safety indicator at the component level</i>)
$PI_{TS,CO}$	pokazatelj prometne sigurnosti na razini komponente (<i>eng: traffic safety indicator at the component level</i>)
W_{AADT}	težina kriterija godišnjeg prosječnog dnevnog prometa za razinu mreže (<i>eng: weighting for annual average daily traffic at the network level</i>)
$W_{CA,SY}$	težina opće ocjene stanja za razinu sustava (<i>eng: general condition assessment weighting at the system level</i>)
W_{DD}	težina kriterija zaobilazne udaljenosti za razinu mreže (<i>eng: weighting for detour distance at the network level</i>)
$W_{D,CO}$	težina oštećenja pojedine komponente mosta (<i>eng: damage weighting for adequate bridge component</i>)
$W_{D,SY}$	težina trajnosnih aspekata za razinu sustava (<i>eng: durability weighting at the system level</i>)
W_{LS}	težina kriterija najvećeg raspona za razinu mreže (<i>eng: weighting for largest span at the network level</i>)
W_{RC}	težina kriterija kategorije ceste za razinu mreže (<i>eng: weighting for road category at the network level</i>)
$W_{SS,CO}$	težina učinka oštećenja na sigurnost konstrukcije (<i>eng: structural safety weighting</i>)
$W_{SY,rail}$	težina ključnog pokazatelja mosta za željeznički promet (<i>eng: weighting of KPI for rail traffic</i>)
$W_{SY,road}$	težina ključnog pokazatelja mosta za cestovni promet (<i>eng: weighting of KPI for road traffic</i>)

$W_{SS,SY}$	težina sigurnosti konstrukcije za razinu sustava (<i>eng: structural safety weighting at the system level</i>)
W_{TL}	težina kriterija ukupne duljine za razinu mreže (<i>eng: weighting for total lenght at the network level</i>)
$W_{TS,CO}$	težina učinka oštećenja na prometnu sigurnost (<i>eng: traffic safety weighting</i>)
$W_{TS,SY}$	težina prometne sigurnosti za razinu sustava (<i>eng: traffic safety weighting at the system level</i>)

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Općenito o istraživanju i motivacija	1
1.2. Općenito o standardizaciji pokazatelja kvalitete mostova na europskoj razini.....	2
1.2.1. Istraživanja i glavni nalazi	3
1.2.2. Od pojedinačnih pokazatelja učinkovitosti do ključnih pokazatelja učinkovitosti	4
2. HIPOTEZA, CILJEVI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA.....	6
3. OPIS POSTUPKA OCJENJIVANJA.....	7
3.1. Oštećenja povezana s komponentama	7
3.2. Razina elementa	10
3.3. Prijelaz s komponente na razinu sustava.....	15
3.4. Razina sustava	15
3.5. Razina mreže	17
3.6. Ukupna procjena uspješnosti za rangiranje prioriteta popravka.....	19
4. EKSPERIMENTALNA (TERENSKA) ISPITIVANJA	21
4.1. Uvod u održavanje i preglede konstrukcija.....	21
4.2. Terenska ispitivanja konstrukcija	21
5. POKAZNI PRIMJERCIMOSTOVA SA REZULTATIMA	26
5.1. Lučni most preko Slunjičice.....	28
5.1.1. Opis mosta	28
5.1.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja.....	30
5.1.3. Uočena oštećenja	32
5.1.4. Pokazatelji učinkovitosti	35
5.2. Gredni most Slunj	39
5.2.1. Opis mosta	39
5.2.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja.....	41
5.2.3. Uočena oštećenja	44
5.2.4. Pokazatelji učinkovitosti	49
5.3. AB most u Bjelovaru s V stupovima.....	53
5.3.1. Opis mosta	53
5.3.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja.....	55

5.3.3.	Uočena oštećenja	57
5.3.4.	Pokazatelji učinkovitosti	62
5.4.	Lučni most preko Korane u Karlovcu	66
5.4.1.	Opis mosta	66
5.4.2.	Eksperimentalna (terenska) ispitivanja.....	68
5.4.3.	Uočena oštećenja	71
5.4.4.	Pokazatelji učinkovitosti	76
5.5.	Nadvožnjak Gradna	80
5.5.1.	Opis mosta	80
5.5.2.	Eksperimentalna (terenska) ispitivanja.....	82
5.5.3.	Uočena oštećenja	85
5.5.4.	Pokazatelji učinkovitosti	90
6.	USPOREDNA ANALIZA I PROMIŠLJANJA O PRIORITETIMA.....	94
6.1.	Grafički prikazi i pripadajuće tablice sa rezultatima za prikazane primjere	94
6.2.	Usporedna analiza pridruženih grafičkih prikaza i tablica	99
7.	ZAKLJUČAK, DOPRINOS RADA I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA.....	103
7.1.	Općenito o istraživanju utjecaja konstrukcije na okoliš	105
7.2.	Ključni pokazatelji učinkovitosti mosta kroz preostali uporabni vijek.....	107
8.	LITERATURA	109
9.	POPIS SLIKA I TABLICA	112
9.1.	Popis slika	112
9.2.	Popis tablica	114
10.	SAŽETAK	115
11.	SUMMARY	117
12.	ZAHVALE.....	119

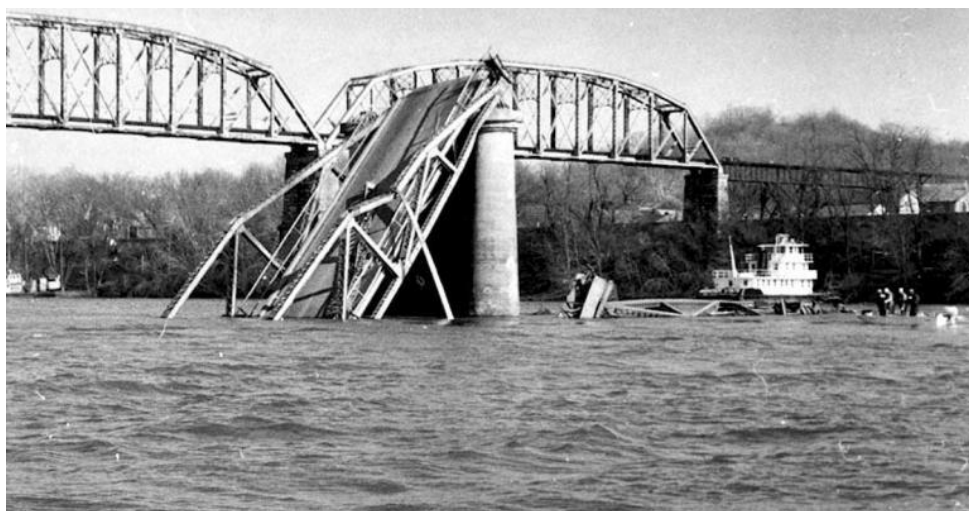
1. UVOD

1.1. Općenito o istraživanju i motivacija

U ovom radu se istražuje utjecaj stupnja oštećenja i dotrajalosti mostova na njihovu funkciju i zadovoljavanje uporabnog vijeka trajanja koristeći realne primjere mostova u Republici Hrvatskoj.

U Republici Hrvatskoj postoji velik broj mostova, dio kulturne baštine, koji se koristi još uvijek u prometne svrhe. Iako se nalaze na važnim prometnim dionicama, mnogi od njih zbog svoje starosti ne zadovoljavaju današnje norme za projektiranje (Eurocode).

Iako su najzapamćenije havarije mostova uslijed neispravnog projektiranja ili izvođenja, te izvanrednih djelovanja (npr. most Tacoma Narrows), moguće je narušavanje funkcije uslijed dotrajalosti, što se često zanemaruje. Primjer navedenog je Most Silver, Point Pleasant, Ohio, SAD, izgrađen 1928.god. (Slika 1.). Kolaps mosta dogodio se 1967.godine tijekom najveće količine dnevnog prometa, što je rezultiralo smrću 46 ljudi. Uzrok rušenja bila je pukotina od 2,5 mm u donjem dijelu čeličnog rasponskog sklopa zbog zajedničkog djelovanja korozije pri naprezanju i zamora, te slabog održavanja tijekom 40-godišnjeg uporabnog vijeka.



Slika 1. Most Silver, Point Pleasant, Ohio, SAD

Naime, oštećenja u vremenu narušavaju trajnost, funkcionalnost i sigurnost mosta i javlja se potreba za ocjenom trenutnog stanja mosta. Dodatni problem je nepostojanje baze podataka kroz koju se prati stanje mostova tijekom uporabnog vijeka, kao i neujednačen način pregleda samih mostova. Bitno je moći u pravom trenutku odabrati između rekonstrukcije i popravka

starog mosta, odnosno izgradnje novog mosta, budući da obje opcije zahtijevaju visoka ulaganja.

Napretkom tehnologije navedena tematika je sve više prisutna u istraživanjima i javlja se potreba za ujednačenim postupkom i propisima za procjenu stanja mostova na razini Europe, zbog čega je prije nekoliko godina pokrenuta COST akcija TU1406 (*Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level*) [1] kojoj pridonosi i naše istraživanje. Konačna primjena rezultata istraživanja bit će ključna za uspostavljanje univerzalnog postupka ocjenjivanja trenutnog stanja mostova prema točno definiranim parametrima i razvitak plana kontrole kvalitete.

1.2. Općenito o standardizaciji pokazatelja kvalitete mostova na europskoj razini

Mjere održavanja su potrebne kako bi se kod objekata koji imaju određenu društvenu važnost svojstva očuvala iznad zahtijevane razine. Procjenu stanja konstrukcije i odabir mjera zaštite dobivamo na temelju svojstava konstrukcije koja se odrede osnovnim pregledom na sljedeće načine:

- Vizualnim pregledom
- Nerazornim metodama
- Povremenim ili stalnim monitoringom

Podaci koji se mogu prikupiti ovakvim metodama nazivaju se pokazatelji ili indikatori. Diljem Europe utvrđene su velike razlike u načinu na koji se ovi indikatori određuju, razlike u njihovu kvantificiranju tj. načinu njihova vrednovanja, te planovima kontrole kvalitete koji proizlaze iz istih.

Glavni cilj COST akcije TU1406 je razviti smjernice za uspostavu planova kontrole kvalitete cestovnih mostova, integrirajući najnovije znanje o postupcima procjene učinkovitosti s usvajanjem specifičnih ciljeva [2], [3]. Ova se smjernica usredotočava na održavanje mosta i pokazatelje životnog ciklusa na dvije razine: (i) pokazatelji učinkovitosti (*eng. Performance indicators*) i (ii) ciljevi učinkovitosti (*eng. performace goals*). Također, razmatraju se mogućnost za nove pokazatelje koji se odnose na održivi razvoj. Razvijajući nove pristupe kvantificiranju i procjeni učinkovitosti mostova, kao i specifikacijama kvalitete kako bi se osigurale očekivane razine učinkovitosti, strategije upravljanja mostovima bit će znatno poboljšane, unaprijeđujući upravljanje starijom europskom infrastrukturom.

Da bi se taj glavni opći cilj postigao kroz specifične ciljeve i smjernice primjenjive u praksi, rad je strukturiran u nekoliko radnih grupa. Ovo se istraživanje bazira na glavnim rezultatima Radne skupine 1: pokazatelja učinkovitosti koji su proizašli iz prikupljanja i sistematiziranih analiza podataka europskih upravitelja mostovima koji se primjenjuju u praksi i pokazatelja koji su za sada tek predmet istraživanja. Baza podataka vezana uz upravljanje mostovima na europskoj razini je kreirana i sistematizirana pregledavanjem dokumenata koji se bave održavanjem, ocjenjivanjem i upravljanjem mostovima i prikupljanjem podataka o suvremenim indikatorima putem anketiranja sudionika posvećenih različitim istraživanjima u području mostova. Zaključci radne grupe 1 dalje se razrađuju u sklopu radne grupe 2 koja se bavi utvrđivanjem osnovnih ciljeva učinkovitosti cestovnih mostova te u sklopu radne grupe 3 koja suvremena saznanja nastoji primijeniti na pokaznim primjerima mostova različitih tipova konstrukcije, različite starosti i lociranih u različitim europskim zemljama.

1.2.1. Istraživanja i glavni nalazi

Kroz aktivnosti Radne skupine 1, razvoj baze podataka pokazatelja učinkovitosti definiran je kao osnovna komponenta COST Akcije TU1406. Srž procesa anketiranja zamišljena je kao korisničko sučelje u Excelu pohranjivanjem podataka u četiri glavne skupine [4], [5]: (i) razina učinkovitosti (element, sustav, mreža), (ii) vrsta oštećenja, (iii) pokazatelji / indeksi učinkovitosti i (iv) ocjena učinkovitosti. Kao podrška cjelokupnom istraživanju, razvijen je i rječnik ključnih pojmova (*eng. Glossary of key elements*) povezanih s pokazateljima, ciljevima, graničnim vrijednostima i metodama utvrđivanja učinkovitosti. Sučelje je pripremljeno na osnovi informacija iz njemačkih i austrijskih dokumenata.

Odabrana metodologija pregledavanja postojeće dokumentacije temelji se na promišljenoj analizi smjernica za pregledavanje postojećih mostova i metodologije njihovog ocjenjivanja te politike odlučivanja u europskim zemljama. Sve je rađeno u cilju otkrivanja zajedničkih pokazatelja učinkovitosti presudnih u specifikacijama kvaliteta i planovima kontrole mostova u svim europskim zemljama. Gore navedeno ima za cilj upravljanje postojećom infrastrukturom cesta iz europske perspektive, a ne samo na razini specifičnosti pojedinih zemalja koje se neminovno vezuju uz društveno političko okruženje.

Na temelju pregleda cjelokupne baze podataka pokazatelja učinkovitosti [6], glavni zaključci su kako slijedi. Najčešće korišteni pokazatelji učinkovitosti su indeks stanja, ocjena stanja, indeks dotrajavanja..., ili slični nazivi koje primjenjuju pojedine države odnosno pojedini upravitelji mostova. Navedeni pokazatelji uglavnom se dobivaju vizualnim pregledom te sve ispitane zemlje primjenjuju ovakav pokazatelj učinkovitosti i u većini zemalja ovo su i jedini

pokazatelji učinkovitosti koji se koriste u praksi upravljanja mostovima. Ipak, neke zemlje kao što su Danska ili Nizozemska počele su primjenjivati i suvremene znanstveno razvijene pokazatelje vezane uz načela preostalog vijeka uporabe, indekse pouzdanosti, pokazatelje robusnosti odnosno osjetljivosti mostova.

Strategije pregleda i praćenja postojećih mostova, usmjerene su na vrednovanje i procjenu sigurnosti konstrukcije i pouzdanosti (nosivost, uporabljivost), s krajnjim ciljem određivanja prometne sigurnosti. Preporučuju se mjere praćenja i evaluacije s ciljem poboljšanja razumijevanja i opće procjene stanja konstrukcije ili dodatno i posebni pregledi koji omogućuju identifikaciju i lociranje oštećenja u vremenu. Krajnji je cilj očuvati učinkovitost mosta tijekom cijelog životnog vijeka. Osnova bilo kakvog praćenja je uvijek detaljan pregled.

Takvi pregledi mogu biti podijeljeni u četiri vremenske kategorije (npr. Austrija):

- Vizualni pregledi, npr. na godišnjoj razini
- Jednostavne provjere, primjerice 3 godine nakon svakog glavnog pregleda
- Detaljni ili glavni pregledi, na primjer, svakih 6 godina
- Posebni pregledi, nakon iznimnih događaja ili incidenata

U slučaju ozbiljnijih nepravilnosti, oštećenja ili nedostataka potrebno je provesti posebne preglede i daljnja specijalna ispitivanja i testiranja s ciljem procjene utjecaja nedostataka na uporabljivost konstrukcije. Na temelju toga, odlučuje se hoće li nedostaci i / ili oštećenja biti popravljani tijekom sljedeće aktivnosti održavanja. Općenito, specifična detaljnija ispitivanja treba provoditi u intervalima ne dužim od 6 godina.

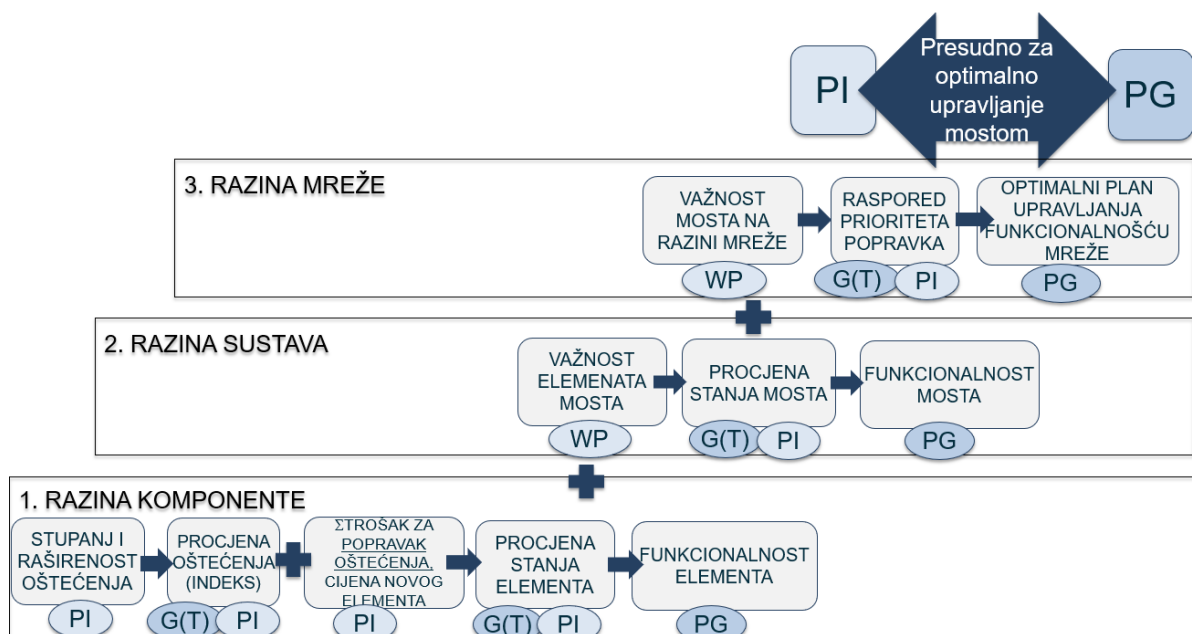
1.2.2. Od pojedinačnih pokazatelja učinkovitosti do ključnih pokazatelja učinkovitosti

Dogovoreno je, među zajednicom akcije TU 1406, da je pokazatelj učinkovitosti (*eng. Performance Indicator*) mjerljiv i kvantificiran parametar vezan uz učinkovitost mosta koji se može usporediti s graničnom mjerom / pragom (*eng. Target level*) odgovarajućeg cilja učinkovitosti (*eng. Performance Goal*) ili koji se može koristiti za svrhe rangiranja mostova u okviru plana kontrole kvalitete ili cjeloživotnog upravljanja mostovima (što uključuje odluke i radnje koje uključuju raspoložive ekonomske resurse). Kako bi se pojedini pokazatelj učinkovitosti ocijenio, moraju se postaviti pragovi ili kriteriji učinkovitosti. Vrijednost praga predstavlja granicu u cilju:

- a) praćenja (npr. uočen učinak ili ne),

- b) procjene (npr. učinak je nizak ili visok), i
- c) odlučivanja (npr. učinak je kritičan ili ne).

Kriterij je karakteristika koja je relevantna za izbor između mogućih daljnjih aktivnosti, npr. kao što su aktivnosti održavanja ili druge. Iako je interakcija različitih pokazatelja učinkovitosti neizbježna, njihova kategorizacija u tehničke, održive i društveno-ekonomske pokazatelje predložena je od razine komponente, preko razine sustava pa do razine mreže kako bi se lakše identificirala razina njihovog utjecaja na određeni ključni pokazatelj učinkovitosti [4]. Međudjelovanje pojedinih elemenata kroz komponentu, sustav i razinu mreže prikazano je na slici 2.



Slika 2. Međudjelovanje pojedinih indikatora (PI), ciljeva (PG) i težinskih parametara (WP) [5], [6], [7]

2. HIPOTEZA, CILJEVI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

HIPOTEZA:

Ključni pokazatelji učinkovitosti (*eng: Key Performance Indicators*) mosta: (i) ocjena cjelokupnog stanja mosta, (ii) sigurnost konstrukcije, (iii) sigurnost prometa, (iv) ocjena trajnosti, (v) dostupnost i (vi) važnost mosta; dobiveni na temelju rezultata vizualnog ispitivanja mosta te kvantificirani od razine elementa, preko razine sustava do razine cjelokupne mreže, predstavljaju vrijednu ocjenu za rangiranje prioriteta u daljnjem održavanju mostova.

CILJEVI:

- 1) Uspostaviti poveznicu između ocjenjivanja mostova po elementima na temelju vizualnog pregleda s ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.
- 2) Definirati ključne pokazatelje učinkovitosti mosta i način njihovog kvantificiranja na temelju dostupnih podataka iz prakse i znanstvenih istraživanja.
- 3) Ostvarenjem prethodnih ciljeva, razviti postupak ocjenjivanja učinkovitosti za rangiranje prioriteta u održavanju mostova.
- 4) Primijeniti postupak ocjenjivanja učinkovitosti kroz vrednovanje ključnih pokazatelja na nekoliko različitih mostova te na temelju usporedbe razmotriti mogućnost rangiranja prioriteta u zadanoj skupini.

METODOLOGIJA:

Za utvrđivanje stanja područja u ocjenjivanju o održavanju mostova, prvenstveno se pregledava dostupna dokumentacija i smjernice koje se primjenjuju u hrvatskoj praksi. Nadalje se pregledava dostupna znanstvena i stručna literatura na temelju koje se otkrivaju mogućnosti unaprjeđenja postojećih metoda. Na temelju raspoloživih podataka razvija se proračunski model ocjenjivanja mostova uz primjenu sučelja programskog paketa Excel koji rezultira grafičkim i tabličnim prikazom rezultata ocjenjivanja. Prikladnost postupka ocjenjivanja provjerava se na skupini stvarnih konstrukcija mostova.

Eksperimentalni dio rada predstavljaju terenska ispitivanja temeljena na vizualnom pregledu i znanju o oštećenjima (rasprostiranje, intenzitet, lokacija, važnost) te njihovim učincima na konstrukciju mosta. Pregledi mostova rađeni su u skladu sa smjernicama za pregledavanje mostova koje su razvijene u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija na diplomskom studiju građevinarstva [8], a koje se baziraju na praktičnim smjernicama Hrvatskih cesta [9] i Hrvatskih autocesta [10, 11, 12].

3. OPIS POSTUPKA OCJENJIVANJA

3.1. Oštećenja povezana s komponentama

Pregledi mostova općenito se provode na razini komponenta (elemenata) mostova koji formiraju tri glavna podsustava mostova: donji ustroj, gornji ustroj odnosno glavna nosiva konstrukcija i prometna površina [10]. Postoji veliki popis oštećenja koja se moraju promatrati tijekom vizualnih pregleda. Reduciran popis pojmova vezanih uz pokazatelje učinkovitosti (njih oko 100), koji je uspostavljen tijekom analiziranja baze podataka različitih europskih upravitelja mostovima kroz rad radne grupe 1 europske COST Akcije TU 1406 [13, 5, 6] poslužio je kao dobar temelj za izdvajanje ključnih pokazatelja oštećenja.

Najvažniji (ili najprimjetniji ili česti ili ključni ili najutjecajni) pokazatelji koji se u ovome radu primjenjuju za uspostavljanje veze između ocjenjivanja na temelju vizualnog pregleda i ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta navedeni su u tablici 1 [10].

Tablica 1. Popis promatranih oštećenja povezanih s pojedinim elementima mosta i prikladne najveće važnosti pojedinog oštećenja $I_{b,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa

GLAVNI PODSUSTAVI MOSTA	POJEDINAČNI DIJELOVI	POJEDINAČNA KOMPONENTA /ELEMENT	OŠTEĆENJE	$I_{b,CO}$
PROMETNE POVRŠINE I OPREMA	HODNIK	PJEŠAČKA OGRADA	konstruktivne pukotine	3
			ljuštenje zaštitnog sloja	2
		odlamanje zaštitnog sloja	3	
		ODBOJNA OGRADA	konstruktivne pukotine	3
	ljuštenje zaštitnog sloja		2	
	HODNIK	HODNIK	mrežaste pukotine	2
			pukotine uspijed temperaturnih promjena ili skupljanja	2
			kolotražanje u asfaltu	3
			pukotine u asfaltu	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			odlamanje zaštitnog sloja	4
	VIJENAC	VIJENAC	iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			gnijezda u betonu	2
KOLNIK	KOLNIČKA KONSTRUKCIJA	kolotražanje u asfaltu	3	
		pukotine u asfaltu	3	
	PRIJELAZNA NAPRAVA	onečišćenje prijelazne naprave	4	
		nedostaje hidroizolacija	3	
RASPONSKA KONSTRUKCIJA	GREDNA	PLOČA	progib	4

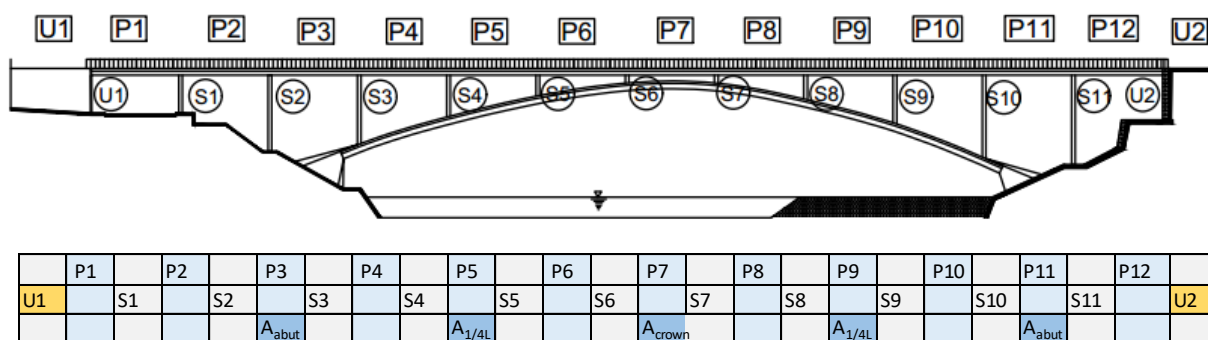
			izvijanje	4
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			neklasificirane pukotine	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			slom šipke armature	4
			korozija kablova za uzdužno prednapinjanje	4
			procurivanje kroz beton i pukotine	2
		KONZOLA	progib	4
			izvijanje	4
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			neklasificirane pukotine	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			slom šipke armature	4
		GLAVNI (UZDUŽNI) NOSAČI	progib	4
			izvijanje	4
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			neklasificirane pukotine	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			slom šipke armature	4
			korozija kablova za uzdužno prednapinjanje	4
		POPREČNI NOSAČI	progib	4
			izvijanje	4
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			neklasificirane pukotine	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			slom šipke armature	4
			korozija kablova za uzdužno prednapinjanje	4
	LUČNA	LUK	progib	4
			izvijanje	4
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			neklasificirane pukotine	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			slom šipke armature	4
DONJI USTROJ	UPORNJAK	LEŽAJ	mogućnost ispadanja uslijed pomak	3
			prekoračen dozvoljeni pomak ležaja	4
			vijak puknuo ili nedostaje	4
		LEŽAJNA KLUPICA	mrežaste pukotine	2

			konstruktivne pukotine	4
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
		STUP/ZID	gnijezda u betonu	2
			procurivanje kroz beton i pukotine	2
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			Grafiti	1
			iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
		TEMELJ	zaokretanje	4
			podlokavanje temelja	4
			neklasificirane pukotine	3
			erozija/trošenje betona	3
		ČUNJ	klizanje tla	3
			slijeganje tla	3
			erozija tla	3
	STUP	LEŽAJ	mogućnost ispadanja uslijed pomak	3
			prekoračen dozvoljeni pomak ležaja	4
			vijak puknuo ili nedostaje	4
		LEŽAJNA KLUPICA	mrežaste pukotine	2
			konstruktivne pukotine	4
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
		NAGLAVNA GREDA	gnijezda u betonu	2
			procurivanje kroz beton i pukotine	2
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			neklasificirane pukotine	3
			korozija armature	4
		STUP	izvijanje	4
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
			grafiti	1
			neklasificirane pukotine	3
		TEMELJ	zaokretanje	4
			podlokavanje temelja	4
			neklasificirane pukotine	3
			erozija tla	3
ODVODNJA	ODVODNJA KOLNIKA	RUBNJAK/RIGOL	mehanička oštećenja betona	3
			erozija/trošenje betona	3
		SLIVNIK	začepljen slivnik	4

3.2. Razina elementa

Stupanj i rasprostranjenost oštećenja potrebno je promatrati i ocijeniti duž cijele uzdužne dispozicije mosta i to prateći pojedine kritične presjeke mosta. Slika 3. prikazuje primjer lučnoga mosta sa označenim kritičnim presjecima koja su utvrđena u sklopu istraživanja ključnih pokazatelja učinkovitosti lučnih mostova [14, 15].

Raspored kritičnih presjeka valja prilagoditi uzdužnom rasporedu mostova, te je potrebno svako zabilježiti s pripadnom ocjenom prateći sustav ocjenjivanja prikazan u tablici 2.



Slika 3. Kritični presjeci prikazani kao lokacije za vizualni pregled primjera lučnog mosta

Tablica 2. Sustav ocjenjivanja oštećenja na temelju vizualnog pregleda

OCJENA Gvi	OPIS OŠTEĆENJA	POTREBNE MJERE POPRAVKA
1	Nikakva ili vrlo mala oštećenja, normalno starosno trošenje i habanje, estetska oštećenja. Nema smanjenja nosivosti, uporabljivosti i predviđenog vijeka trajanja.	Nisu potrebne mjere popravka.
2	Manja oštećenja, nedostaci u izgradnji i bez znakova daljnjeg pogoršanja. Nema smanjenja nosivosti i uporabljivosti.	Ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere, predviđeni vijek trajanja će se smanjiti. Mjere popravaka potrebne su tijekom sljedećeg postupka održavanja.
3	Umjerena do ozbiljnija oštećenja bez smanjenja nosivosti i uporabljivosti. Znakovi pogoršanja u pogledu nosivosti i uporabljivosti.	Srednjoročna akcija održavanja i popravaka potrebna je kako bi se održala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja mosta.
4	Teška oštećenja, bez smanjenja nosivosti. Već se može opaziti pogoršanje uporabljivosti i ugroženost predviđenog vijeka trajanja.	Mjere održavanja trebaju se započeti što je prije moguće kako bi se zaštitila uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Takve mjere mogu se zamijeniti dodatnim posebnim detaljnijim ispitivanjima unutar definiranog vremenskog okvira.
5	Iznimna oštećenja utječu na nosivost konstrukcije.	Mjere za popravak i održavanje moraju se izvršiti odmah.

Prosječna ocjena oštećenja koja obuhvaća sve kritične lokacije, temeljena na vizualnom pregledu ($G_{VI,i}$), postavljena je kao **pokazatelj ocjene oštećenja** na razini svake komponente:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{\sum_i^n G_{VI,i}}{n} \quad (1a)$$

Druga mogućnost je korištenje maksimalne ocjene oštećenja kao pokazatelja ocjene oštećenja na razini komponente. Ovime bi se otkrila najproblematičnija lokacija na mostu koja je važna za statički određene sustave bez rezervi (robusnost).

$$PI_{DA,CO,max} = \max_{1 \leq i \leq n} G_{VI,i} \quad (1b)$$

Nakon ocjene pokazatelja oštećenja na razini komponente, $PI_{DA,CO}$, **pokazatelj ocjene stanja oštećene komponente** $PI_{CA,CO}$ se procjenjuje primjenom težine oštećenja za odgovarajuću komponentu $W_{D,CO}$.

$$PI_{CA,CO} = PI_{DA,CO} \times W_{D,CO} = PI_{DA,CO} \frac{I_{D,CO}}{I_{D,CO,max}} \quad (2)$$

Težina oštećenja $W_{D,CO}$ proračunava se kao omjer važnosti promatranog oštećenja $I_{D,CO}$ i maksimalne važnosti svih oštećenja $I_{D,CO,max} = 4$. Važnost oštećenja $I_{D,CO}$ odnosi se na maksimalnu razinu oštećenja koja se može uočiti na određenoj komponenti i utjecati na njenu funkcionalnost. Razina važnosti oštećenja $I_{D,CO}=1$ znači da oštećena komponenta i dalje ima najbolju funkcionalnost. Važnost oštećenja $I_{D,CO}=2$ se odnosi na početno oštećenu komponentu s još uvijek neupitnom funkcijom. Važnost oštećenja $I_{D,CO}=3$ označava umjereno oštećenu komponentu s funkcijom koja i dalje nije ugrožena. I konačno razina oštećenja $I_{D,CO}=4$ znači da je visoko oštećena komponenta izvan funkcije ili ima upitnu funkciju.

Tablica 1. prikazuje razinu važnosti oštećenja za svako ključno oštećenje u odnosu na sve ispitane komponente. Tablica se temelji na smjernicama za vrednovanje oštećenja [10]. Kako bi se utvrdio utjecaj oštećene komponente na cijelu konstrukciju, važnost komponente mosta moguće je ocijeniti prema sljedećim kriterijima - sigurnost i upravljivost konstrukcije, prometna sigurnost i trajnosni aspekti [16].

Nakon određivanja pokazatelja ocjene oštećenja na razini komponente, $PI_{DA,CO}$, **pokazatelji sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti i trajnosti na razini pojedine komponente** $PI_{SS,CO}$, $PI_{TS,CO}$, $PI_{D,CO}$ procjenjuju se primjenom odgovarajuće težine za pojedinu komponentu kako slijedi: $W_{SS,CO}$, $W_{TS,CO}$, $W_{D,CO}$.

$$PI_{SS,CO} = PI_{DA,CO} \times W_{SS,CO} = PI_{DA,CO} \frac{I_{SS,CO}}{I_{SS,CO,max}} \quad (3)$$

$$PI_{TS,CO} = PI_{DA,CO} \times W_{TS,CO} = PI_{DA,CO} \frac{I_{TS,CO}}{I_{TS,CO,max}} \quad (4)$$

$$PI_{D,CO} = PI_{DA,CO} \times W_{D,CO} = PI_{DA,CO} \frac{I_{D,CO}}{I_{D,CO,max}} \quad (5)$$

Težina učinka na sigurnost konstrukcije $W_{SS,CO}$ izračunava se kao omjer važnosti pojedine komponente u sigurnosti konstrukcije $I_{SS,CO}$ i najviše moguće razine važnosti sigurnosti konstrukcije $I_{SS,CO,max}=3$. Naime, na temelju kriterija sigurnosti konstrukcije (najviša razina važnosti 3) može se zaključiti da otkazivanje određene komponente neće imati bilo kakav utjecaj na sigurnost i uporabljivost mosta (razina važnosti 1), da će imati učinak samo na dio konstrukcije mosta (razina važnosti 2) ili da će utjecati na cjelokupnu konstrukciju mosta (razina važnosti 3).

Težina učinka na prometnu sigurnost $W_{TS,CO}$ izračunava se kao omjer važnosti pojedine oštećene komponente u prometnoj sigurnosti $I_{TS,CO}$ i najviše razine prometne sigurnosti $I_{TS,CO,max}=4$. Kriterij prometne sigurnosti (najviša razina važnosti 4) izražen je u odnosu na ograničenja prometa i zakrčenosti uzrokovanih oštećenjem određene komponente: otkazivanje određenog elementa nema utjecaj na protok prometa (razina važnosti 1), uzrokuje ograničenje brzine (razina važnosti 2), uzrokuje preusmjeravanje lokalnog prometa (razina važnosti 3) ili uzrokuje potpuno obustavljanje prometa (razina važnosti 4). Težina učinka na trajnost $W_{D,CO}$ izračunava se kao omjer važnosti pojedinog oštećenog elementa na trajnost $I_{D,CO}$ i najviše razine važnosti trajnosti $I_{D,CO,max}=2$. Na osnovi kriterija trajnosti (najviša razina važnosti 2) može se zaključiti da otkazivanje određene komponente neće imati utjecaj na druge komponente (razina važnosti 1) ili suprotno tome da će otkazivanje određenog elementa uzrokovat smanjenu trajnost drugih komponenti (razina važnosti 2).

Vrednovanje prikazano u tablici 3. (temeljeno na smjernicama za ocjenjivanje mosta, [10]) može pokazati kako otkazivanje pojedinog elementa utječe na svaki kriterij.

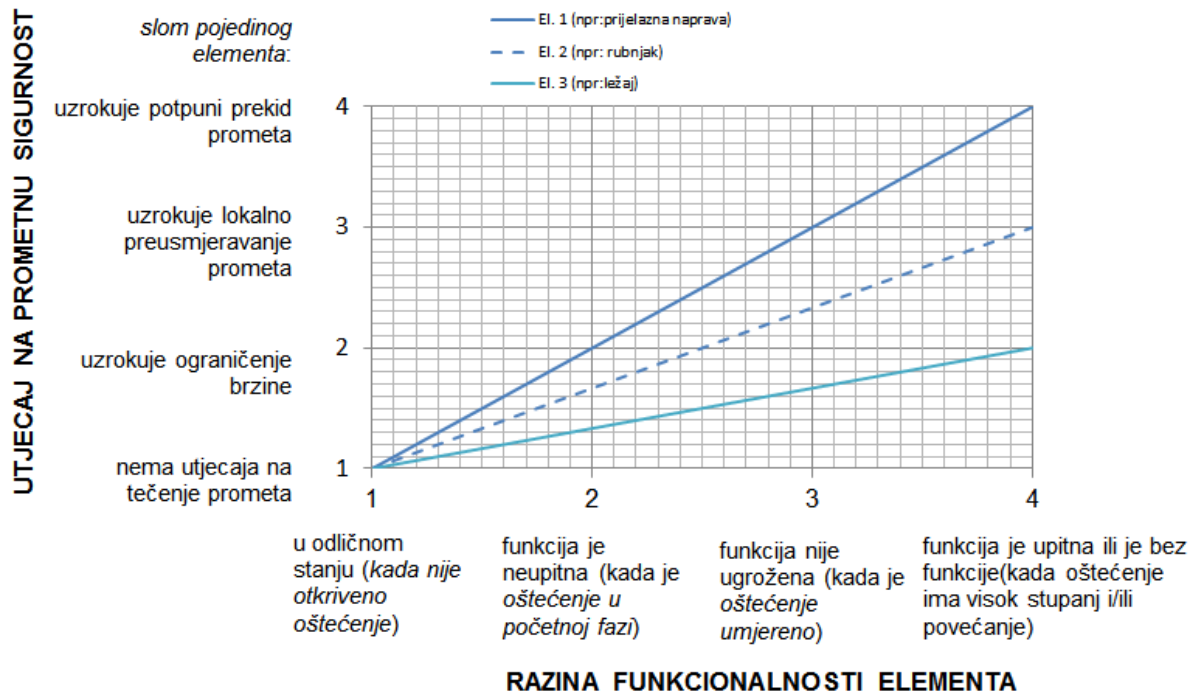
Tablica 3. Važnost sastavnih komponenti mosta za sigurnost konstrukcije $I_{SS,CO}$, prometnu sigurnost $I_{TS,CO}$ i trajnosne aspekte $I_{D,CO}$

GLAVNI POD SUSTAVI MOSTA	POJEDINAČNI DIJELOVI MOSTA	POJEDINAČNA KOMPONENTA/ELEMENT MOSTA	$I_{SS,CO}$	$I_{TS,CO}$	$I_{D,CO}$
PROMETNE POVRŠINE I OPREMA	HODNIK	PJEŠAČKA OGRADA	1	4	1
		ODBOJNA OGRADA	1	4	1
		ZAŠTITNA MREŽA	1	3	1

		BUROBRAN	1	3	1
		RASVJETA	1	3	1
		ZID ZAŠTITE OD BUKE	1	1	1
		HODNIK	2	3	2
		VIJENAC	2	1	2
	KOLNIK	KOLNIČKA KONSTRUKCIJA	1	4	2
		PRIJELAZNA NAPRAVA	1	4	2
		NADSLOJ	1	3	1
RASPONSKA KONSTRUKCIJA	GREDNA	PLOČA	3	4	1
		KONZOLA	2	4	1
		GLAVNI (UZDUŽNI) NOSAČI	3	1	1
		SEKUNDARNI (UZDUŽNI) NOSAČI	2	1	1
		POPREČNI NOSAČI	2	1	1
	LUČNA	LUK	3	1	1
		ČEONI ZID	2	4	1
		TJEMENI ZID	2	4	1
DONJI USTROJ	UPORNJAK	LEŽAJ	2	1	1
		LEŽAJNA KLUPICA	2	1	1
		NAGLAVNA GREDA	3	1	1
		STUP/ZID	3	1	1
		KRILO	2	4	1
		TEMELJ	3	1	1
		ČUNJ	1	3	2
	STUP	LEŽAJ	2	1	1
		LEŽAJNA KLUPICA	2	1	1
		NAGLAVNA GREDA	3	1	1
		STUP	3	1	1
		OBLOGA	2	1	2
		TEMELJ	3	1	1
		PREPREKA	1	1	2
ODVODNJA	ODVODNJA KOLNIKA	RUBNJAK	1	3	2
		SLIVNIK	1	3	2
		SABIRNA CIJEV	1	3	2
	KANALIZACIJA	GLAVNI KOLEKTOR	1	3	1
		ŠAHT	1	3	1

Slika dolje prikazuje odnos oštećenja odgovarajuće komponente (izraženog s važnosti pojedinog oštećenja $l_{b,co}$ za funkcioniranje pojedinog elementa u skladu s tablicom 2.) i

učinka komponente na prometnu sigurnost (izraženu preko važnost sastavnih dijelova komponenti mosta za prometnu sigurnost $I_{TS,CO}$ u skladu s tablicom 3.).



Slika 4. Primjer odnosa važnosti oštećenja odgovarajuće komponente i važnosti komponente za prometnu sigurnost, (os x oštećenje odgovarajuće komponente, os y prometna sigurnost)

3.3. Prijelaz s komponente na razinu sustava

Ocjena stanja mostova temelji se na četiri kriterija: sigurnost i uporabljivost konstrukcije, trajnost, prometna sigurnost i općenito stanje mosta [17]. Prije prijelaza na razinu sustava potrebno je uspostaviti pokazatelje općeg stanja mosta na razini svake komponente.

Na temelju praktičnog iskustva u upravljanju mostovima, težine četiriju kriterija koji ukazuju na opće stanje mosta, obuhvaćaju se kako slijedi: opća ocjena stanja 30%, sigurnost konstrukcije 30%, trajnost 10% i prometna sigurnost 30%.

Stoga je **pokazatelj općeg stanja mosta na razini svake komponente** prikazan sljedećom jednadžbom:

$$PI_{BCA,CO} = PI_{CA,CO} \times W_{CA,SY} + PI_{SS,CO} \times W_{SS,SY} + PI_{TS,CO} \times W_{TS,SY} + PI_{D,CO} \times W_{D,SY} \quad (6)$$

$$PI_{BCA,CO} = PI_{CA,CO} \times 0.3 + PI_{SS,CO} \times 0.3 + PI_{TS,CO} \times 0.3 + PI_{D,CO} \times 0.1 \quad (6 \text{ primjer})$$

3.4. Razina sustava

Nakon otkrivanja pokazatelja na razini svake komponente, ključni pokazatelji učinkovitosti cjelokupnog mosta kao sustava identificiraju se kao maksimalne vrijednosti među pojedinim pokazateljima komponenti.

Ključni pokazatelj sigurnost konstrukcije mosta određen je sa:

$$KPI_{SS,SY} = \max_{1 \leq CO \leq n} PI_{SS,CO} \quad (7),$$

ključni pokazatelj prometne sigurnosti mosta određen je sa:

$$KPI_{TS,SY} = \max_{1 \leq CO \leq n} PI_{TS,CO} \quad (8),$$

ključni pokazatelj trajnosnih svojstava mosta određen je sa:

$$KPI_{D,SY} = \max_{1 \leq CO \leq n} PI_{D,CO} \quad (9),$$

te ključni pokazatelj cjelokupne ocjene stanja mosta određen je sa:

$$KPI_{BCA,SY} = \max_{1 \leq CO \leq n} PI_{BCA,CO} \quad (10)$$

Dodatni ključni pokazatelj učinkovitosti otkriva dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ u slučaju mjera koje će biti potrebne s obzirom na ocjenjeno stanje mosta. Vrednovanje ključnog pokazatelja

dostupnosti $KPI_{AV,SY}$ prikazano je u tablici 4. ovisno o vrsti prometa i očekivanim prometnim ograničenjima [18].

Tablica 4. Ključni pokazatelji dostupnosti za cestovne i željezničke mostove tijekom radova

cestovni promet	ocjena
Tijek prometa na mostu teče glatko, bez potrebe za usporavanjem	1
Tijek prometa je usporen i zakrčen uslijed stanja na prometnoj površini (oštećenog asfalta itd.), oba su prometna traka u funkciji	2
Promet iz oba smjera je preusmjeren u jedan prometni trak; uz ograničenja brzine	3
Ograničenja prometa za teška vozila, kamione itd.	4
Most je zatvoren za promet	5
Željeznički promet (vlak, tramvaji) - ako nema tračnica na mostu faktor težine je 0	ocjena
Željeznički promet teče glatko	1
Promet se usporava zbog stanja tračnica	2
Promet teče samo na jednoj tračnoj pruzi - odvojeno za oba smjera	3
Ograničenje prometa za tramvaje / vlakove	4
Most je zatvoren na tračnicama (za željeznički promet)	5

Kada je među prethodnim KPI-ovima (jednadžbe 7,8,9,10) onaj koji se odnosi na prometnu sigurnost $KPI_{TS,SY}$ vodeći (najveća vrijednost), ocjena $KPI_{AV,SY}$ će biti povezana s mjerama koje se očekuju na prometnim površinama mosta (i ne može se odabrati s vrijednošću 1). Ako drugi KPI-ovi najviše utječu na mjere održavanja ili popravaka, $KPI_{AV,SY}$ treba odabrati promišljeno s obzirom na očekivana i potrebna ograničenja prometa.

U tom smislu, može biti korisna ocjena zasebnih maksimalnih pokazatelja po svakom pojedinom dijelu mosta. U tom slučaju upotrebljavaju se jednadžbe (7), (8), (9), (10), ali ne za kompletnu konstrukciju mosta nego za komponente koje sačinjavaju pojedine dijelove mostova, (eng. *Individual Parts IP*, $KPI_{SS,IP}$, $KPI_{TS,IP}$, $KPI_{D,IP}$, $KPI_{BCA,IP}$). Na primjer, za konstrukciju nosača (vidi tablicu 3.) razmotrit će se samo kolnička ploča, konzole, glavni uzdužni nosači, sekundarni uzdužni nosači te poprečni nosači.

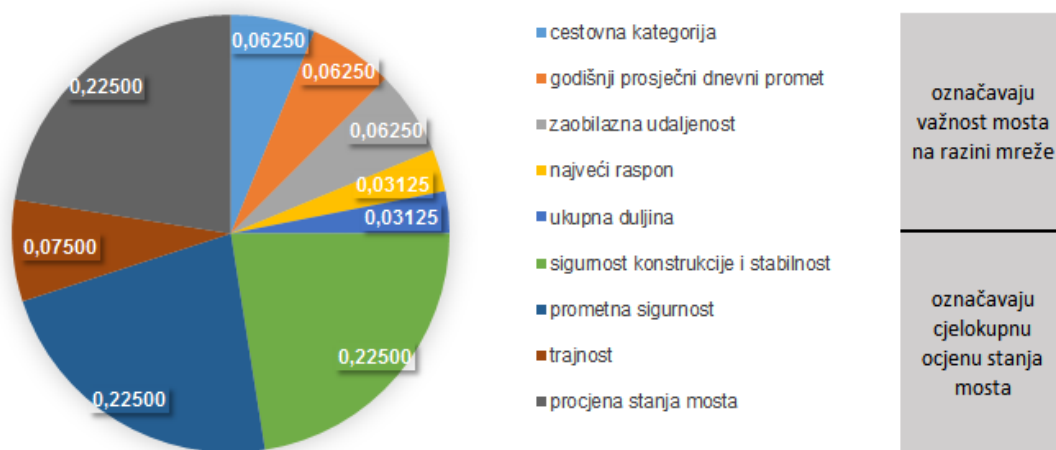
Pokazni primjerci mostova koji će se analizirati u ovome radu, obuhvaćaju cestovne mostove, ali u slučaju kombiniranog cestovnog i željezničkog prometa, težinu svakog KPI-a treba uzeti s pola težine, $W_{SY,road}=0.5$ i $W_{SY,rail}=0.5$:

$$KPI_{AV,SY} = KPI_{AV,SY,road} \times W_{SY,road} + KPI_{AV,SY,rail} \times W_{SY,rail} \quad (11)$$

Ako nema tračnica na mostu $W_{SY,road}=1$ i $W_{SY,rail}=0$; ako nije predviđen cestovni promet $W_{SY,road}=0$ i $W_{SY,rail}=1$.

3.5. Razina mreže

Važnost mostova na razini mreže ukazuje na vrijednost mostova i temelji se na pet kriterija: kategoriji ceste, godišnjem prosječnom dnevnom prometu, zaobilaznoj udaljenosti, najvećem rasponu mosta i ukupnoj duljini mosta [19]. Prva tri kriterija: cestovna kategorija, godišnji prosječni dnevni promet i zaobilazna udaljenost, međusobno su neovisni i jednako važni za odlučivanje o važnosti mosta. Kriterij najvećeg raspona i kriterij ukupne duljine obuhvaćaju zajednički zahtjevnost izgradnje i vrijednost investicije, te se stoga njihova ukupna važnost može smatrati jednakim ostalim kriterijima. Stoga, predložene su sljedeće težine pojedinih kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}); godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}); zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}); najveći raspon 12,5% (W_{LS}); ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), koje su naznačene na slici 5.



Slika 5. Primjer učešća (težina) pojedinih kriterija za rangiranje prioriteta [5], [20]

Stoga se **pokazatelj važnosti mosta na razini mreže** može prikazati sljedećom jednadžbom:

$$KPI_{BI,NET} = G_{RC} \times W_{RC} + G_{AADT} \times W_{AADT} + G_{DD} \times W_{DD} + G_{LS} \times W_{LS} + G_{TL} \times W_{TL} \quad (12)$$

gdje su G_{RC} , G_{AADT} , G_{DD} , G_{LS} , G_{TL} ocjene za kategoriju ceste, godišnji prosječni dnevni promet, zaobilaznu udaljenost, najveći raspon i ukupnu duljinu prema vrednovanju prikazanom u tablici 5. $KPI_{BI,NET}$ pokazatelj važnosti mosta na razini mreže je također naznačen na slici 6.

Tablica 5. Ocjene za procjenu važnosti mosta na razini mreže prema 5 kriterija:

KATEGORIJA CESTE ¹⁾	G_{RC}	GODIŠNJI PROSJEČNI DNEVNI PROMET ²⁾ (N vozila)	G_{AADT}	ZAOBILAZNA UDALJENOST ³⁾ (km)	G_{DD}	NAJVEĆI RASPON ⁴⁾ (m)	G_{LS}	UKUPNA DULJINA ⁵⁾ (m)	G_{TL}
Nepoznata cesta	1	< 500	1	Susjedna prometna traka	1	< 5	1	< 20	1
Lokalna cesta	2	500 - 15000	2	< 5 km	2	5 - 20	2	20 - 80	2
Međudržavna cesta	3	15000 - 50000	3	5 km - 20 km	3	20 - 50	3	80 - 200	3
Državna cesta	4	50000 - 500000	4	20 km - 60 km	4	50 - 100	4	200 - 500	4
Autocesta	5	> 500000	5	> 60 km	5	> 100	5	> 500	5

^{1,2,3)} Treba napomenuti da se kategorija ceste, godišnji prosječni dnevni promet i zaobilazna udaljenost trebaju prilagoditi veličini promatrane cestovne mreže.

²⁾ Na primjer, u Hrvatskoj bi se moglo očekivati više od 50 000 vozila samo na glavnom zaobilaznom putu. Gledajući ukupni Hrvatski prometni intenzitet 1 do 5 stupnjeva može se koristiti za AADT <500; 500-3000; 3000-10000; 10000-30000 i 30000-50000.

³⁾ Ocjenjivanje zaobilazne udaljenosti temelji se na (i) gubitku vremena uzrokovanom usporavanjem u susjednoj prometnoj traci, (ii) gubitku vremena do 10 minuta, (iii) do pola sata, (iv) do jednog sata i (v) više od jednog sata.

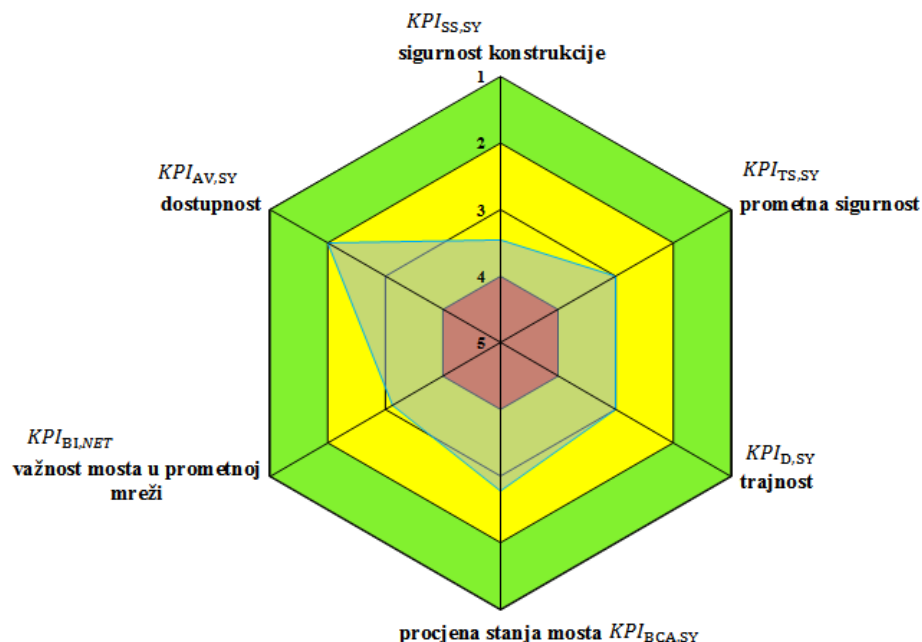
⁴⁾ Ocjenjivanje najvećeg raspona je povezano je sa nosivom konstrukcijom mosta, materijalom koji se koristi, složenosti gradnje [21, 22, 23]. Mostovi raspona do 5 m su obično mali prolazi od armiranog betona. Rasponi do 20 m obično se svladavaju jednostavnim armiranobetonskim nosačima ili pločama. Mostovi na rasponima od 20 do 50 m mogu se smatrati mostovima srednjih raspona koji se izvode od prednapetog betona ili kao spregnute konstrukcije, ali još uvijek se grade manje zahtjevnim metodama izvedbe. Za raspone iznad 50 m primjenjuju se složeniji konstrukcijski tipovi (npr. lučni most), složeniji poprečni presjeci (grede promjenjive visine, sandučasti poprečni presjeci) i zahtjevnije metode građenja (uzdužno potiskivanje, konzolna gradnja). Iznad raspona od 100 m opravdano je smatrati most vrlo važnom konstrukcijom.

⁵⁾ Ukupna duljina mosta utječe na troškove održavanja i upravljanja. Stoga se predlaže odgovarajuće ocjenjivanje u odnosu na veličinu raspona i najčešći raspored mosta u okvirima

te duljine. Prva skupina predstavlja male mostove s jednim ili dva raspona, dok će druga skupina pokriti nadvožnjake preko lokalne, državne ili autoceste. Nadalje, kontinuirani mostovi srednje veličine ulaze u treću skupinu. Četvrta skupina obuhvaća s jedne strane složenije konstrukcijske tipove glavnog raspona mosta s nekoliko prilaznih raspona ili s druge strane duge mostove s više sličnih raspona. Konačno, petoj skupini pripadaju mostovi s velikim glavnim rasponom i prilaznim rasponima ili iznimno dugi mostovi.

3.6. Ukupna procjena uspješnosti za rangiranje prioriteta popravka

Na temelju ocjene iz vizualnog pregleda i vrednovanja od razine komponente, preko razine sustava pa do razine mreže, preporučuje se skup od šest najvažnijih ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta: ključni pokazatelj sigurnosti konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), ključni pokazatelj prometne sigurnosti ($KPI_{TS,SY}$), ključni pokazatelj trajnosnih aspekata ($KPI_{D,SY}$), ključni pokazatelj općeg stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), ključni pokazatelj važnosti mosta u prometnoj mreži ($KPI_{BI,NET}$) i ključni pokazatelj dostupnosti mosta tijekom radova na mostu ($KPI_{AV,SY}$). Predlaže se prikaz rezultata ocjenjivanja u obliku obojenog radar tipa dijagrama (tzv pauka, vidi sliku 6.). Zelena područja predstavljaju najpovoljniju vrijednost ocjene, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 6. Primjer grafičkog prikaza šest najvažnijih KPI-ova mosta: ključni pokazatelj sigurnosti konstrukcije, ključni pokazatelj prometne sigurnosti, ključni pokazatelj trajnosnih aspekata, ključni pokazatelj općeg stanja mosta, ključni pokazatelj važnosti mosta u prometnoj mreži i ključni pokazatelj dostupnosti mosta tijekom radova na mostu

Dio sklopa	$KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije)	$KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost)	$KPI_{D,IP}$ (trajnost)	$KPI_{BCA,IP}$ (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,00	2,25	3,00	2,33
Kolnik	0,69	2,08	2,08	1,72
Gredna konstrukcija	3,00	3,00	1,50	2,78
Lučna konstrukcija	3,00	0,75	1,50	2,33
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	3,45	0,86	1,73	2,68
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,50
Sustav	$KPI_{SS,SY}$	$KPI_{TS,SY}$	$KPI_{D,SY}$	$KPI_{BCA,SY}$
Most	3,45	3,00	3,00	2,78

Slika 7. Tablični prikaz najvećeg utjecaja pojedinačnih dijelova na ukupne KPI-ove mosta

Procjena učinkovitosti primjera mosta pokazuje da je najlošiji pokazatelj sigurnost konstrukcije (najveća vrijednost $KPI_{SS,SY}=3,45$) čiji je izvor oštećenost stupova. Ovaj bi dio mosta zahtijevaju najranije poduzimanje odgovarajućih mjera. Umjeren do teški poremećaj trajnosti ($KPI_{D,SY}=3,0$) proizlazi iz stanja hodnika, što, uz oštećenja gredne konstrukcije, također prilično utječe i na prometnu sigurnost ($KPI_{TS,SY}=3,0$). Ocjena ukupnog stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}=2,78$) je dobra, što ukazuje na umjeren poremećaj učinkovitosti mosta.

Pokazatelj dostupnosti mosta $KPI_{AV,SY}$ treba biti promišljeno odabran s obzirom na potrebne i očekivane mjere popravka. U ovome se slučaju mogu predvidjeti samo mala ograničenja prometa tijekom popravljavanja hodnika i stupova (usporen tok prometa, ali još uvijek s prometom u oba smjera, $KPI_{AV,SY}=2,00$) pa odgovarajuća dostupnost mosta ukazuje na vrlo dobru učinkovitost mosta tijekom predviđenih radova održavanja.

Konačno, važnost mosta na razini mreže (za ovaj primjer $KPI_{BI,NET}$ s vrijednosti manjoj od 3) naznačit će prioritete mjere koje treba poduzeti na tom mostu. Ali pravilna i optimalna odluka može se donijeti tek onda kada se ovaj most uspoređi s drugim mostovima u mreži. Ovakve se odluke donose u sklopu cjelokupnih sredstava raspoloživih do sljedećeg pregleda odnosno ocjenjivanja mosta.

4. EKSPERIMENTALNA (TERENSKA) ISPITIVANJA

4.1. Uvod u održavanje i preglede konstrukcija

Nakon izvedbe svake konstrukcije slijedi održavanje i praćenje kako bi se osigurala njena funkcionalnost i sigurnost tijekom predviđenog životnog vijeka. Prema tehničkim propisima održavanje konstrukcije podrazumijeva:

- redovite preglede konstrukcije
- izvanredne preglede konstrukcije
- izvođenje radova za zadržavanje ili povrat konstrukcije u stanje određeno projektom i u skladu s tehničkim propisom odnosno za postojeće građevine u skladu s propisom prema kojem je konstrukcija izvedena. Svaki od propisa ima i zahtjev dokumentiranja ispunjavanja propisanih uvjeta održavanja konstrukcije.

Redoviti se pregledi konstrukcija, prema odredbama tehničkih propisa, provode u razmacima i na način koji je određen projektom građevine. Tehnički propis pri tome propisuje najmanju učestalost s obzirom na razmak redovitih pregleda i sadržaja pregleda.

Izvanredni se pregledi konstrukcije prema tehničkim propisima provode nakon nekog izvanrednog događaja ili nakon inspekcijuskoga nadzora.

U načelu propisuju se sljedeći najveći razmaci pregleda [8]:

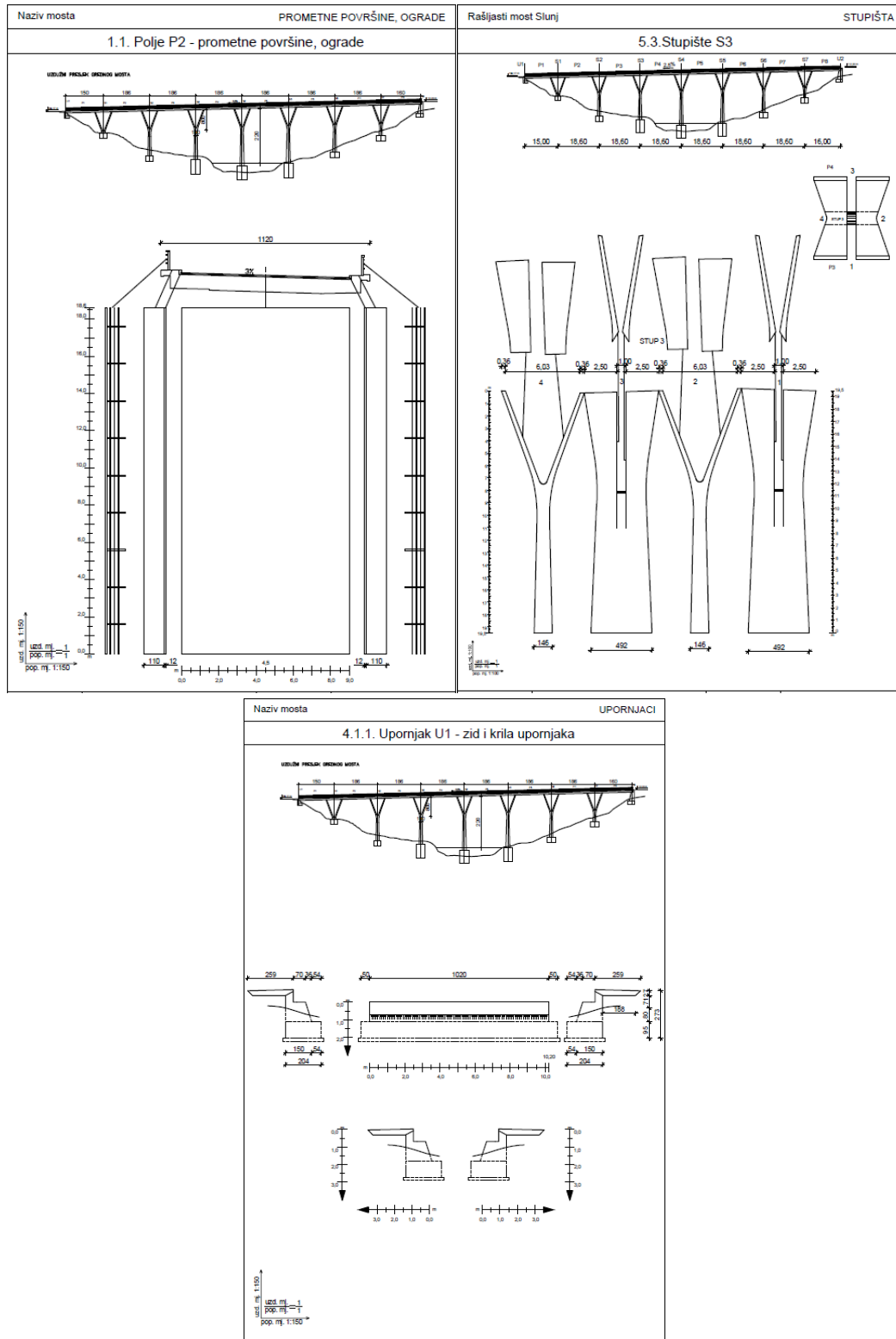
- a) 10 godina za zgrade javne i stambene namjene
- b) 2 godine za mostove
- c) 5 godina za industrijske, prometne, infrastrukturne i druge građevine koje nisu navedene pod a) i b)

4.2. Terenska ispitivanja konstrukcija

Terenska ispitivanja konstrukcija, odnosno pregledi mogu se vršiti na velik broj načina, ovisno o potrebi, opremi i adekvatnosti vršitelja. Često upravo neredoviti pregledi i neodgovarajuće održavanje rezultiraju nedovoljnom trajnošću mostova i samim time otežanim gospodarenjem.

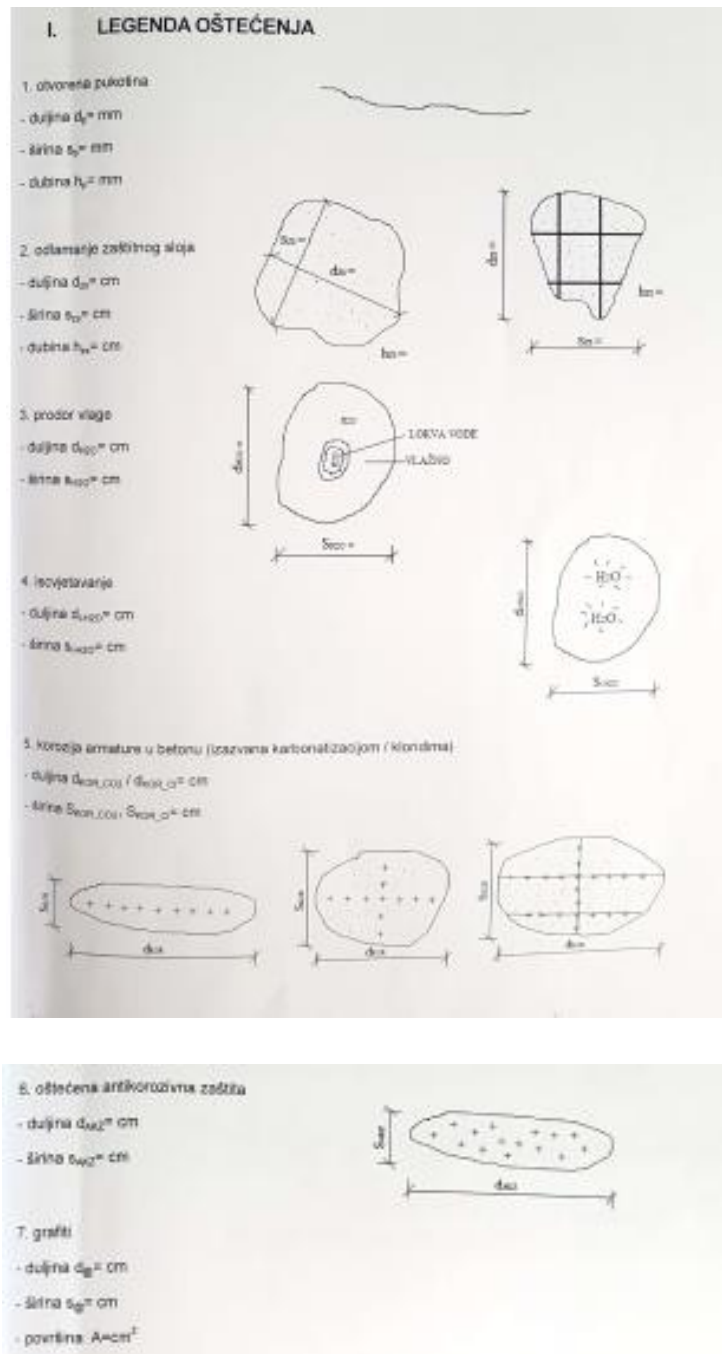
Tijekom prve godine diplomskog studija u sklopu kolegija Trajnost konstrukcije 1, svaki do pet priloženih mostova prošao je veći broj ciljanih vizualnih pregleda i nerazornih ispitivanja kako bi se detaljno odredila oštećenja i stanje svakog od njih. Terenskim ispitivanjima prethodilo je detaljno crtanje cjelokupne dispozicije mostova, te razvijanje podloga za ucrtavanje oštećenja

pri pregledima (Slika 5.). Podloge su obuhvaćale razvijene plohe apsolutno svih površina mosta, uključujući prometne površine, rasponsku konstrukciju, stupove i upornjake. Bilo je potrebno odgovarajuće uskladiti mjerila podloga u poprečnom i uzdužnom smjeru kako bi bilježenje oštećenja bilo što jednostavnije i efikasnije.



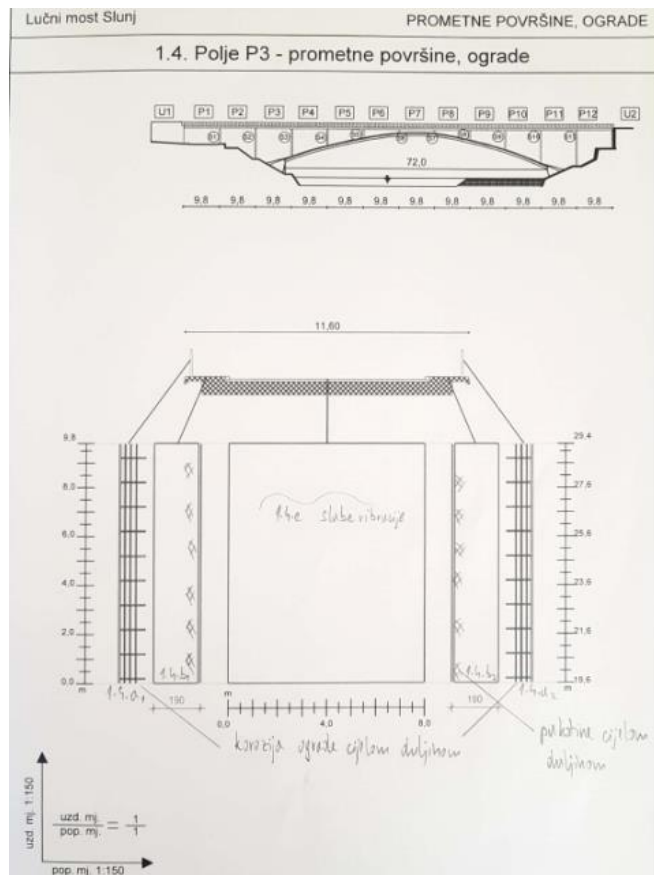
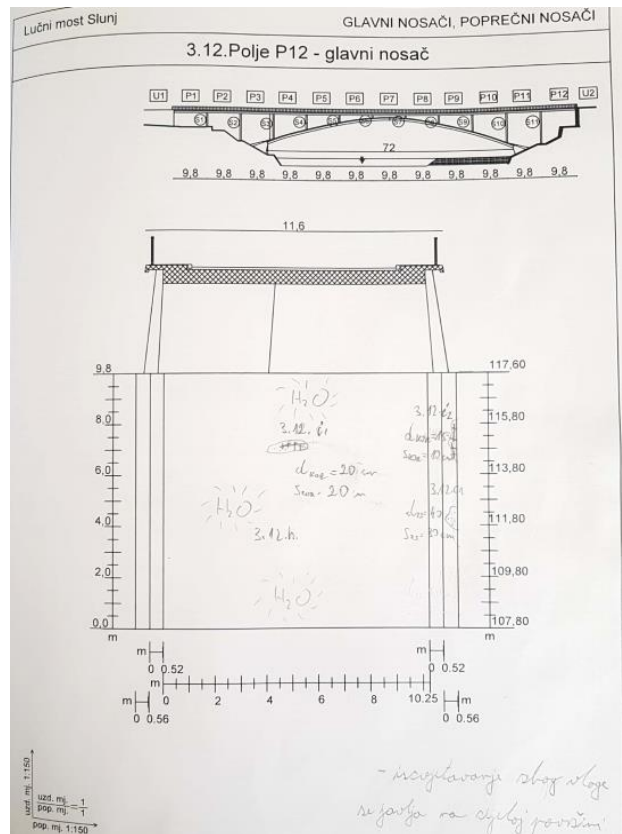
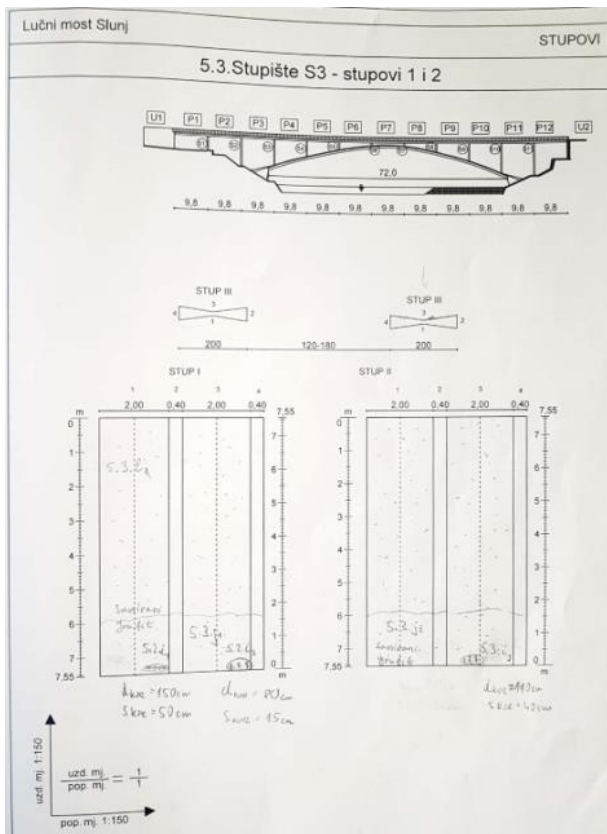
Slika 8. Primjeri razvijenih ploha mosta: gornje plohe, stup, upornjak

Također, razvijena je legenda oštećenja (slika 9.) u kojoj su bili sadržani simboli i oznake za pojedino oštećenje ili nedostatak na površini mosta.



Slika 9. Legenda oštećenja

Prilikom odlaska na teren i vizualnog pregleda, korištena je oprema u vidu fotoaparata, čekića za ispitivanje šupljina, te građevinskog metra kako bi se omogućio što detaljniji opis oštećenja. Tako je svako i najmanje oštećenje ili nedostatak zabilježen te rukom ucrtan na odgovarajuća mjesta u podlogama za preglede. Prema površini koju zauzimaju prilagođeni su mjerilima, označeni prema legendi te potkrepljeni fotografijama i kratkim opisima, kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Primjeri podloga sa ucrtanim oštećenjima za lučni most u Slunju

Na svakom mostu, ispitivanja su provedena u dva navrata kako bi se uskladili nacrti i ucrtano sa stvarnim stanjem konstrukcija, budući da su upravo rezultati tog terenskog istraživanja podloga za daljnji rad, utvrđivanje pokazatelja učinkovitosti i procjenu stanja mostova prema opisanom postupku.

5. POKAZNI PRIMJERCIMOSTOVA SA REZULTATIMA

Primjer rangiranja prioriteta popravaka temeljen na ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta predstaviti će se u sljedećim poglavljima. Uzorak od pet stvarnih mostova i rezultati njihove vizualne inspekcije koristit će se za pronalaženje veze između procjene stanja i ključnih pokazatelja učinkovitosti.

Mostovi su: lučni mostovi preko Slunjičice i Korane – primjeri dvaju armiranobetonskih lučnih mostova, jedan s punim i drugi sa šupljim poprečnim presjecima; zatim armiranobetonski most u Bjelovaru – tip okvira sa stupovima u obliku slova V; predgotovljeni gredni nadvožnjak Gradna; te gredni most u Slunju (Rastoke) s kontinuiranom pločom punog poprečnog presjeka i stupovima oblikovanim u slovo Y.

Mostovi su izgrađeni između 1958. i 2001. godine i dio su lokalnih ili državnih cesta u Hrvatskoj. Rasponi se kreću od 9,5 m do 72 m, a ukupne duljine od 22 do 120 m.

Pregledi mostova provedeni su unutar praktičnog dijela kolegija Trajnost konstrukcija koji se održava na diplomskom studiju Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U ovaj projekt bilo je uključeno deset studenata pod vodstvom profesorice i asistentice – poslijedoktorandice. Vizualni pregledi obavljeni su na temelju smjernica prezentiranih u sklopu kolegija.

Tablica 6. Osnovni podatci za studiju slučaja mostova:

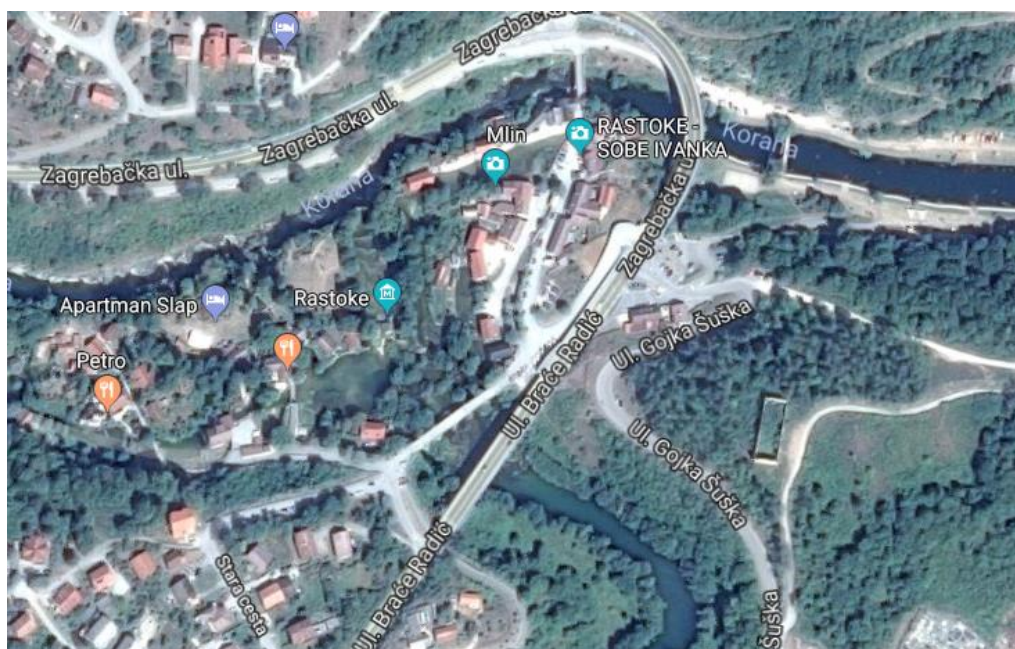
	Vrsta mosta	Najveći raspon (m)	Ukupna duljina (m)	Kategorija ceste	Zaobilazna udaljenost
Slunjičica	Dvojni AB luk punog presjeka i AB kolnička ploča	72	118,6	Državna cesta	5 - 20 km
Korana	Dvojni AB luk šupljeg presjeka i AB šuplja kolnička ploča	55	167,5	Lokalna cesta	5 - 20 km
Bjelovar	AB kolnička ploča oslonjena na razupore	9,5	22,2	Državna cesta	5 - 20 km
Gradna	Nadvožnjak od AB tipskih montažnih elemenata	21	80,6	Međudržavna cesta	5 - 20 km
Rastoke	Gredni sustav s AB kolničkom pločom	18,6	142,6	Državna cesta	5 - 20 km

Na temelju rezultata vizualnih pregleda nadalje se provodio postupak ocjenjivanja učinkovitosti svakog pojedinog mosta, opisan u prethodnom poglavlju kroz proračun ključnih pokazatelja mosta. Korišten je programski paket Excel u kojem je razvijeno pregledno sučelje kroz nekoliko međusobno povezanih listova (sheetova). U ovome se radu, zbog nedostatka prostora i i zbog preglednosti, prikazuju samo važni dijelovi pojedinih proračuna.

5.1. Lučni most preko Slunjčice

5.1.1. Opis mosta

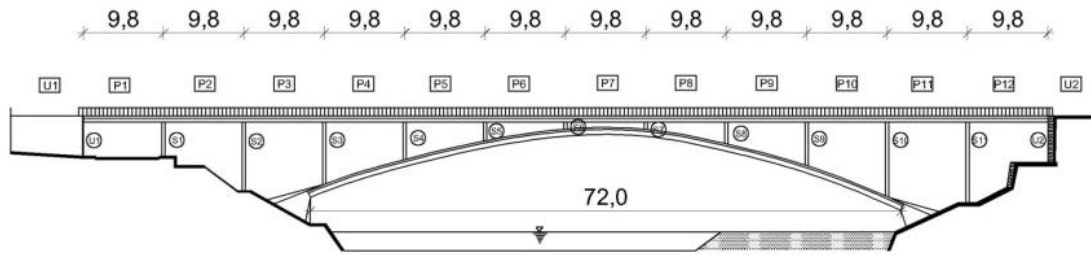
Most se nalazi na državnoj cesti D1 koja se pruža u smjeru sjever-jug od graničnog prijelaza Macelj, preko Zagreba pa sve do Splita. Most preko Slunjčice je cestovni most koji spada u skupinu lučnih mostova, sa svodom otvora 72 metra, te nad njim lakom pločastom konstrukcijom kolnika postavljenom na niz vertikalnih stupova. Spljoštenost luka je 1:7,3 odnosno visina strelice iznosi 9,91 m.



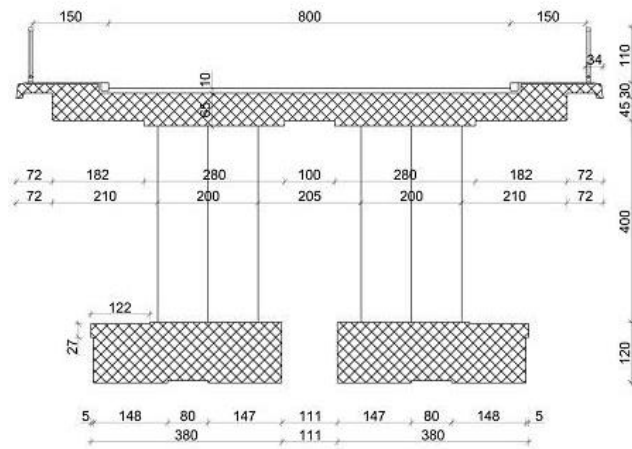
Slika 11. Prikaz lokacije mosta preko Slunjčice

Lučni nosač je bez zglobova s pojačanim presjekom pri petama. Glavni nosač sastoji se od dva svoda blizanca, kojima debljina raste od tjemena prema petama. Most je širok 11 m, s kolnikom širokim 8 m i hodnicima po 1,5m širine.

Konstrukcija kolnika sastoji se od jedinstvene armirano-betonske ploče, konstantnog poprečnog presjeka. Ploča kolnika leži na vertikalnim stupovima, različitih visina, koji su postavljeni na razmake od 9,8 m. Svaka vertikala sadrži po dva stupca široka 200 cm a debela 12 do 40 cm, s oblikom poprečnog presjeka kao „lastin rep“.



Slika 12. Uzdugi presjek mosta preko Slunjiće



Slika 13. Poprečni presjek mosta preko Slunjiće

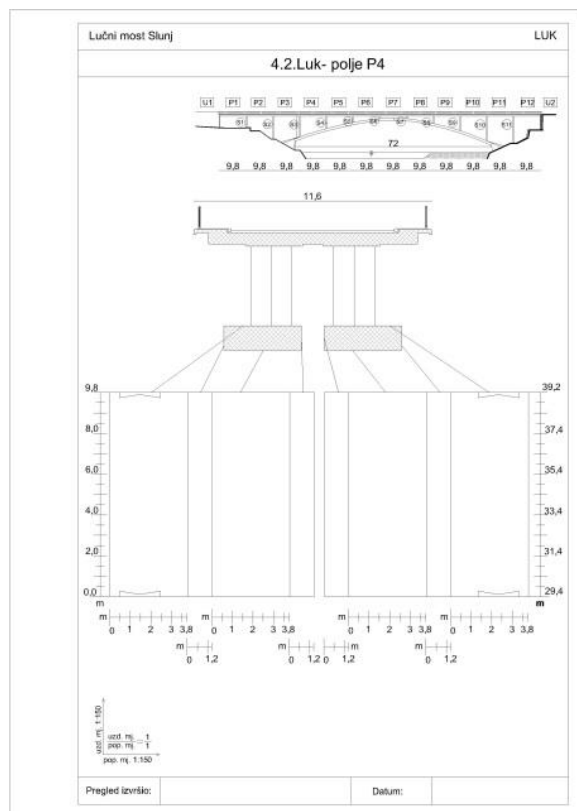
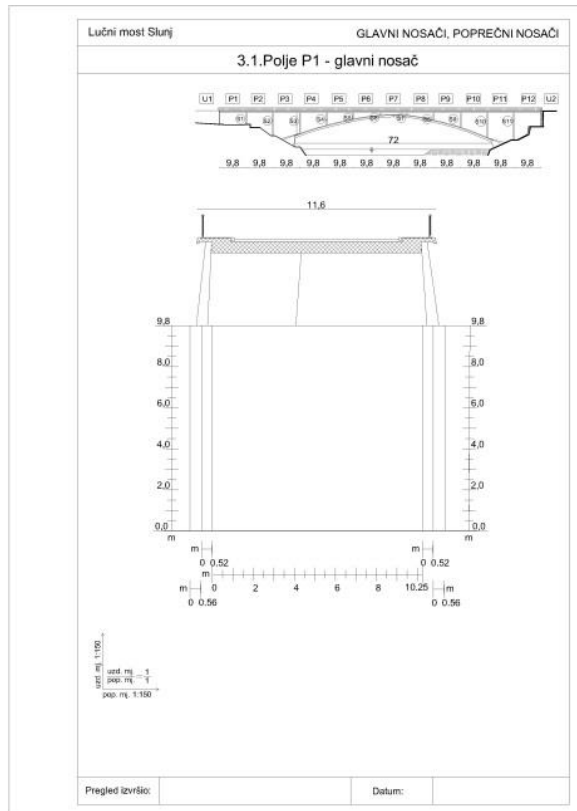
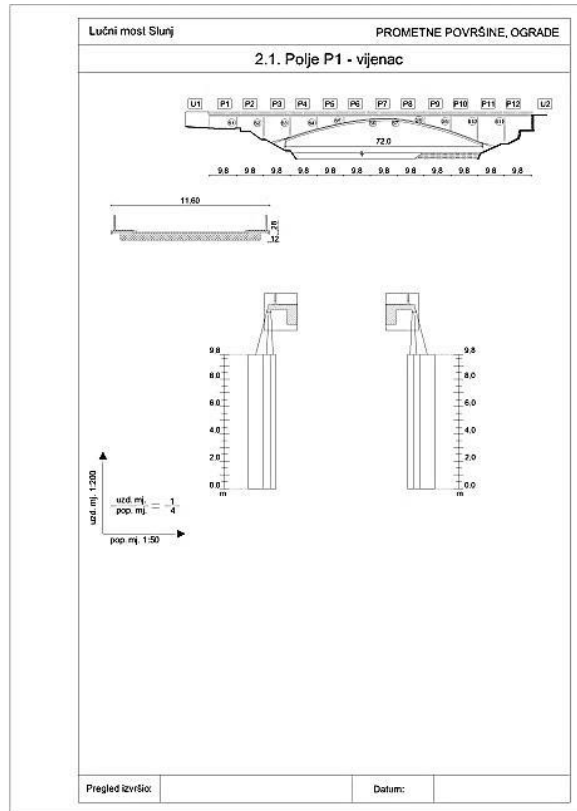
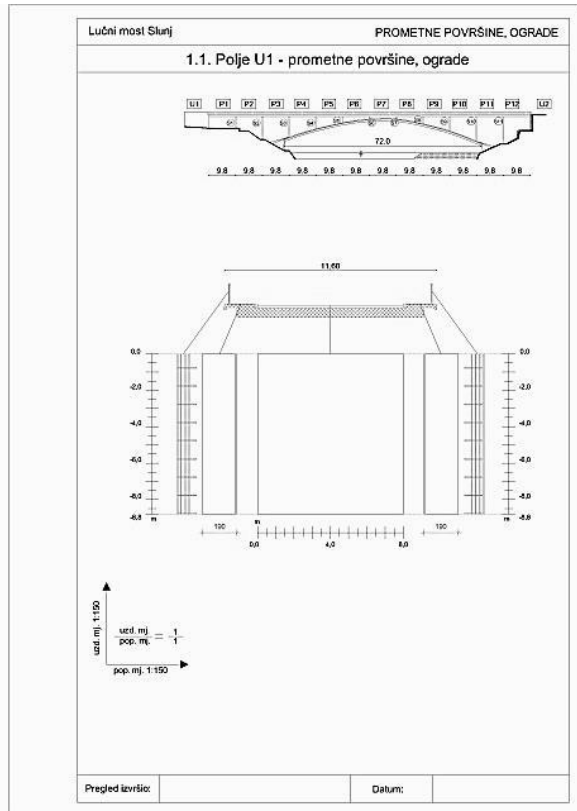
5.1.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja

Tijekom prve godine diplomskog studija u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija, sedmeročlani tim studenata odradio je prvi posjet mostu preko Slunjčice. Svrha prvog pregleda mosta je bila uvid u izgled mosta sa ciljem crtanja cjelokupne dispozicije mosta i razvijanja podloga za ucertavanje oštećenja pri pregledima. Podloge su obuhvaćale razvijene plohe apsolutno svih površina mosta, a kod ovog mosta uključivale su prometne površine i opremu, vijenac, rasponsku konstrukciju, upornjake, stupove, luk, pete luka.

Prilikom drugog pregleda mosta tim je odradio detaljan vizualni pregled i nerazorna ispitivanja, te su koristili opremu: fotoaparat, čekić za ispitivanje šupljina, te građevinski metar kako bi se omogućio uvid u pojedine dimenzije oštećenja.

U podloge za preglede koje su studenti – inspektori imali sa sobom, prema legendi oštećenja su rukom direktno ucertavali svako oštećenje koje su uočili, na odgovarajuće mjesto na podlozi. Prema površini koju zauzima svako oštećenje prilagođeno je mjerilu, označeno prema legendi te potkrijepljeno fotografijom i kratkim opisom.

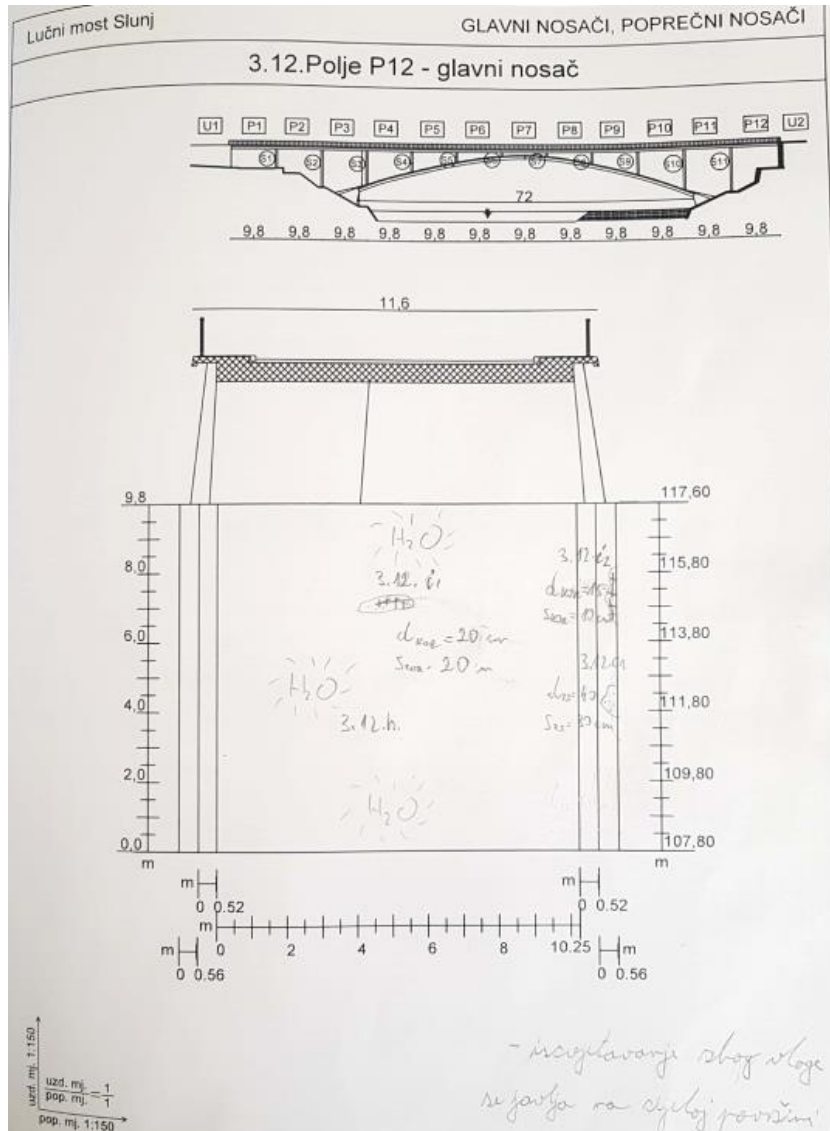
U sklopu ovoga istraživanja analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice ovoga rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.



Slika 14. Primjeri podloga (prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, luk)

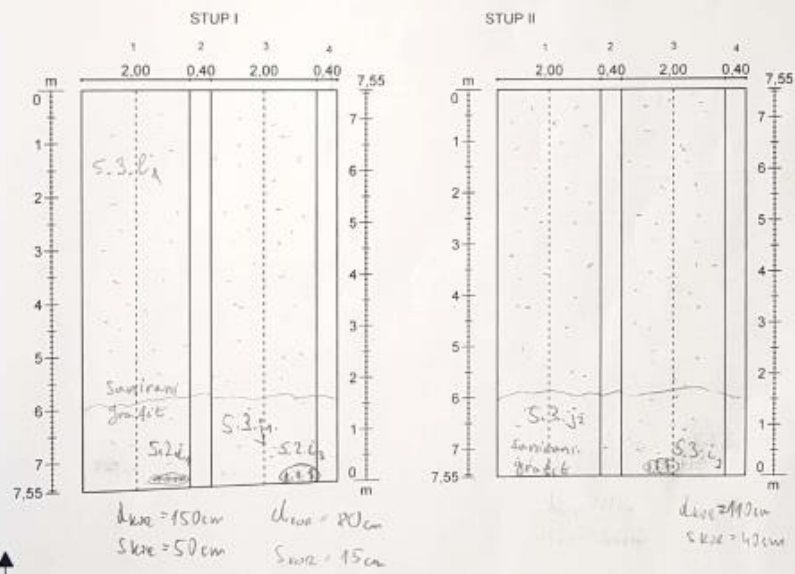
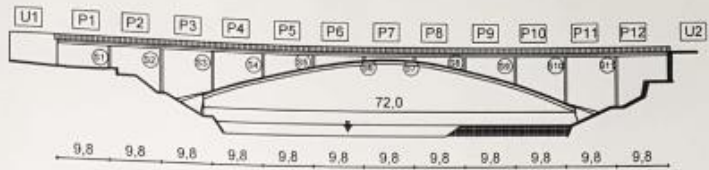
5.1.3. Uočena oštećenja

Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.



Slika 15. Iscvjetavanje ploče

5.3. Stupište S3 - stupovi 1 i 2

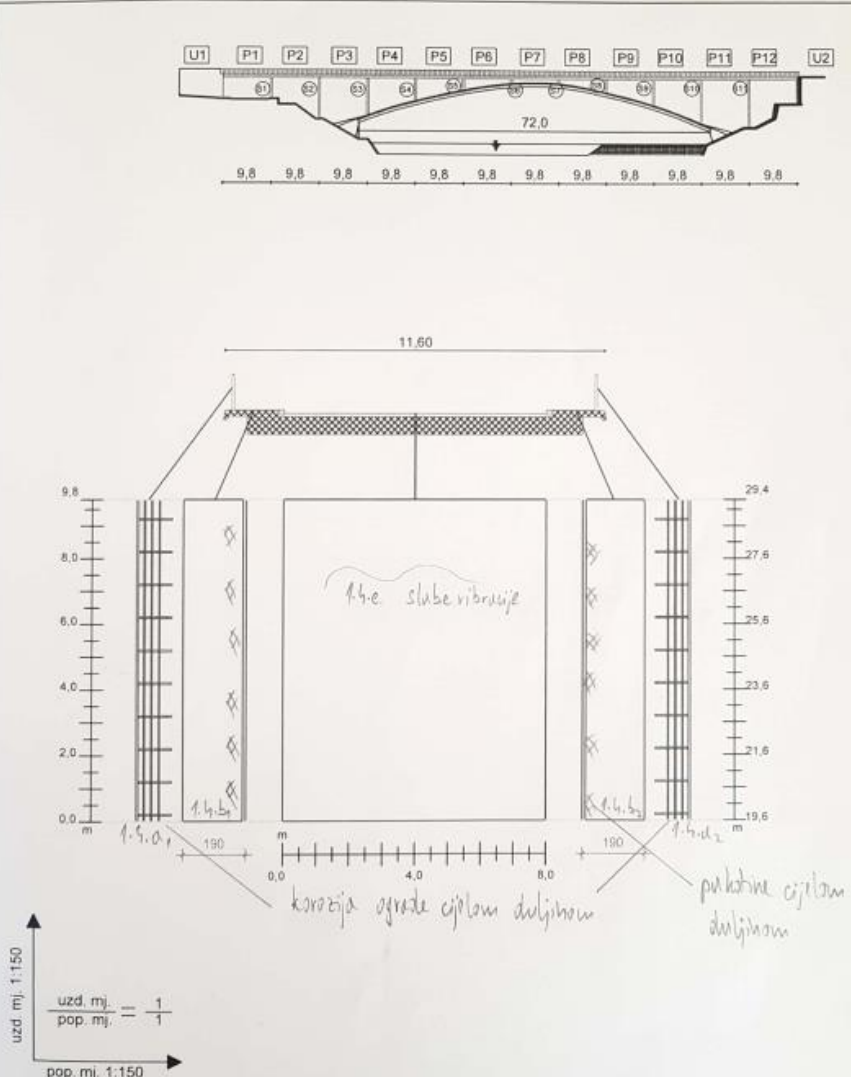


$\frac{\text{uzd. mj. } 1:150}{\text{pop. mj. } 1:150} = \frac{1}{1}$
 uzd. mj. 1:150
 pop. mj. 1:150



Slika 16. Korozija i odlamanje zaštitnog sloja betona na stupu

1.4. Polje P3 - prometne površine, ograde



Slika 17. Mrežaste pukotine na pješačkom hodniku

5.1.4. Pokazatelji učinkovitosti

Kod lučnog mosta preko Slunjičice primijećena su znatna oštećenja na prometnim površinama, rasponskoj konstrukciji i donjem ustroju. Za prometne površine i rasponsku konstrukciju treba naglasiti mrežaste pukotine na pješačkom hodniku (slika 17.), začepljenost slivnika, odlamanje rubnjaka, kolotražanje i pukotine u asfaltu na kolničkoj konstrukciji, vibracije te iscvjetavanje (slika 15.), odlamanje zaštitnog sloja i koroziju armaturnih šipki kod ploče. Javljaju se oštećenja kod stupova i luka, a to su iscvjetavanje i odlamanje zaštitnog sloja na luku, te grafiti, korozija armaturnih šipki i odlamanje zaštitnog sloja kod stupova (slika 16).

Svakom oštećenju dodijeljena je ocjena koja ulazi u daljnju analizu, donesena od strane ispitivača na osnovi vizualnog pregleda i nerazornih metoda. Važnost $G_{VI,i}$ se dodjeljuje oštećenju za svako polje i /ili oslonac u kojem se to oštećenje pojavljuje. Značenje pojedine ocjene prikazano je u tablici 2.

Pokazatelj ocjene oštećenja $PI_{DA,CO,av}$ na razini svake komponente određen je prema izrazu 1a. Tako je primjerice za odlamanje zaštitnog sloja betona na pregledanim lokacijama mosta (broj stupova $n=11$), te zbroj ocjena oštećenja na svakom stupu $\sum G_{VI,i}=38$, dobivena vrijednost:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{38}{11} = 3,45$$

Zatim su bitne ocjene temeljene na sljedećim pokazateljima: procjena stanja elementa $PI_{CA,CO}$, sigurnost konstrukcije $PI_{SS,CO}$, prometna sigurnost $PI_{TS,CO}$ i trajnost $PI_{D,CO}$ [16]. Na temelju smjernica je unesena kvalitativna vrijednost za svako oštećenje koja nam pokazuje kako otkazivanje pojedinog elementa utječe na svaki kriterij. Ta vrijednost je vidljiva u tablici 1. za procjenu stanja elementa, a u tablici 3. za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i trajnost. Ona predstavlja važnost pojedinog oštećenja $l_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa. Omjer maksimalne važnosti svih oštećenja $l_{D,CO,max}$ i važnosti pojedinog oštećenja predstavlja težinu oštećenja $W_{D,CO}$. Za navedene kriterije koristimo izraze 2, 3, 4 i 5, koji za navedeni primjer odlamanja zaštitnog sloja betona poprimaju sljedeće vrijednosti:

$$PI_{CA,CO} = 3,45 \times 4/4 = 3,45$$

$$PI_{SS,CO} = 3,45 \times 3/3 = 3,45$$

$$PI_{TS,CO} = 3,45 \times 1/4 = 0,86$$

$$PI_{D,CO} = 3,45 \times 1/2 = 1,73$$

Svaki taj kriterij ima zaseban udio utjecaja na ukupnu procjenu stanja mosta, te se srednja ocjena dobivena na osnovi vizualnih pregleda množi sa tim udjelom i dobiva se konačan utjecaj pojedinih pokazatelja. Procjena stanja mosta $PI_{BCA,CO}$ dobivena je na osnovu zbroja konačnih utjecaja pokazatelja: procjene stanja elementa 30% ($W_{CA,SY}$), sigurnosti konstrukcije 30% ($W_{SS,SY}$), prometne sigurnosti 30% ($W_{TS,SY}$) i trajnosti 10% ($W_{D,SY}$) prema izrazu 6.

$$PI_{BCA,CO} = 3,45 \times 0,3 + 3,45 \times 0,3 + 0,86 \times 0,3 + 1,73 \times 0,1 = 2,68$$

Važnost mosta na razini mreže dobivena je prema 5 kriterija: kategoriji ceste G_{RC} , godišnjem prosječnom dnevnom prometu G_{AADT} , zaobilaznoj udaljenosti G_{DD} , najvećem rasponu G_{LS} , ukupnoj duljini G_{TL} [19]. Svaki od tih 5 kriterija za točno određenu situaciju ima već unaprijed određenu ocjenu vidljivu u tablici 5. (uz napomenu 2).

Lučni most se nalazi na državnoj cesti D1, te kriterij kategorija ceste nosi ocjenu 4. Godišnji prosječni dnevni promet na toj dionici ceste je u rasponu od 500 do 15000 vozila, što rezultira ocjenom 2. Slijedi zaobilazna udaljenost unutar raspona 5 – 20 km, ovisna o cestovnoj mreži, s ocjenom 3. Kriteriji najveći raspon i ukupna duljina izravno su vezani uz dispoziciju mosta, te prema svojim iznosima (raspon luka od 72 m i duljina od 117,6 m) poprimaju ocjene 4 i 3.

Pokazatelj važnosti mosta na razini mreže $KPI_{BI,NET}$ se uzima prema težini kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}), godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}), zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}), najveći raspon 12,5% (W_{LS}) i ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), prema izrazu 12.

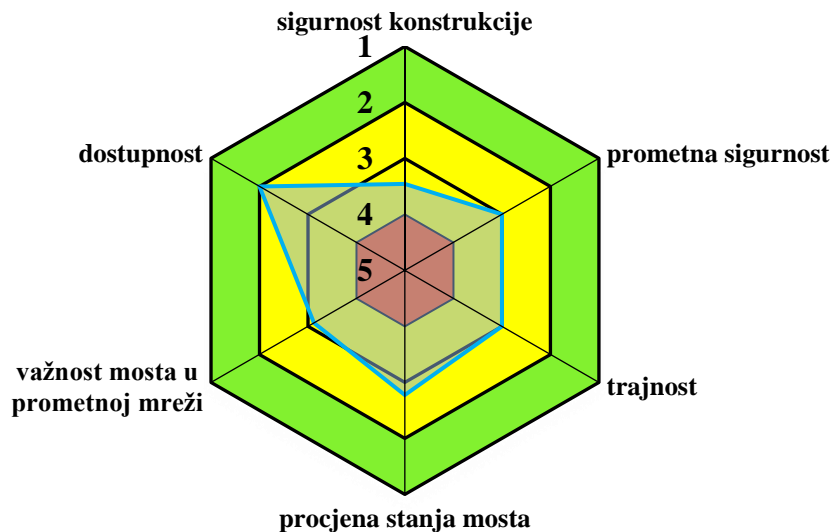
$$KPI_{BI,NET} = 4 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 4 \times 0,125 + 3 \times 0,125 = 3,13$$

Dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ ovisi o vrsti prometa koja se odvija na mostu i mogućoj propusnosti prometa. Most preko Slunjčice je cestovni most kod kojeg su obje linije u funkciji ali je promet usporen zbog oštećenja, te je na osnovu tog odabrana ocjena iz tablice 4. Pošto se radi samo o cestovnom prometu, ta ocjena $KPI_{AV,SY,road}$ se uzima sa 100% težinom $W_{SY,road}$ za dostupnost mosta, te je prema izrazu 11 dobiveno:

$$KPI_{AV,SY} = 2 \times 1 = 2$$

Kao konačan rezultat analize lučnog mosta preko Slunjčice dobijemo grafički prikaz u obliku obojenog pauka (slika 18.), koji uzima u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz komponentu, sustav i razinu mreže, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna

intervencija. Na formiranje prikaza utječe 6 pokazatelja učinkovitosti: sigurnost konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), prometna sigurnost ($KPI_{TS,SY}$), trajnost ($KPI_{D,SY}$), procjena stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), važnost mosta na razini mreže ($KPI_{BI,NET}$) i dostupnost ($KPI_{AV,SY}$). Zelena područja „pauka“ predstavljaju najpovoljniju vrijednost, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 18. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Slunjičice

U tablici 7. prikazane su maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa, za 4 komponente plošnog dijagrama. Te komponente su: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji. Kod sigurnosti konstrukcije istaknuti su stupovi kod kojih korozija i odlamanje zaštitnog sloja uzrokuju smanjenje nosivosti konstrukcije. Za prometnu sigurnost i procjenu stanja mosta naglašena je gredna konstrukcija zbog velikog iscvjetavanja na nosivoj ploči. Oštećenja na kolniku u obliku mrežastih pukotina narušavaju trajnost konstrukcije. Uz pomoć ove tablice dobivamo jasan uvid u trenutno stanje naše konstrukcije.

Tablica 7. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most preko Slunjiće:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{ID,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,00	2,25	3,00	2,33
Kolnik	0,69	2,08	2,08	1,72
Gredna konstr.	3,00	3,00	1,50	2,78
Lučna konstr.	3,00	0,75	1,50	2,33
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	3,45	0,86	1,73	2,68
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,50
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{ID,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,45	3,00	3,00	2,78

Dodatno iz slike 18. vidi se da pokazatelj dostupnosti mosta treba biti promišljeno odabran s obzirom na očekivano i takav da se predvide samo neznatna ograničenja u prometu tijekom popravljivanja pločnika i stupova. Važnost mosta u prometnoj mreži naznačuje prioritetne mjere koje treba poduzeti na tom mostu, od kojih je prva popravak zaštitnog sloja betona na stupovima, odnosno zamjena armaturnih šipki. Tijekom spomenutih popravaka, tijekom prometa preko mosta odvijao bi se nesmetano zbog mogućnosti smještaja mehanizacije i radova u području samo donjeg ustroja mosta, što ne bi utjecalo na ocjenu dostupnosti mosta.

5.2. Gredni most Slunj

5.2.1. Opis mosta

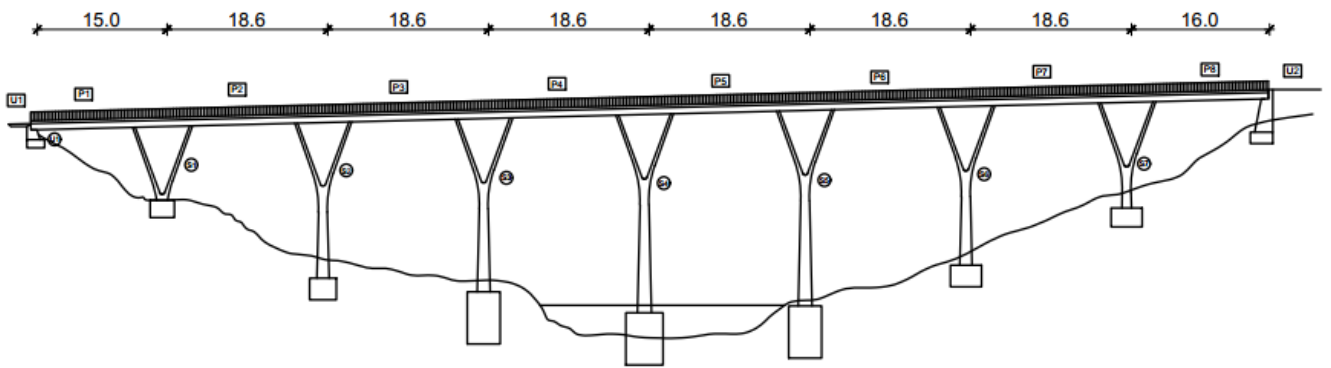
Most se nalazi na samom ulazu u Rastoke. Namijenjen je cestovnom prometu i nalazi se na magistralnoj cesti koja spaja sjever i jug Hrvatske. Most je izgrađen 1955. godine. Tijekom Domovinskog rata most je bio razoren i promet po njemu je bio onemogućen, a nakon završetka rata je obnovljen. Most je projektirao nekadašnji profesor Građevinskog fakulteta, dr. Kruno Tonković.



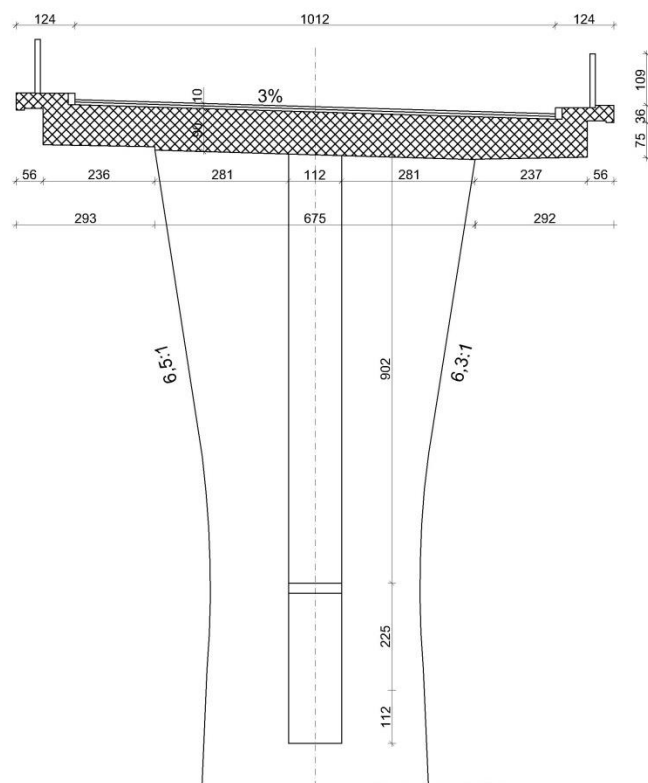
Slika 19. Prikaz lokacije mosta Rastoke

Most se nalazi u horizontalnoj krivini radijusa 71 m. Nosivi sustav mosta čini puna ploča, konstantne visine duž mosta koja iznosi 80 cm. Most je širok 10,5 m, a kolnik 9,0 m. Most se sastoji od osam otvora od kojih najmanji iznosi 15 m, a najveći 18,6 m. Zbog konfiguracije terena bilo je dovoljno izgraditi niske masivne upornjake s paralelnim krilima koja se nastavljaju u potporne zidove pristupne ceste.

Posebna pozornost pri projektiranju dana je stupovima. Budući se most nalazi u zavoju stupovi su vidljivi pod različitim kutevima, te ih je bilo potrebno projektirati tako da oblik bude jednakovrijedan s bilo kojeg stajališta. Stupovi sadrže, u svom gornjem dijelu, prostorne rašlje sastavljene od četiri kraka.



Slika 20. Uzdužni presjek mosta Rastoke



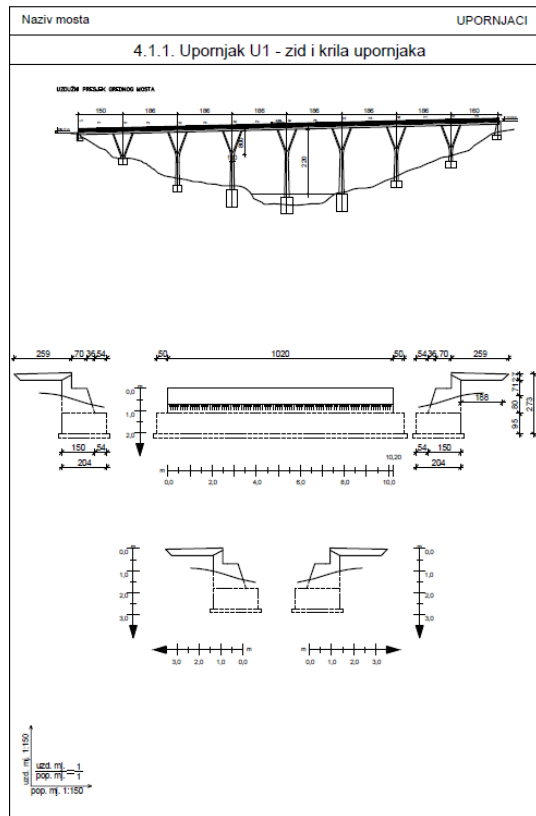
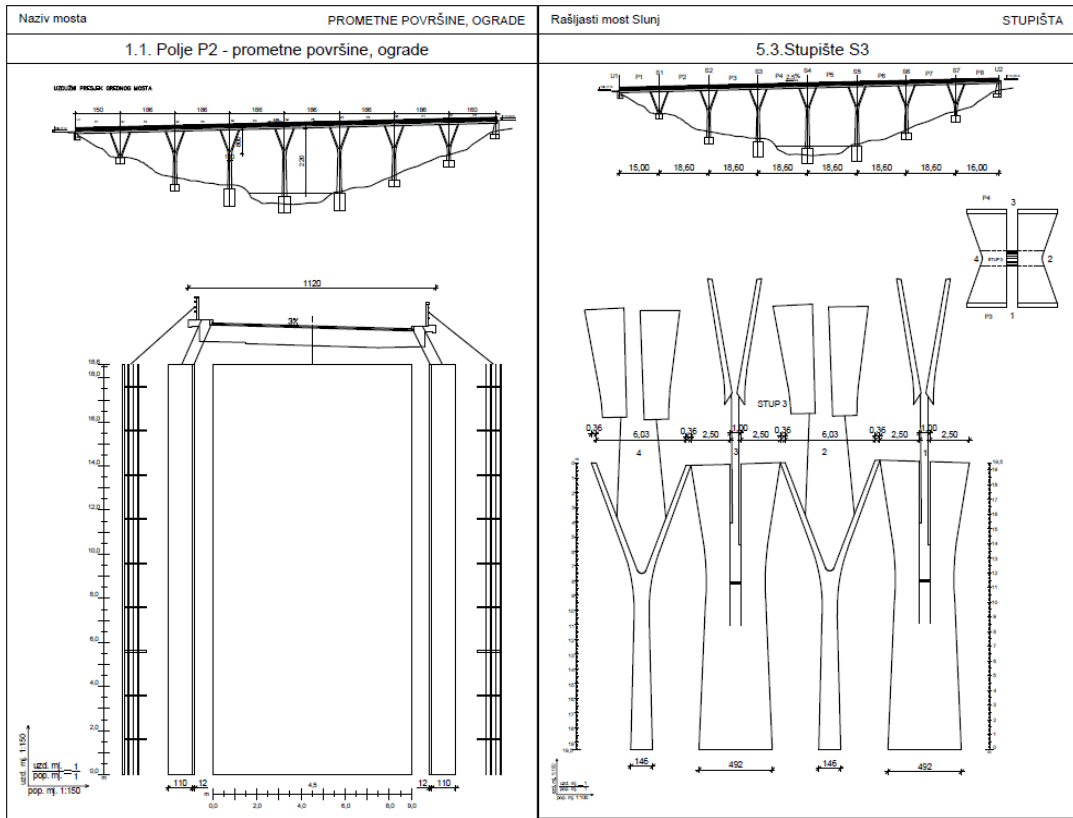
Slika 21. Poprečni presjek mosta Rastoke

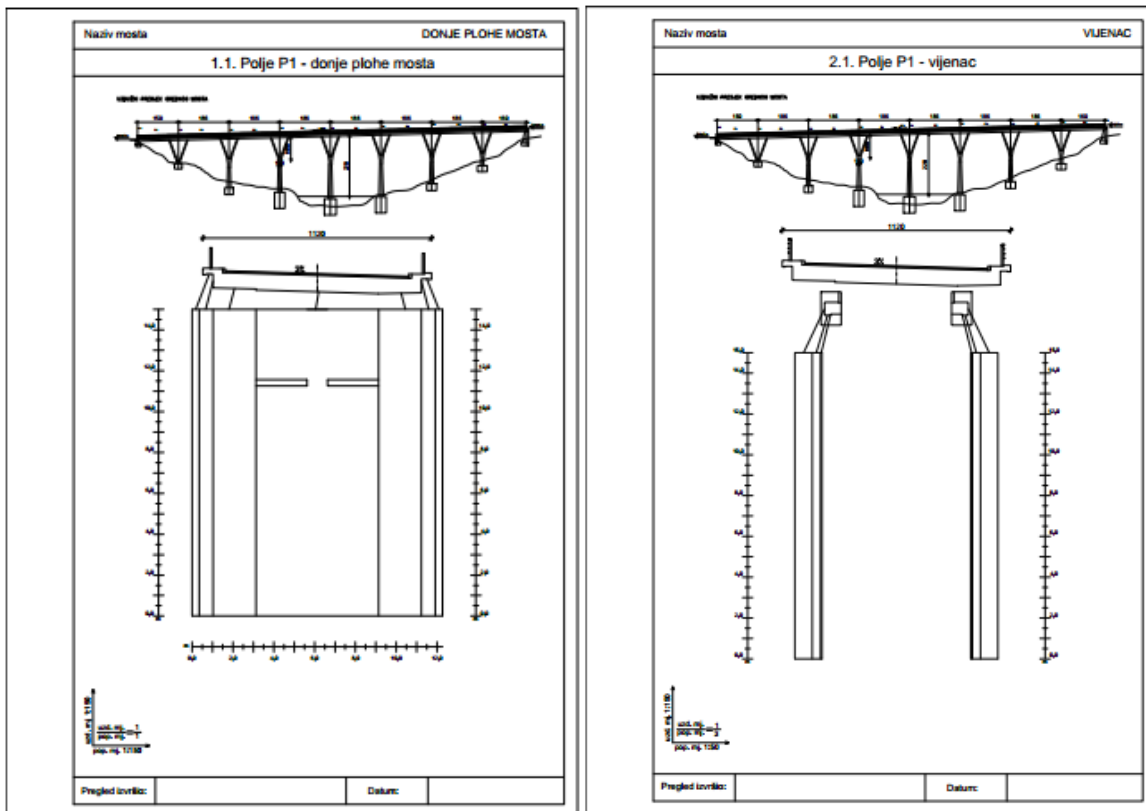
5.2.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja

Tijekom prve godine diplomskog studija u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija, već spomenuti sedmeročlani tim studenata odradio je i prvi posjet grednom mostu u Slunju. Svrha prvog pregleda bila je ista, uvid u izgled mosta sa ciljem crtanja cjelokupne dispozicije mosta i razvijanja podloga za ucrtavanje oštećenja pri pregledima. Podloge razvijene za pregled ovog mosta uključivale su prometne površine i opremu, vijenac, rasponsku konstrukciju, te upornjake i stupove.



Slika 22. Grupa studenata na pregledu mosta





Slika 23. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, stupovi, upornjak, rasponska konstrukcija, vijenac)

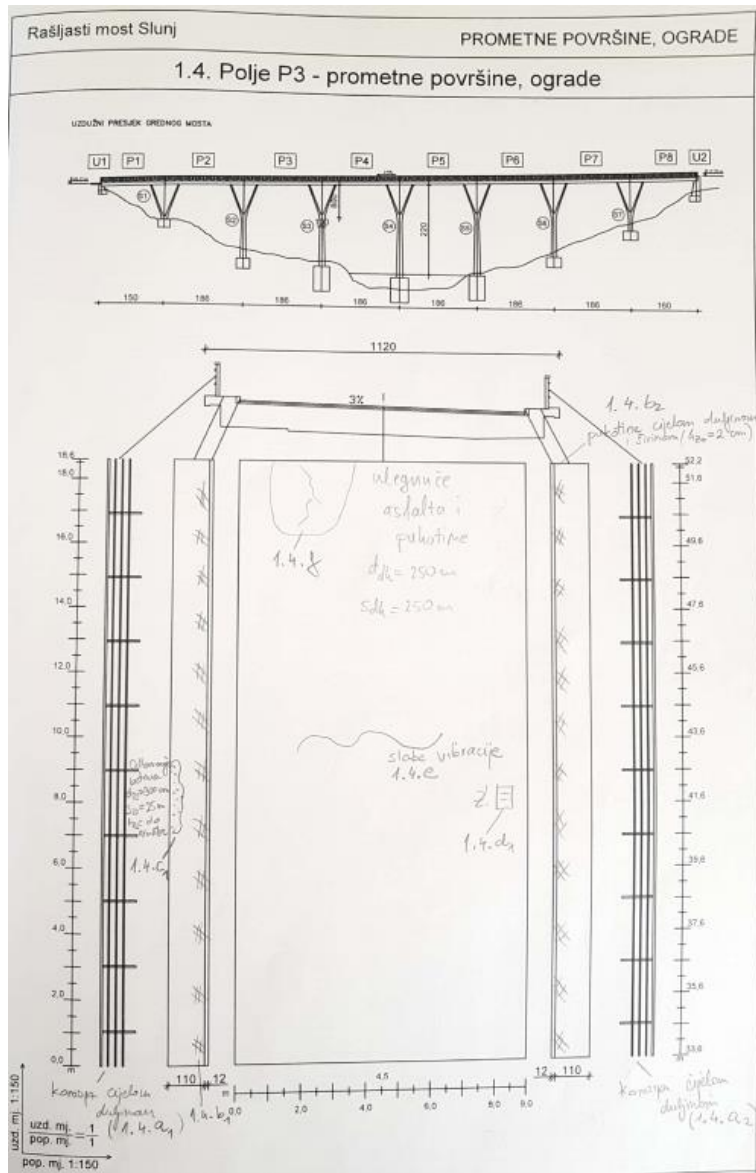
Na drugom posjetu mosta tim je kao i na prethodnom mostu odradio detaljan vizualni pregled i nerazorna ispitivanja, uz korištenje već spomenute opreme.

U podloge za preglede su ponovno ucrtavana oštećenja u skladu s legendom na odgovarajuće mjesto i u odgovarajućem mjerilu, uz kratke opise i grafički prikaz, odnosno slike.

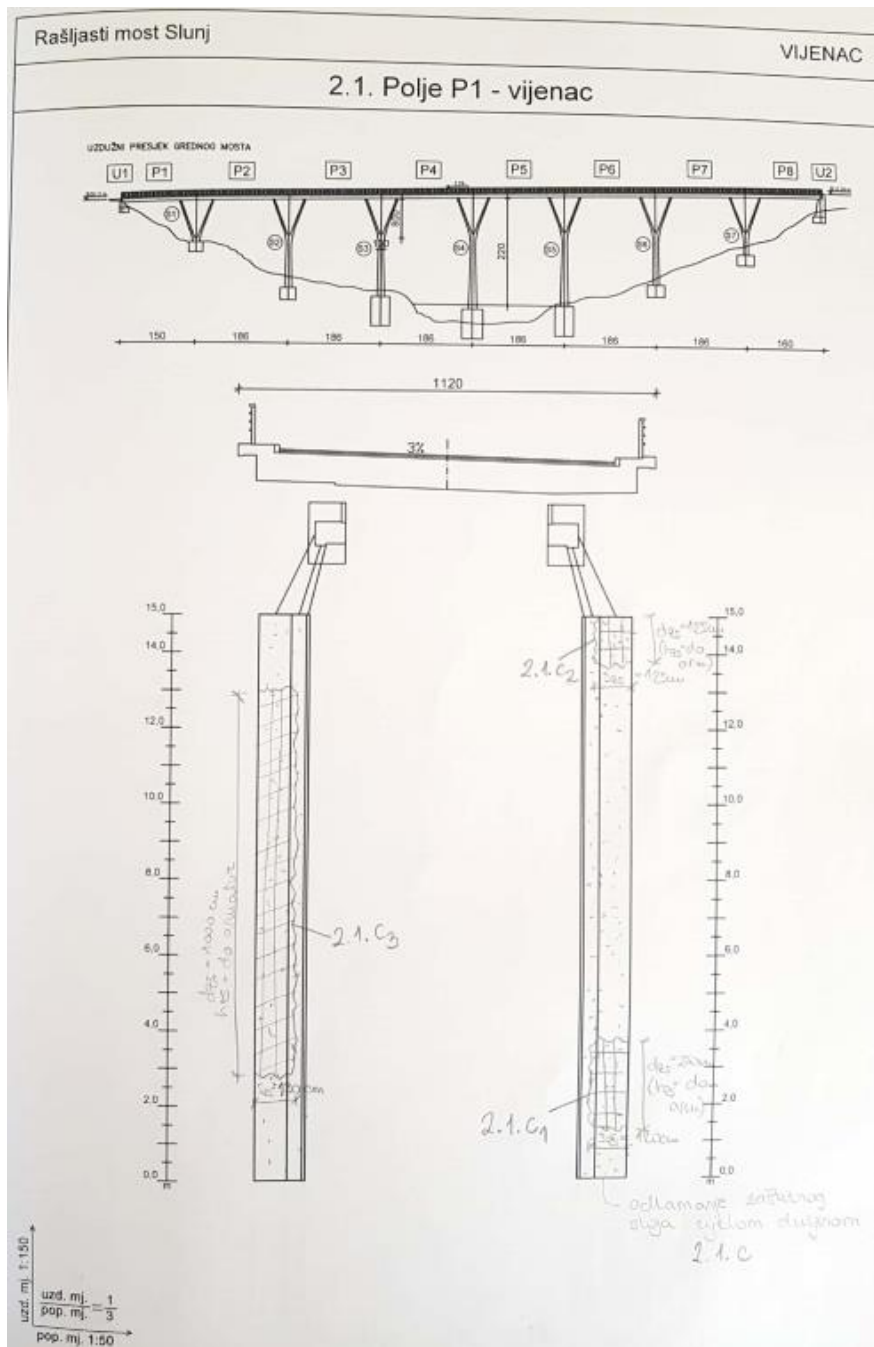
U sklopu ovoga istraživanja analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice ovoga rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.

5.2.3. Uočena oštećenja

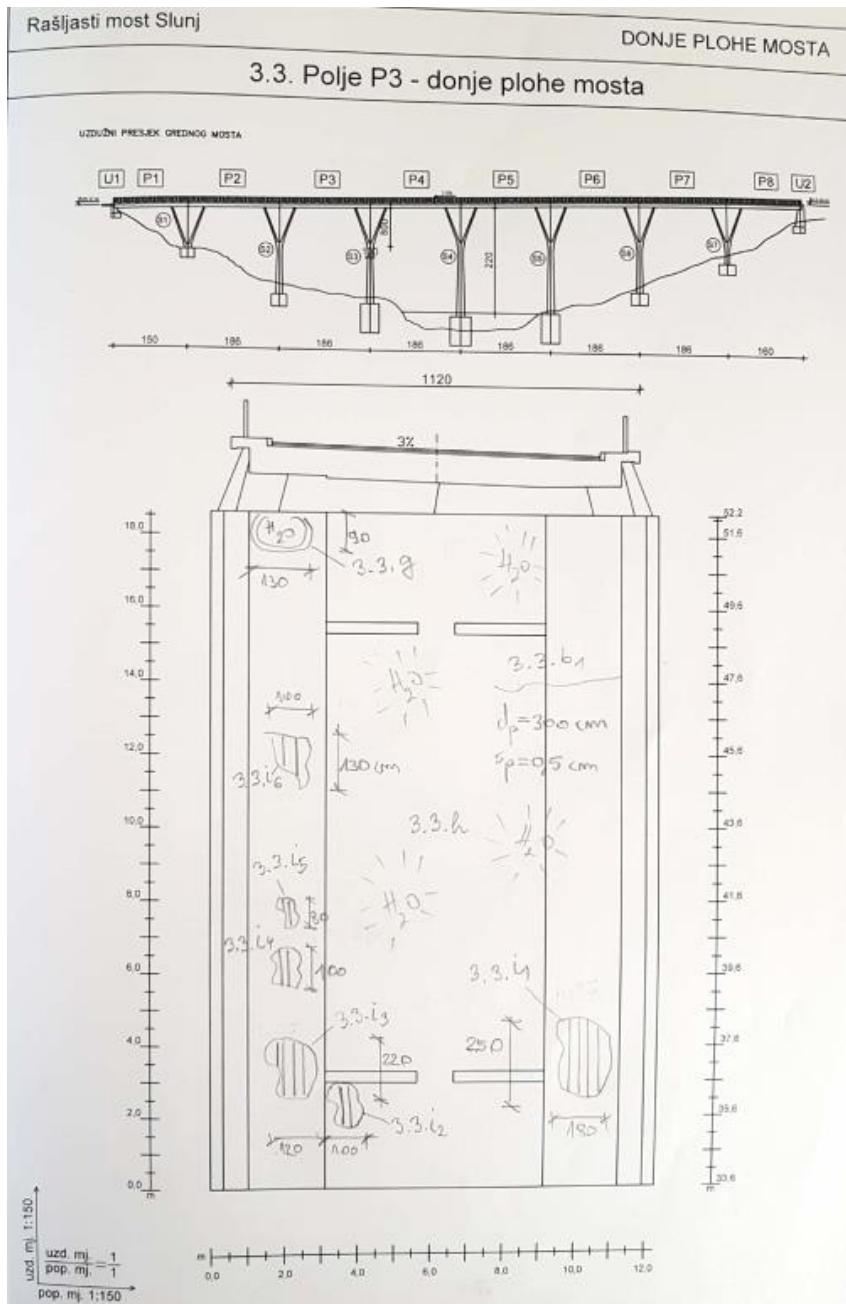
Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.



Slika 24. Korozija ograde, oštećenje hodnika



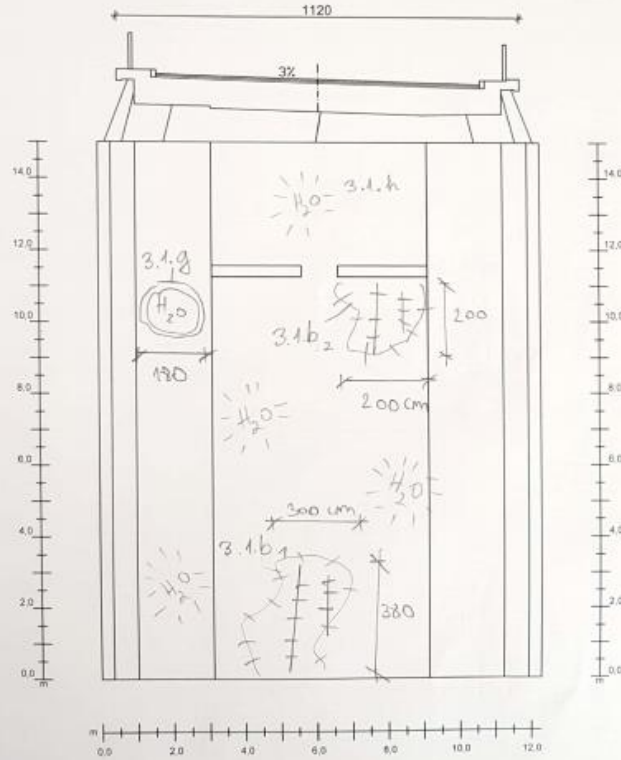
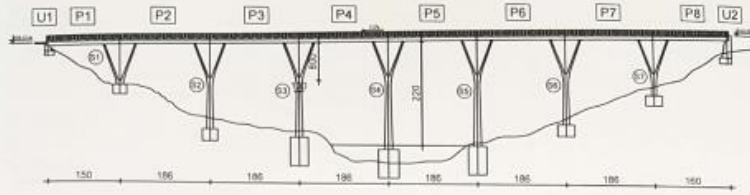
Slika 25. Korozijska armature te odlamanje vijenca



Slika 26. Odlamanje zaštitnog sloja, iscjetavanje betona (dijelom sanirano) na podgledu nosive konstrukcije

3.1. Polje P1 - donje plohe mosta

UZDUŽNI PRESJEK OREDNOG MOSTA

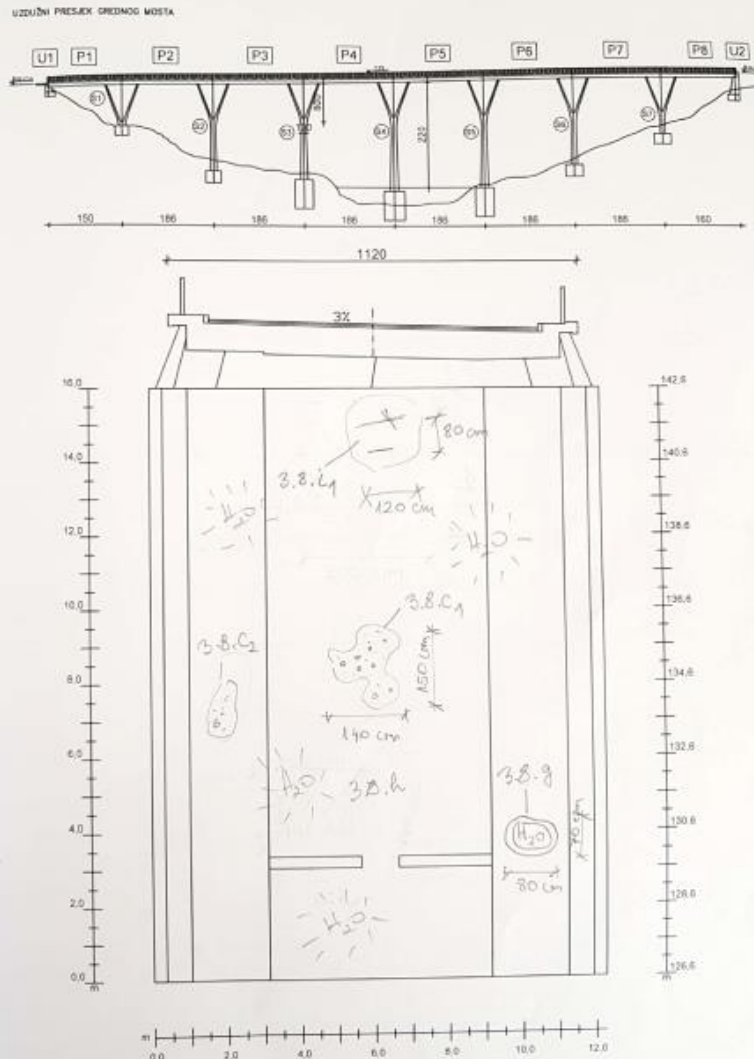


$\frac{\text{uzd. mj.}}{\text{pop. mj.}} = \frac{1}{1.150}$
 $\frac{\text{uzd. mj.}}{\text{pop. mj.}} = \frac{1}{1}$
 $\frac{\text{pop. mj.}}{\text{pop. mj.}} = \frac{1}{1.150}$



Slika 27. Iscvjetavanje betona u podgledu nosive pločaste konstrukcije mosta blizu prvoga upornjaka

3.8. Polje P8 - donje plohe mosta



Slika 28. Segregacija betona i korozija armature u podgledu na ploču u polju neposredno uz drugi upornjak

5.2.4. Pokazatelji učinkovitosti

Kod grednog mosta u Rastokama primijećena su kritična oštećenja na površinama vijenca koje su u potpunosti odlomljene, iscvjetale i potrebna su pridržanja u obliku čeličnih vezica (slika 25.). Armatura je u potpunosti korodirala. Za prometne površine treba naglasiti mrežaste pukotine, odnosno pukotine uslijed smrzavanja i odmrzavanja na pješačkom hodniku (slika 24.), kolotražnje i pukotine u asfaltu na kolničkoj konstrukciji, a za rasponsku konstrukciju vibracije te iscvjetavanje i segregaciju duž cijele ploče mosta uz mjestimično odlamanje zaštitnog sloja betona i koroziju šipki armature (slike 26., 27., 28.). Također, na ogradi je primijećena mjestimična korozija (slika 24.). Na stupovima najznačajnija su oštećenja u vidu grafita, odlamanja zaštitnog sloja betona zbog korištenja krupnog agregata, te ponovno korozija armaturnih šipki.

Evidentiranim oštećenjima za svaki element duž mosta dodijeljena je ocjena koja ulazi u daljnju analizu, donesena od strane ispitivača na osnovi vizualnog pregleda i nerazornih metoda. Važnost $G_{VI,i}$ se dodjeljuje oštećenju za svako polje i /ili oslonac u kojem se to oštećenje pojavljuje. Značenje pojedine ocjene prikazano je u tablici 2.

Pokazatelj ocjene oštećenja $PI_{DA,CO,av}$ na razini svake komponente određen je prema izrazu 1a. Tako je primjerice za odlamanje zaštitnog sloja betona na vijencu mosta (broj polja $n=8$), te zbroj ocjena oštećenja vijenca u svakom polju $\sum G_{VI,i}=36$, dobivena vrijednost:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{36}{8} = 4,50$$

Zatim su bitne ocjene temeljene na sljedećim pokazateljima: procjena stanja elementa $PI_{CA,CO}$, sigurnost konstrukcije $PI_{SS,CO}$, prometna sigurnost $PI_{TS,CO}$ i trajnost $PI_{D,CO}$ [16]. Vrijednost temeljena na smjernicama je vidljiva u tablici 1. za procjenu stanja elementa, a u tablici 3. za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i trajnost. Ona predstavlja važnost pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa. Omjer maksimalne važnosti svih oštećenja $I_{D,CO,max}$ i važnosti pojedinog oštećenja predstavlja težinu oštećenja $W_{D,CO}$. Za navedene kriterije koristimo izraze 2, 3, 4 i 5, koji za navedeni primjer odlamanja zaštitnog sloja betona poprimaju sljedeće vrijednosti:

$$PI_{CA,CO} = 4,50 \times 4/4 = 4,50$$

$$PI_{SS,CO} = 4,50 \times 2/3 = 3,00$$

$$PI_{TS,CO} = 4,50 \times 1/4 = 1,13$$

$$PI_{D,CO} = 4,50 \times 2/2 = 4,50$$

Svaki taj kriterij ima zaseban udio utjecaja na ukupnu procjenu stanja mosta, te se srednja ocjena dobivena na osnovi vizualnih pregleda množi sa tim udjelom i dobiva se konačan utjecaj pojedinih pokazatelja. Procjena stanja mosta $PI_{BCA,CO}$ dobivena je na osnovu zbroja konačnih utjecaja pokazatelja: procjene stanja elementa 30% ($W_{CA,SY}$), sigurnosti konstrukcije 30% ($W_{SS,SY}$), prometne sigurnosti 30% ($W_{TS,SY}$), i trajnosti 10% ($W_{D,SY}$) prema izrazu 6.

$$PI_{BCA,CO} = 4,50 \times 0,3 + 3,00 \times 0,3 + 1,13 \times 0,3 + 4,50 \times 0,1 = 3,49$$

Važnost mosta na razini mreže dobivena je prema 5 kriterija: kategoriji ceste G_{RC} , godišnjem prosječnom dnevnom prometu G_{AADT} , zaobilaznoj udaljenosti G_{DD} , najvećem rasponu G_{LS} , ukupnoj duljini G_{TL} [19]. Svaki od tih 5 kriterija za točno određenu situaciju ima već unaprijed određenu ocjenu vidljivu u tablici 5. (uz napomenu 2).

Gredni most u Slunju udaljen je od prethodnog lučnog mosta preko Slunjčice svega 250 m, što rezultira jednakim ocjenama prema kriterijima kategorije ceste ($G_{RC}=4$), godišnjeg prosječnog dnevnog prometa ($G_{AADT}=2$) i zaobilazne udaljenosti ($G_{DD}=3$). Najveći raspon mosta iznosi 18,6 m, te mu je dodijeljena ocjena $G_{LS}=2$, dok ukupna duljina od 142,6 m spada u raspon 80 – 200 m koji nosi ocjenu $G_{LT}=3$.

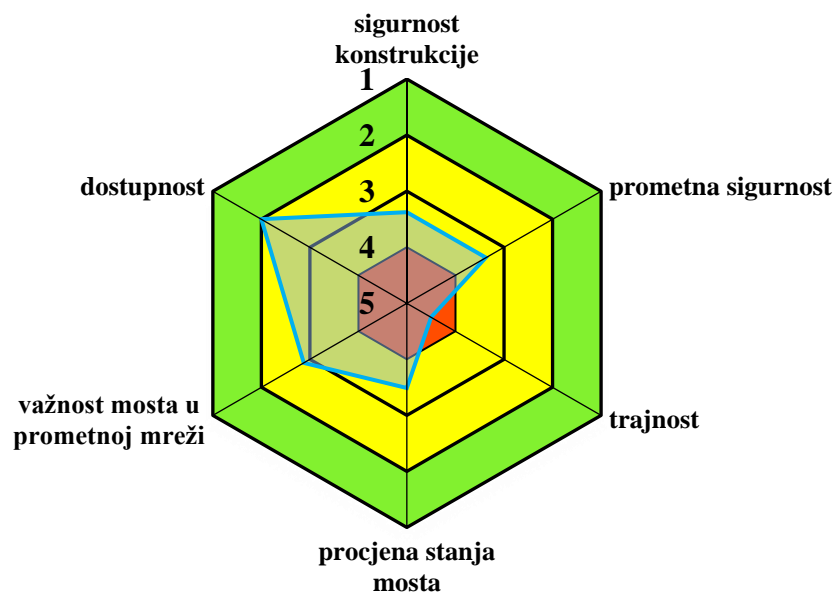
Pokazatelj važnosti mosta na razini mreže $KPI_{BI,NET}$ se uzima prema težini kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}), godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}), zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}), najveći raspon 12,5% (W_{LS}) i ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), prema izrazu 12.

$$KPI_{BI,NET} = 4 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 4 \times 0,125 + 3 \times 0,125 = 3,13$$

Dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ ovisi o vrsti prometa koja se odvija na mostu i mogućoj propusnosti prometa. Most Rastoke je, kao i njemu susjedni preko Slunjčice cestovni most kod kojeg su obje linije u funkciji ali je promet usporen zbog oštećenja, te je na osnovu tog odabrana odgovarajuća ocjena iz tablice 4. Pošto se radi samo o cestovnom prometu, ta ocjena $KPI_{AV,SY,road}$ se uzima sa 100% težinom $W_{SY,road}$ za dostupnost mosta, te je prema izrazu 11 dobiveno:

$$KPI_{AV,SY} = 2 \times 1 = 2$$

Konačan rezultat je ponovno grafički prikaz u obliku obojenog pauka (slika 29.), koji uzima u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz komponentu, sustav i razinu mreže, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna intervencija. Na formiranje prikaza utječe 6 pokazatelja učinkovitosti: sigurnost konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), prometna sigurnost ($KPI_{TS,SY}$), trajnost ($KPI_{D,SY}$), procjena stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), važnost mosta na razini mreže ($KPI_{BI,NET}$) i dostupnost ($KPI_{AV,SY}$). Zelena područja „pauka“ predstavljaju najpovoljniju vrijednost, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 29. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju

U tablici 8. prikazane su maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa, za 4 komponente plošnog dijagrama. Te komponente su: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji. Za ovaj most najkritičniji su hodnik i gredna konstrukcija, odnosno vijenac za procjenu stanja mosta, te trajnost gdje je ocjena ujedno i najkritičnija. Odlamanje zaštitnog sloja betona, korozija armature, te iscvjetavanje ploče narušavaju sigurnost konstrukcije i prometnu sigurnost s jednakom ocjenom.

Tablica 8. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za gredni most u Slunju

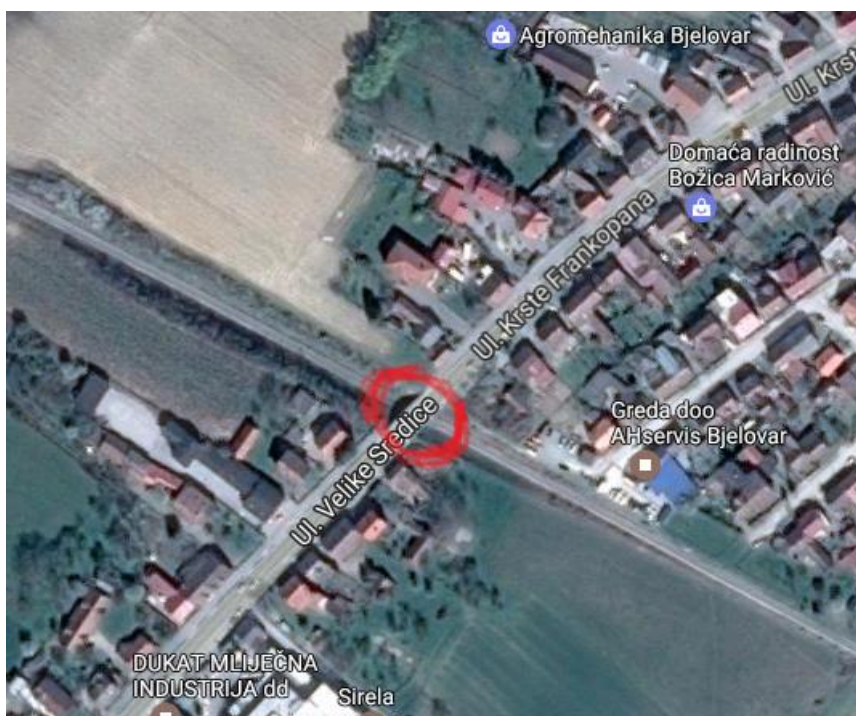
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	3,00	2,91	4,50	3,49
Kolnik	0,77	2,30	2,30	1,90
Gredna konstr.	3,38	3,38	1,69	3,38
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	2,43	0,61	1,21	1,34
Odvodnja	0,58	1,31	1,75	1,44
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,38	3,38	4,50	3,49

Dodatno iz slike 29. vidi se da pokazatelj dostupnosti mosta treba biti promišljeno odabran s obzirom na očekivano i takav da se predvide samo neznatna ograničenja u prometu tijekom popravljanja. Važnost mosta u prometnoj mreži naznačuje prioritete mjere koje treba poduzeti na tom mostu. Primarni popravak s obzirom na zatečeno stanje mosta definitivno je zamjena vijenca duljinom cijelog mosta, što bi uzrokovalo zastoje prometa preko mosta, odnosno prometovalo bi se naizmjenično jednom trakom zbog mehanizacije i opreme za zamjenu vijenca. Tijekom takvog stanja mosta, narušila bi se dostupnost, odnosno povećala ocjena ključnog pokazatelja dostupnosti na 3.

5.3. AB most u Bjelovaru s V stupovima

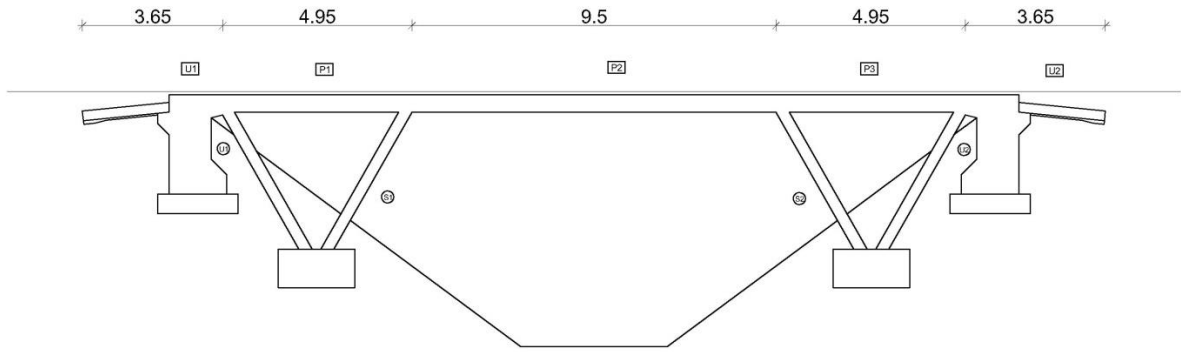
5.3.1. Opis mosta

Most se nalazi na lokalnoj cesti koja povezuje sjeverni i južni dio grada Bjelovara. Most je cestovni sa pješačkim stazama, a premošćuje željezničku trasu. Širina jednog prometnog traka je 275 cm, a pješačke staze 120 cm. Ukupna širina mosta je 9,00 m, a ukupna duljina mosta je 22,20m. Cestovni promet odvojen je od pješačkog rubnjakom visine 10 cm. Visina ograde na mostu je 110 cm.

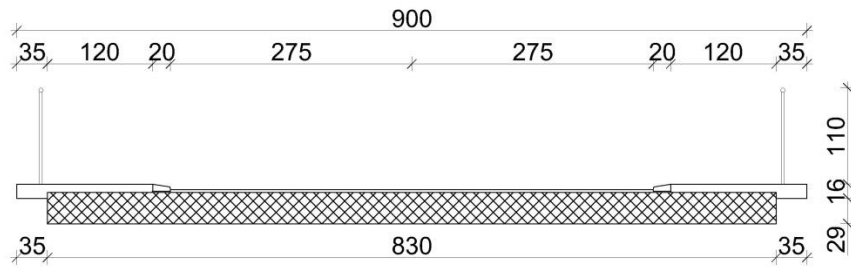


Slika 30. Prikaz lokacije mosta u Bjelovaru

Statički sustav mosta je razuporni koji se sastoji od kolničke betonske ploče oslonjene na razupore koje su izvedene kao betonski zidovi debljine 30 cm i širine 250 cm. Kolnička ploča je debljine 45 cm.



Slika 31. Uzdužni presjek mosta u Bjelovaru



Slika 32. Poprečni presjek mosta u Bjelovaru

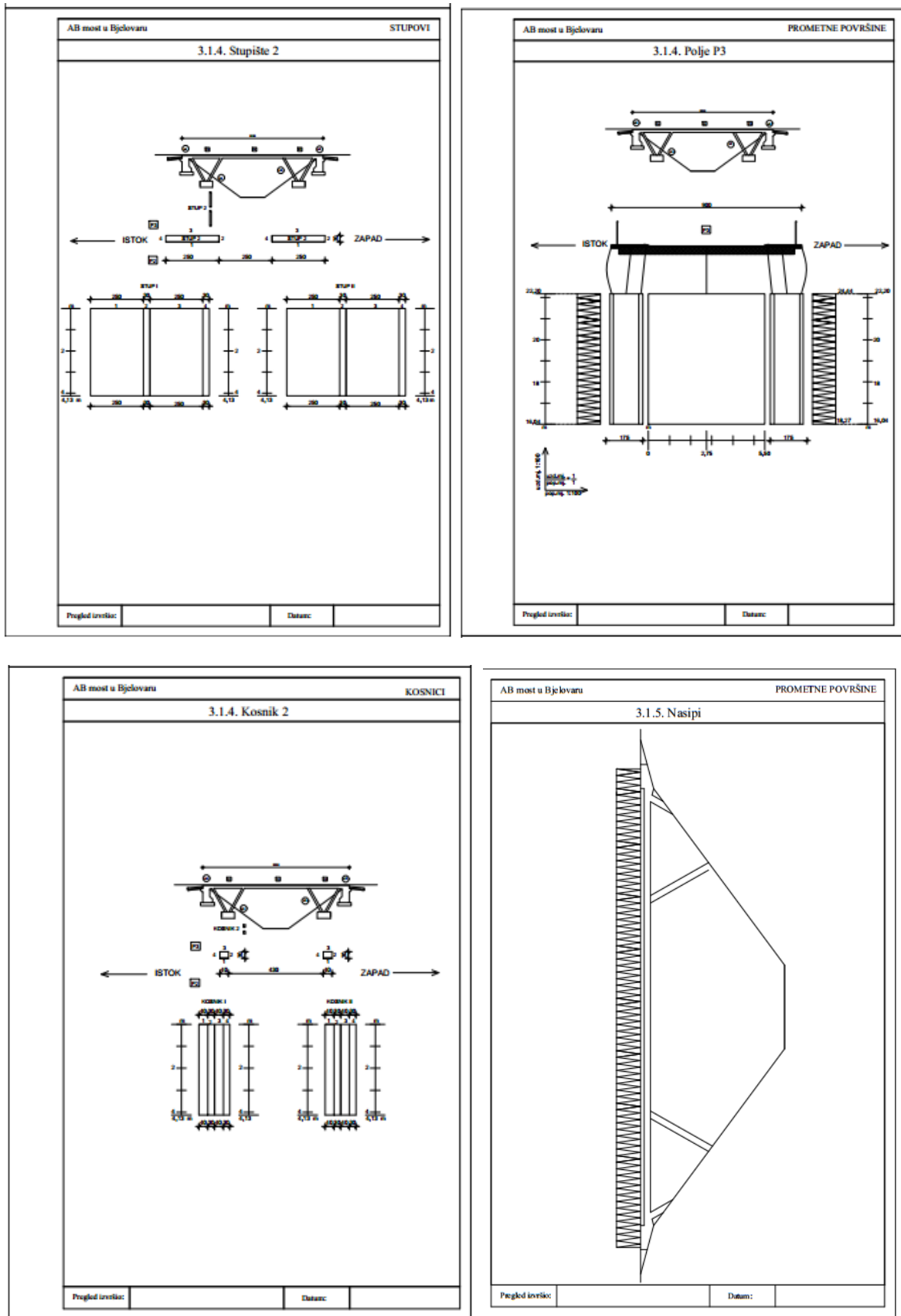
5.3.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja

Tijekom prve godine diplomskog studija u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija, dvojica studenata izašli su na most u Bjelovaru. Svrha posjeta bila je ista, odnosno uvid u izgled mosta sa ciljem crtanja cjelokupne dispozicije mosta i razvijanja podloga za ucrtavanje oštećenja pri pregledima. Podloge razvijene za pregled ovog mosta uključivale su prometne površine i opremu, vijenac, rasponsku konstrukciju, te upornjake i stupove.

Na drugom posjetu mosta studenti su kao i svi ostali timovi tijekom posjeta odradili detaljan vizualni pregled i nerazorna ispitivanja, uz korištenje već spomenute opreme.

U podloge za preglede su ponovno ucrtavana oštećenja u skladu s legendom na odgovarajuće mjesto i u odgovarajućem mjerilu, uz kratke opise i grafički prikaz, odnosno slike.

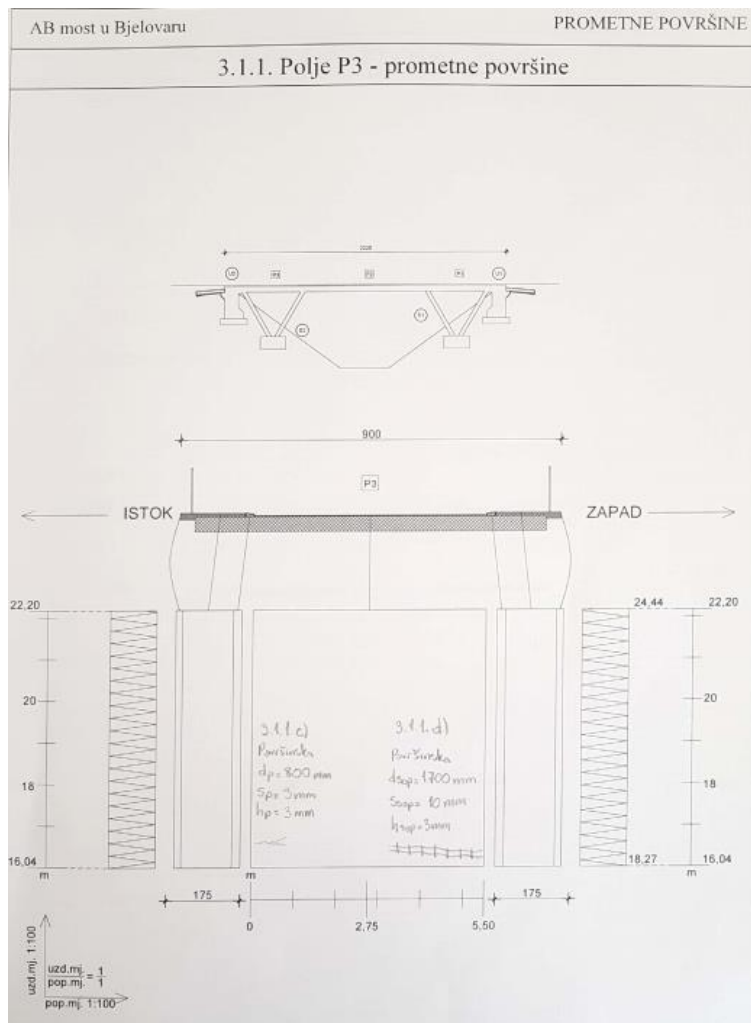
U sklopu ovoga istraživanja analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice ovoga rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.



Slika 33. Primjeri podloga (lijevo na desno: stupovi, prometne površine i oprema, kosnici, nasip)

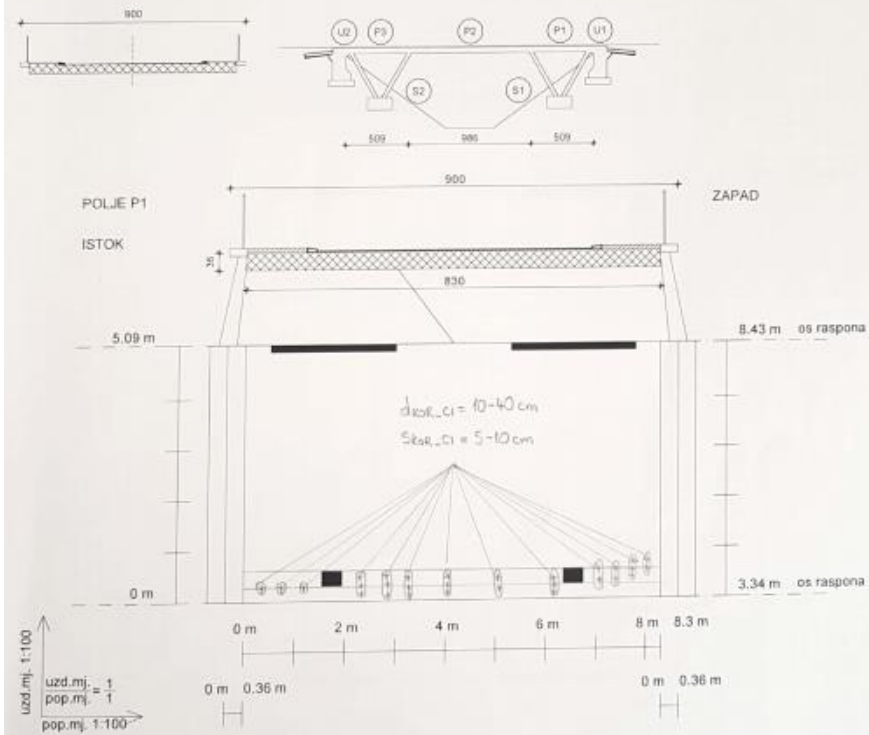
5.3.3. Uočena oštećenja

Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.



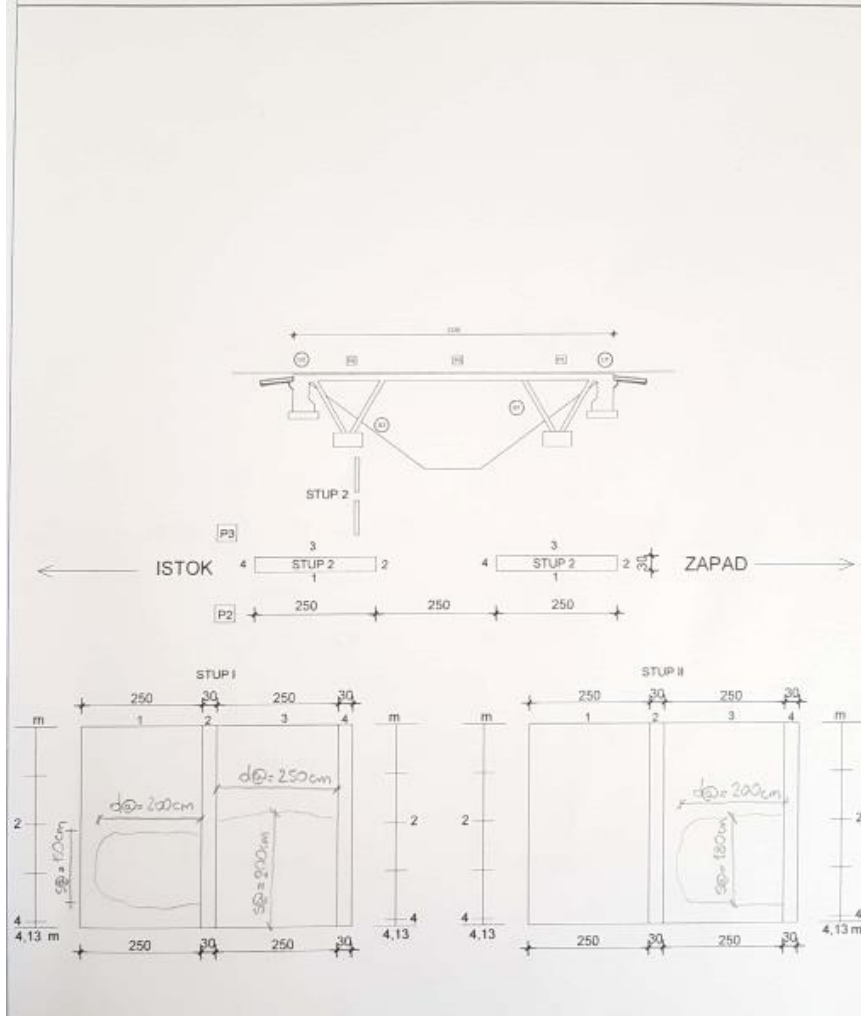
Slika 34. Sanirana, naknadno otvorena pukotina u asfaltu

3.1.2. Polje P1 - glavni nosač

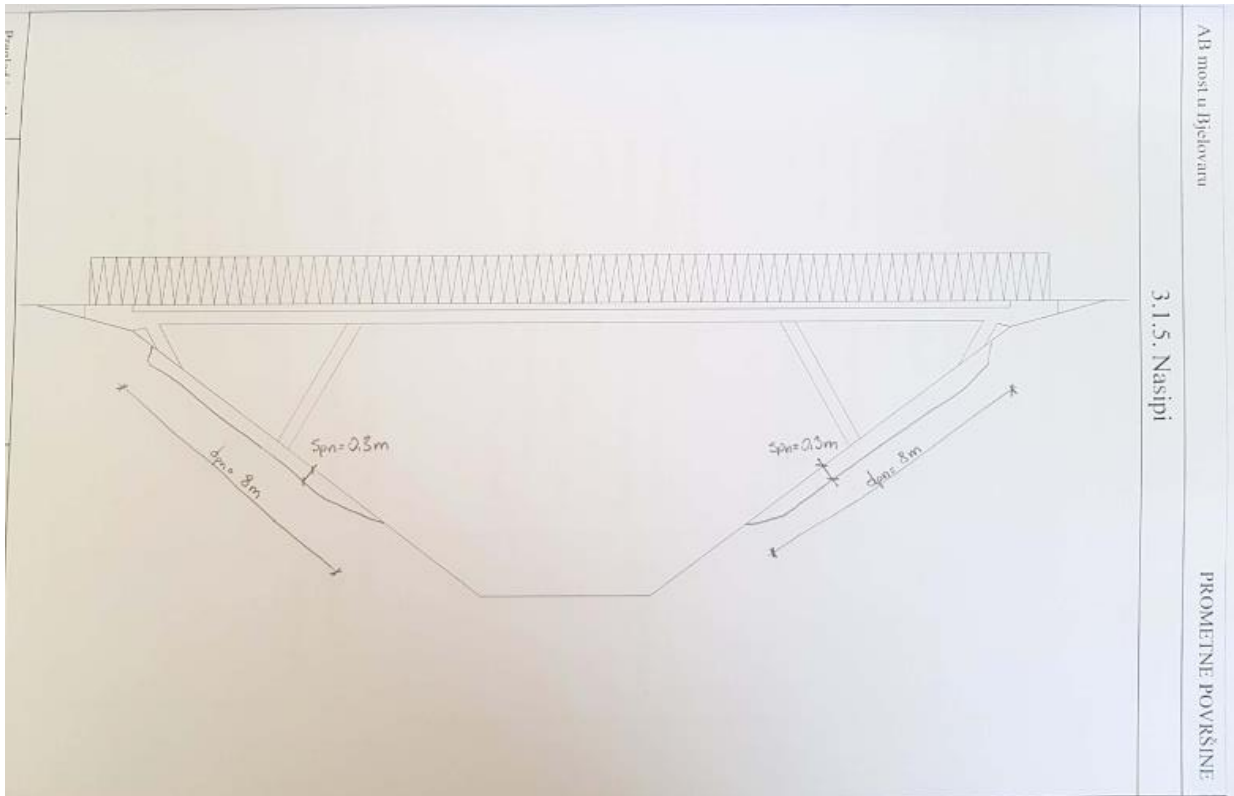


Slika 35. Korozijska armature ploče glavnog nosača

3.1.3. Stup 2

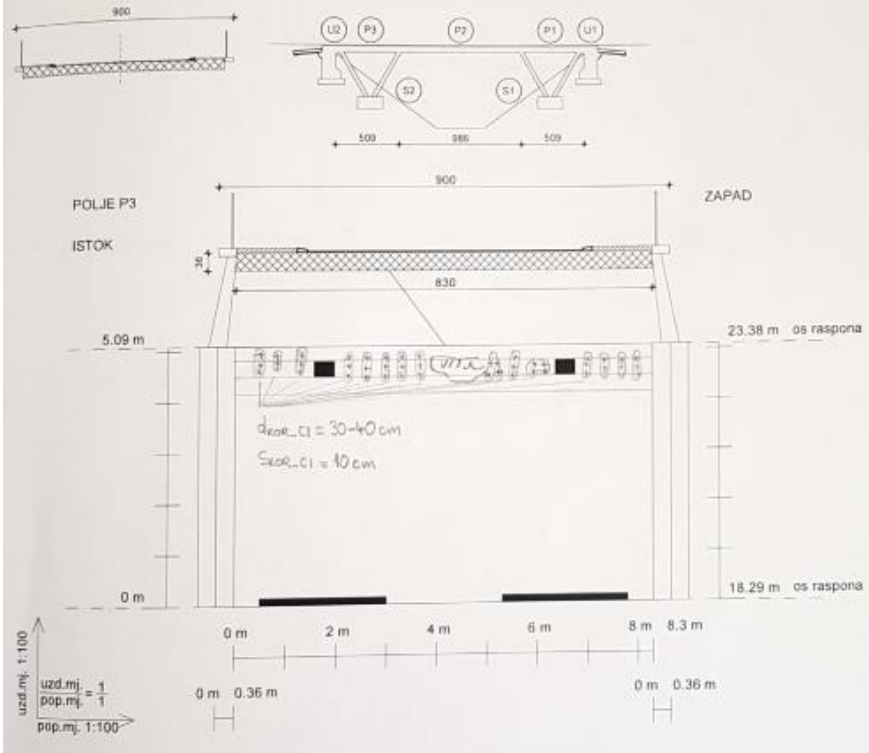


Slika 36.1. Erozija nasipa



Slika 36.2. Erozijska nasipa

3.1.2. Polje P3 - glavni nosač



Slika 37. Prikaz odlamanja betona ploče

5.3.4. Pokazatelji učinkovitosti

Kod mosta u Bjelovaru stanje je bilo lošije nego kod ostalih mostova. Najveće probleme stvara erozija tla nasipa koja je prisutna s obje strane nasipa (slika 36.1., 36.2.). Najznačajnija oštećenja na prometnim površinama su kolotrazi, te sanirane i ponovno otvorene pukotine u asfaltu (slika 34.), kao i pukotine duž pješačkog hodnika. Također, duž cijele ploče mosta prisutno je iscvjetavanje, značajno odlamanje zaštitnog sloja betona (slika 37.) te uznapredovala korozija armaturnih šipki (slika 35.). Na stupovima je naznačena prisutnost grafita, te procurivanje vode kroz beton i pukotine.

Evidentiranim oštećenjima za svaki element duž mosta dodijeljena je ocjena koja ulazi u daljnju analizu, donesena od strane ispitivača na osnovi vizualnog pregleda i nerazornih metoda. Važnost $G_{VI,i}$ se dodjeljuje oštećenju za svako polje i/ili oslonac u kojem se to oštećenje pojavljuje. Značenje pojedine ocjene prikazano je u tablici 2.

Pokazatelj ocjene oštećenja $PI_{DA,CO,av}$ na razini svake komponente određen je prema izrazu 1a. Tako je primjerice za odlamanje zaštitnog sloja betona na kolničkoj ploči mosta (broj oštećenih lokacija $n=7$), te zbroj ocjena oštećenja na svakoj lokaciji $\sum G_{VI,i}=24$, dobivena vrijednost:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{24}{7} = 3,43$$

Zatim su bitne ocjene temeljene na sljedećim pokazateljima: procjena stanja elementa $PI_{CA,CO}$, sigurnost konstrukcije $PI_{SS,CO}$, prometna sigurnost $PI_{TS,CO}$ i trajnost $PI_{D,CO}$ [16]. Vrijednost temeljena na smjernicama iz Hrvatskih autocesti je vidljiva u tablici 1. za procjenu stanja elementa, a u tablici 3 za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i trajnost. Ona predstavlja važnost pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa. Omjer maksimalne važnosti svih oštećenja $I_{D,CO,max}$ i važnosti pojedinog oštećenja predstavlja težinu oštećenja $W_{D,CO}$. Za navedene kriterije koristimo izraze 2, 3, 4 i 5, koji za navedeni primjer odlamanja zaštitnog sloja betona poprimaju sljedeće vrijednosti:

$$PI_{CA,CO} = 3,43 \times 4/4 = 3,43$$

$$PI_{SS,CO} = 3,43 \times 3/3 = 3,43$$

$$PI_{TS,CO} = 3,43 \times 4/4 = 3,43$$

$$PI_{D,CO} = 3,43 \times 1/2 = 1,71$$

Svaki taj kriterij ima zaseban udio utjecaja na ukupnu procjenu stanja mosta, te se srednja ocjena dobivena na osnovi vizualnih pregleda množi sa tim udjelom i dobiva se konačan utjecaj pojedinih pokazatelja. Procjena stanja mosta $PI_{BCA,CO}$ dobivena je na osnovu zbroja konačnih utjecaja pokazatelja: procjene stanja elementa 30% ($W_{CA,SY}$), sigurnosti konstrukcije 30% ($W_{SS,SY}$), prometne sigurnosti 30% ($W_{TS,SY}$), i trajnosti 10% ($W_{D,SY}$) prema izrazu 6.

$$PI_{BCA,CO} = 3,43 \times 0,3 + 3,43 \times 0,3 + 3,43 \times 0,3 + 1,71 \times 0,1 = 3,43$$

Važnost mosta na razini mreže dobivena je prema 5 kriterija: kategoriji ceste G_{RC} , godišnjem prosječnom dnevnom prometu G_{AADT} , zaobilaznoj udaljenosti G_{DD} , najvećem rasponu G_{LS} , ukupnoj duljini G_{TL} [19]. Svaki od tih 5 kriterija za točno određenu situaciju ima već unaprijed određenu ocjenu vidljivu u tablici 5. (uz napomenu 2).

AB most nalazi se na državnoj cesti D43 u gradu Bjelovaru, te kriterij kategorije ceste nosi ocjenu 4, kao i kod mostova u Slunju. Godišnji prosječni dnevni promet na toj dionici ceste je također u rasponu od 500 do 15000 vozila, što rezultira ocjenom 2. Slijedi ponovno zaobilazna udaljenost unutar raspona 5 – 20 km s ocjenom 3. Kriteriji najveći raspon i ukupna duljina izravno su vezani uz dispoziciju mosta, te prema svojim iznosima (raspon luka od 9,5 m i duljina od 22,2 m) poprimaju ocjenu 2, što je ujedno i najmanja vrijednost tih kriterija u usporedbi s ostalim pokaznim primjercima mostova.

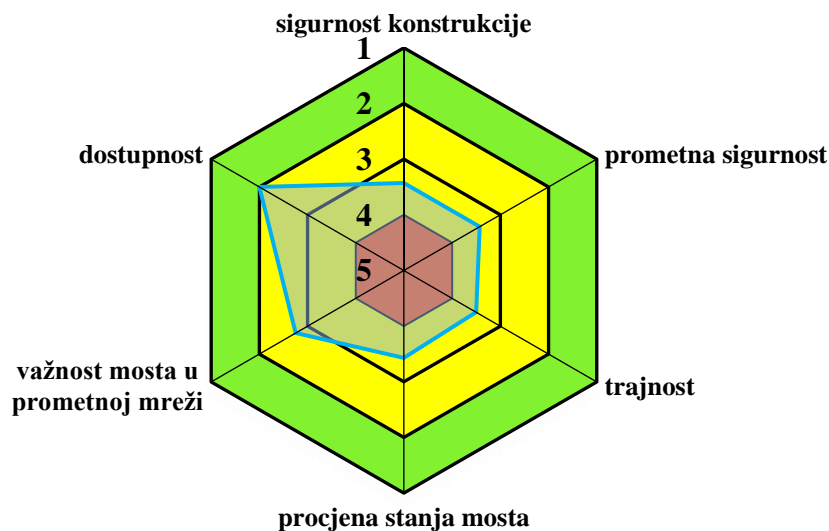
Pokazatelj važnosti mosta na razini mreže $KPI_{BI,NET}$ se uzima prema težini kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}), godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}), zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}), najveći raspon 12,5% (W_{LS}) i ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), prema izrazu 12.

$$KPI_{BI,NET} = 4 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 2 \times 0,125 + 2 \times 0,125 = 2,75$$

Dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ ovisi o vrsti prometa koja se odvija na mostu i mogućoj propusnosti prometa. Most je kao i prethodna dva isključivo cestovni kod kojeg su obje linije u funkciji ali je promet usporen zbog oštećenja, te je na osnovu tog odabrana ocjena iz tablice 4. Pošto se radi samo o cestovnom prometu, ta ocjena $KPI_{AV,SY,road}$ se uzima sa 100% težinom $W_{SY,road}$ za dostupnost mosta, te je prema izrazu 11 dobiveno:

$$KPI_{AV,SY} = 2 \times 1 = 2$$

Na slici 38. je kao i kod prethodnih mostova grafički prikaz utjecaja oštećenja na pokazatelje učinkovitosti koji uzima u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz komponentu, sustav i razinu mreže, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna intervencija. Na formiranje prikaza utječe 6 pokazatelja učinkovitosti: sigurnost konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), prometna sigurnost ($KPI_{TS,SY}$), trajnost ($KPI_{D,SY}$), procjena stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), važnost mosta na razini mreže ($KPI_{BI,NET}$) i dostupnost ($KPI_{AV,SY}$). Zelena područja „pauka“ predstavljaju najpovoljniju vrijednost, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 38. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova AB mosta u Bjelovaru

U tablici 9. prikazane su maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa, za 4 komponente plošnog dijagrama. Te komponente su: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji. Iz tablice je kao i iz dijagrama vidljivo da je gredna konstrukcija kritični dio sklopa mosta za sigurnost konstrukcije i prometnu sigurnost, a samim time i procjenu stanja mosta. Razlog tome je iscvjetavanje betona donje plohe ploče, velike količine odlamanja zaštitnog sloja i korozije armaturnih šipki. Trajnost konstrukcije narušena je ponajviše erozijom tla oko upornjaka koja može uzrokovati narušavanje temeljenja samog mosta. Gotovo podjednak utjecaj imaju sva spomenuta oštećenja na pojedine komponente dijagrama.

Tablica 9. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most u Bjelovaru:

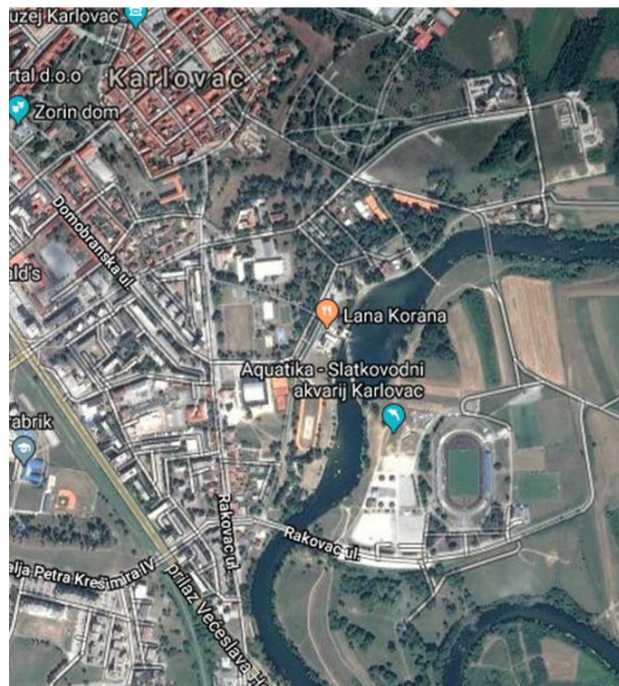
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	1,50	2,00	1,70
Kolnik	1,00	3,00	3,00	2,48
Gredna konstr.	3,43	3,43	1,71	3,43
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	3,50	2,63
Stup	3,00	0,75	1,50	1,65
Odvodnja	0,00	0,00	0,00	0,00
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,43	3,43	3,50	3,43

Dodatno iz slike 38. vidi se da pokazatelj dostupnosti mosta treba biti promišljeno odabran s obzirom na očekivano i takav da se predvide samo neznatna ograničenja u prometu tijekom popravljanja gredne konstrukcije i nasipa oko upornjaka. Važnost mosta u prometnoj mreži naznačuje prioritete mjere koje treba poduzeti na tom mostu. Primarna intervencija s obzirom na zatečeno stanje uključuje dovoz dodatnog materijala za nasipanje područja oko upornjaka, te postavljanje zaštitne mreže s ciljem sprječavanja odrona i proklizavanja zemlje. Uslijed tog procesa cestovni promet preko mosta tekao bi bez usporavanja, no tijekom željezničkog prometa ispod mosta bio bi prekinut zbog nedovoljnog prostora za izvođenje radova. Unatoč tome, ocjena dostupnosti mosta ostala bi nepromijenjena, budući da most prevodi samo cestovni promet.

5.4. Lučni most preko Korane u Karlovcu

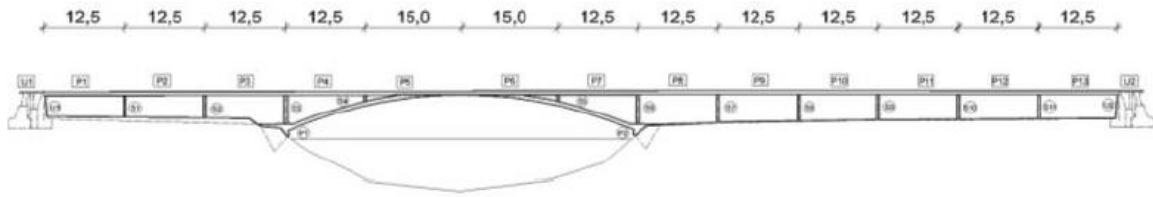
5.4.1. Opis mosta

Most preko Korane na Rakovcu u gradu Karlovcu sastoji se od 13 raspona. Rasponi iznad same rijeke su duljine 15 m, dok su svi ostali 12,5 m, što čini ukupnu duljinu mosta od 167,5 m. Betonski stupovi sastavljeno su od dva stupca konstantnog trapezastog oblika, promjenjive visine od 4,4 m između prvog i drugog raspona do visine od samo jednog metra iznad svoda.



Slika 39. Prikaz lokacije mosta preko Korane

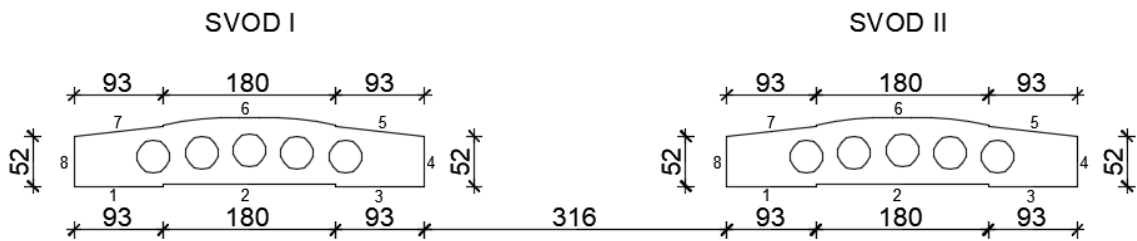
Nosiva konstrukcija je pločasta i olakšana šupljinama četvrtastog presjeka, krajnje šupljine namijenjene za odvodnju mosta. Glavni nosač je vertikalno povezan s dva identična svoda nepravilnog oblika, također olakšanih sa šupljinama kružnog presjeka. Promet na mostu odvija se u 2 smjera te se sa svake strane nalazi pješačka staza sa čeličnom ogradom.



Slika 40. Uzdužni presjek mosta preko Korane



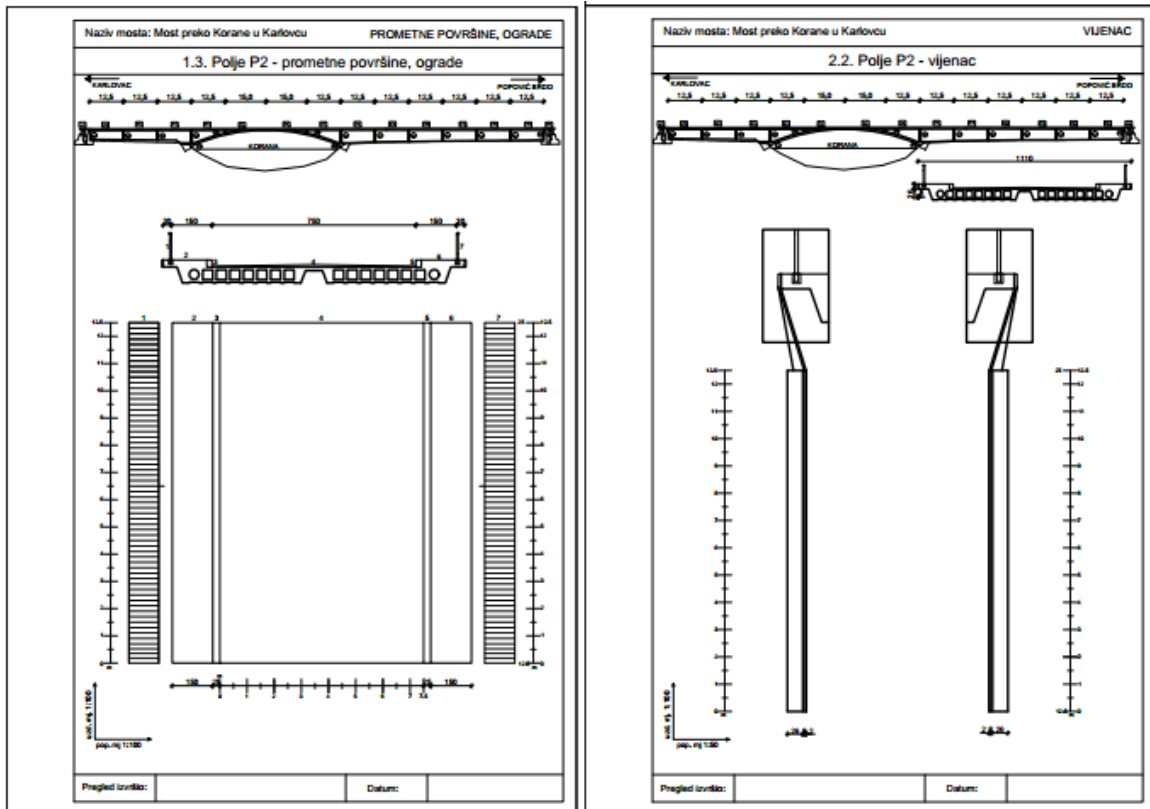
Slika 41. Poprečni presjek mosta preko Korane

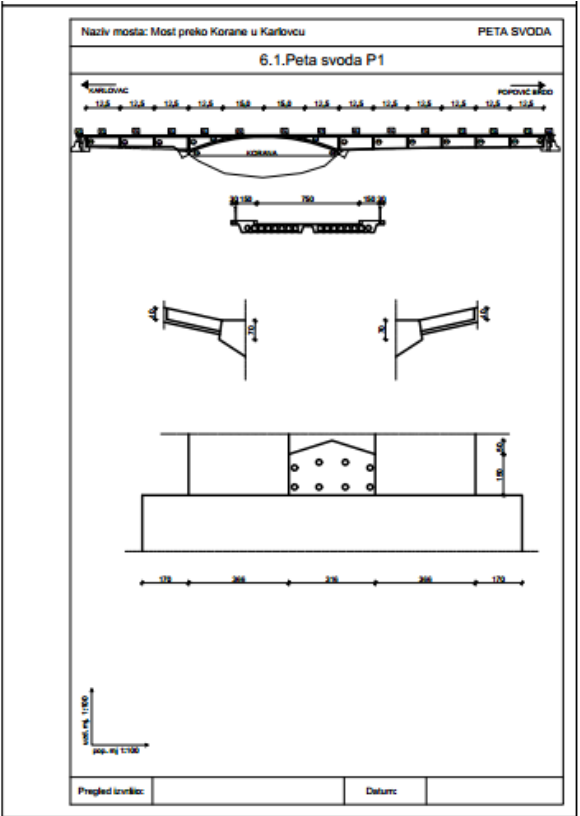
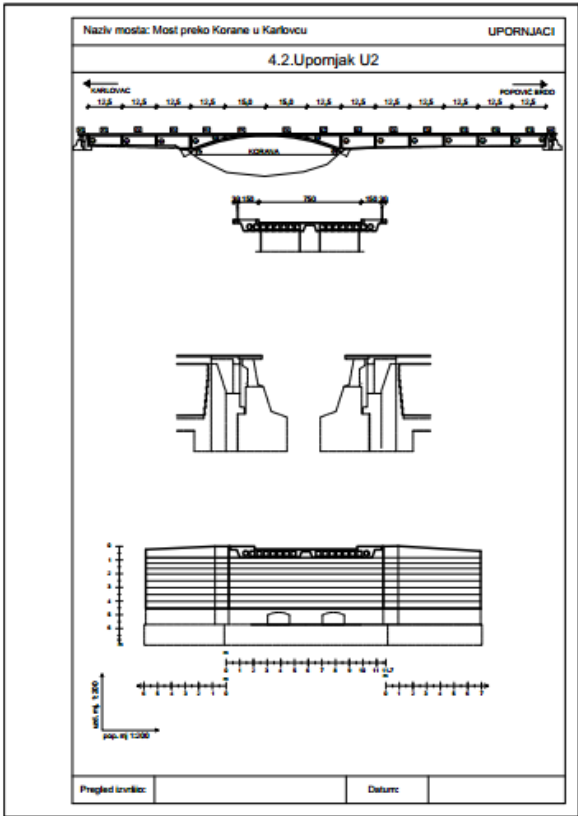
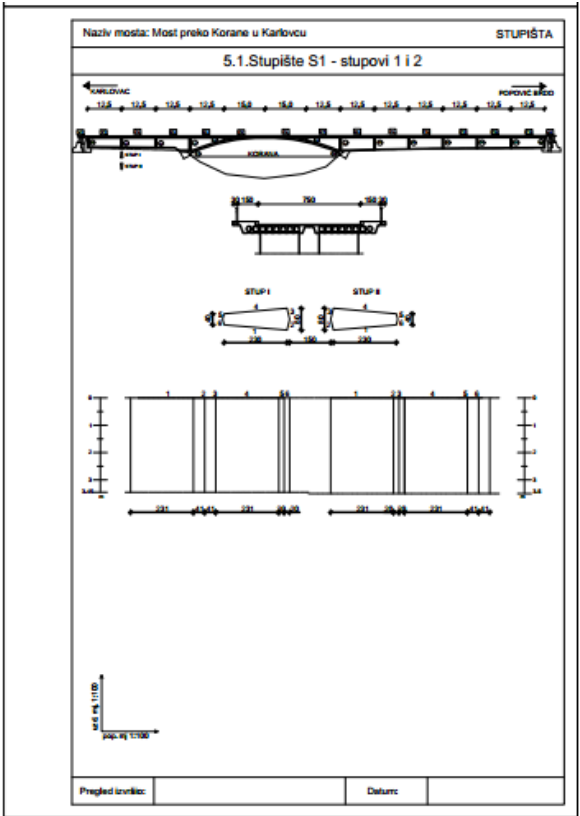
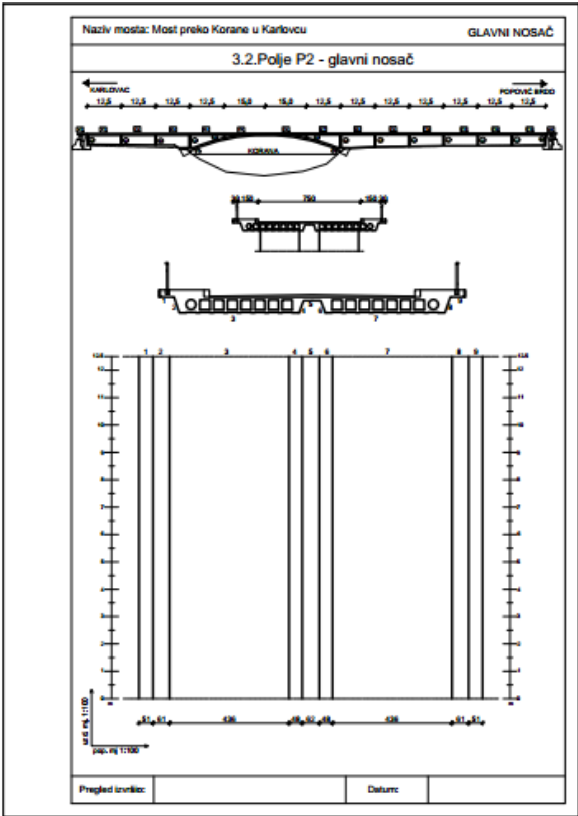


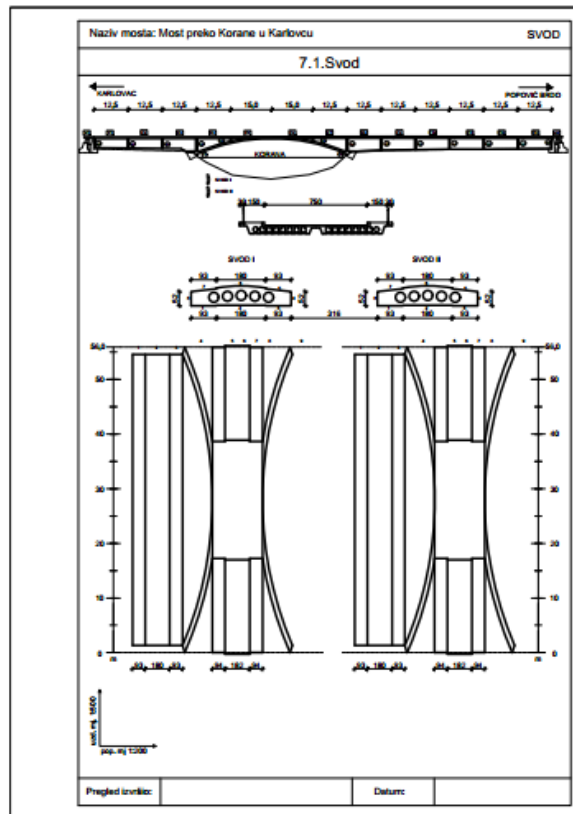
Slika 42. Poprečni presjek svoda mosta preko Korane

5.4.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja

Dvije studentice su tijekom spomenutog kolegija izvršile pregled mosta preko Korane u Karlovcu. Podloge su razvijene na isti način kao i u prethodnim primjerima, vodeći računa o mjerilima u uzdužnom i poprečnom smjeru.







Slika 43. Primjeri podloge (lijevo na desno: prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, stupovi, upornjak, peta svoda, svod)

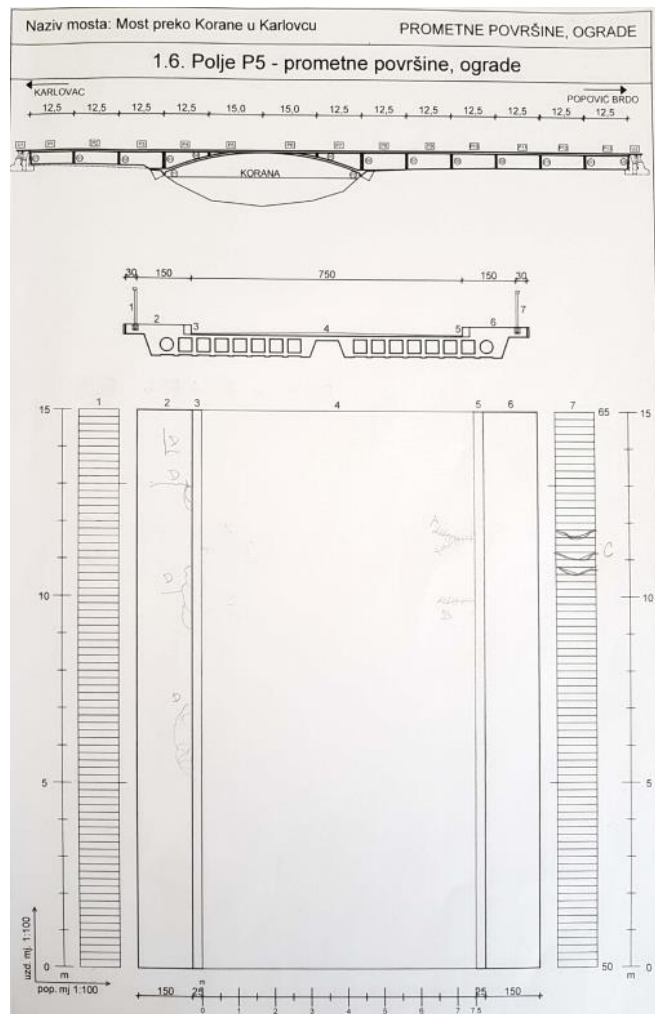
Na drugom posjetu mosta studentice su kao i svi ostali timovi tijekom posjeta odradile detaljan vizualni pregled i nerazorna ispitivanja, uz korištenje već spomenute opreme.

U podloge za preglede su ponovno ucrtana oštećenja u skladu s legendom na odgovarajuće mjesto i u odgovarajućem mjerilu, uz kratke opise i grafički prikaz, odnosno slike.

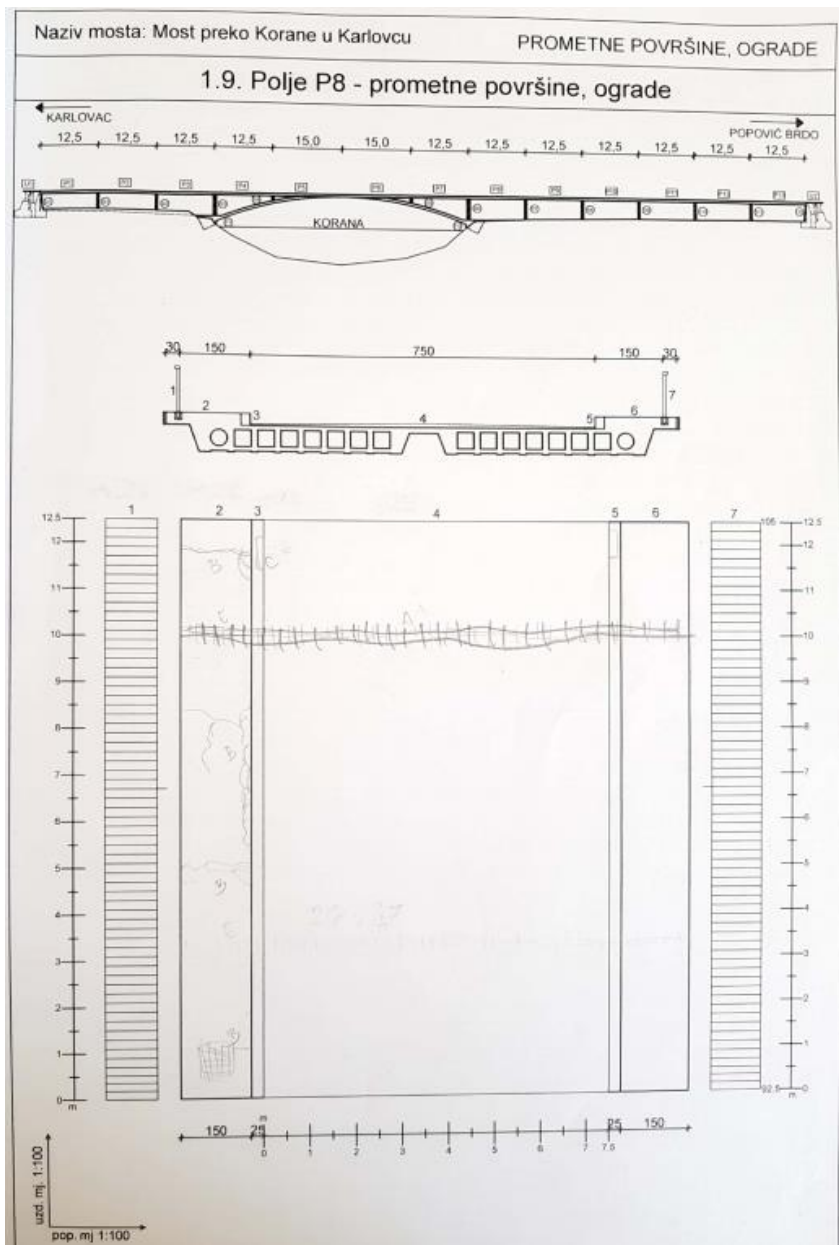
U sklopu ovoga istraživanja analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice ovoga rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.

5.4.3. Uočena oštećenja

Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.

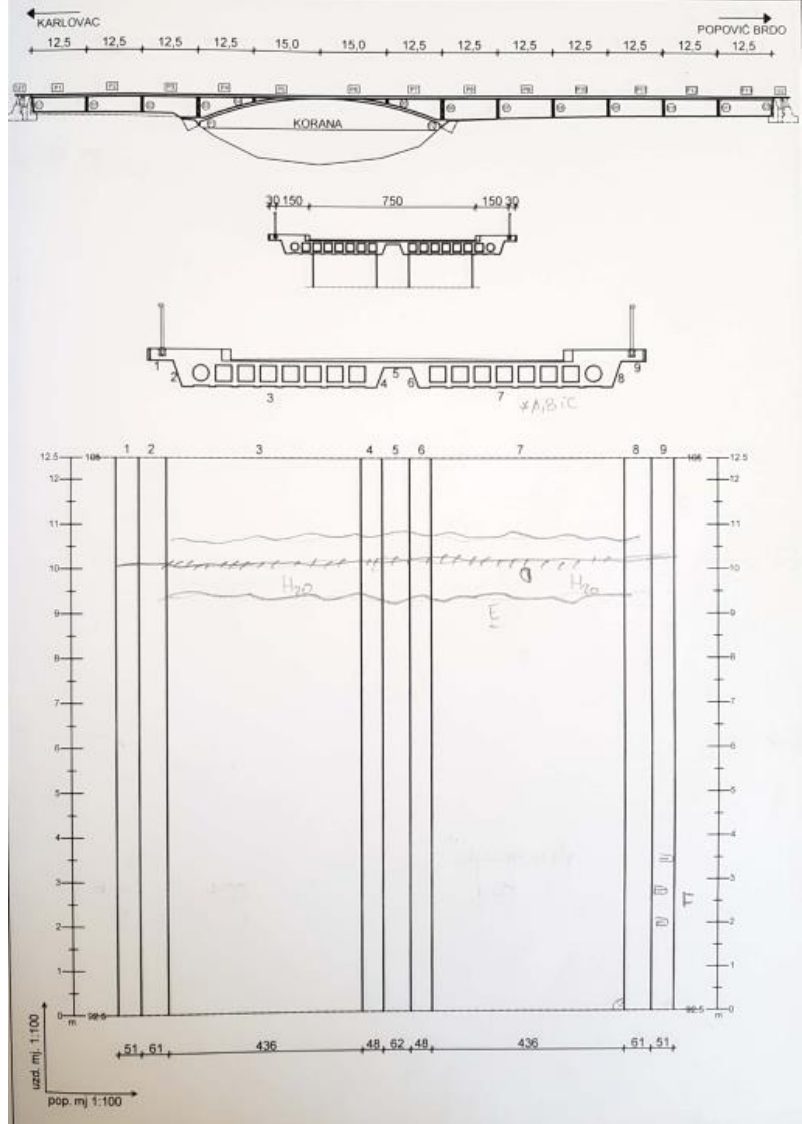


Slika 44. Oštećenje ograde: mehaničko oštećenje i korozija



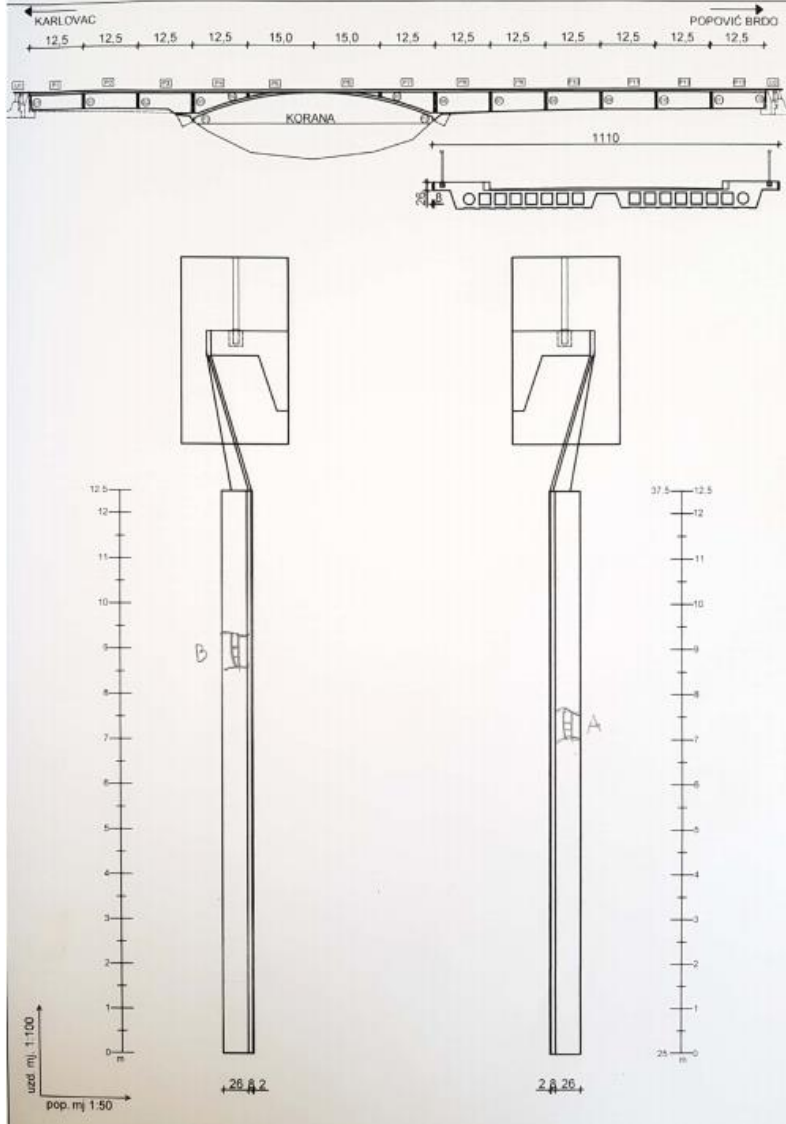
Slika 45. Dilatacija i pukotine na kolniku

3.8.Polje P8 - glavni nosač

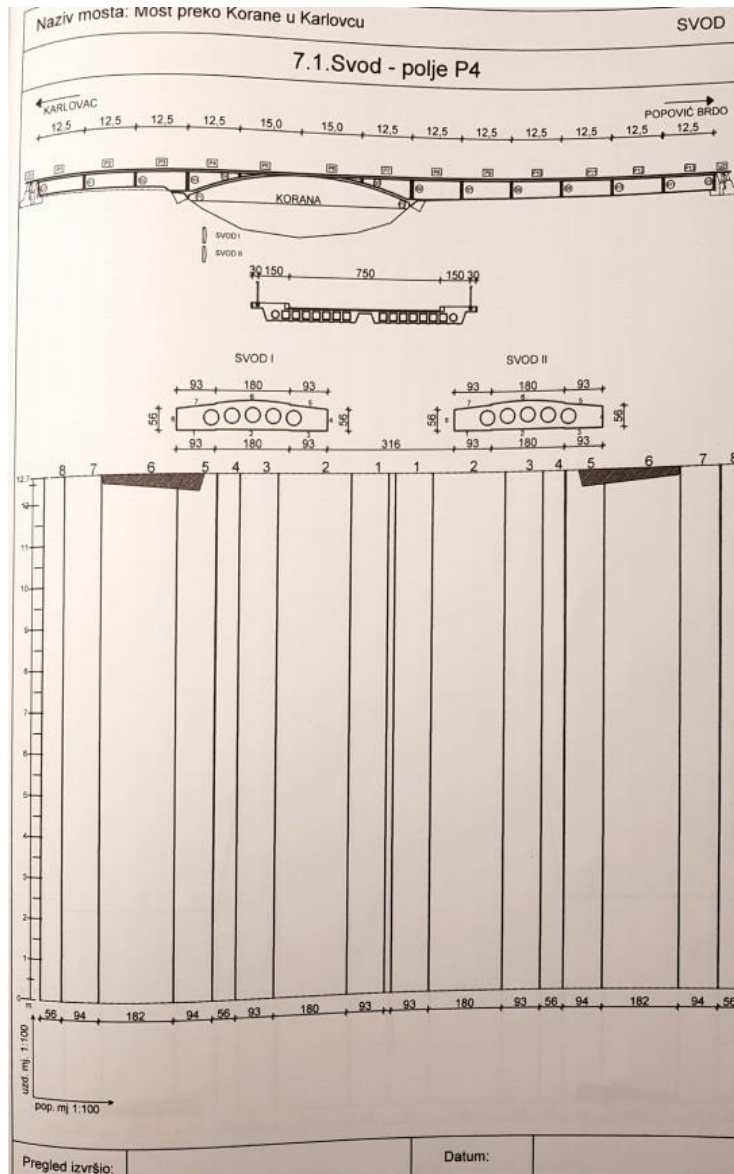


Slika 46. Dilatacija i iscvjetavanje na glavnom nosaču

2.3. Polje P3 - vijenac



Slika 47. Otpadanje obloge vijenca



Slika 48. Lučna konstrukcija mosta s neznatnim oštećenjima

5.4.4. Pokazatelji učinkovitosti

Na mostu preko Korane zabilježena su oštećenja pješačke ograde u vidu ljuštenja zaštitnog sloja i boje, te lagano korodiranje (slika 44.). Hodnik je, kao i kolnik oštećen pukotinama u asfaltu koje su značajne duljine i dubine te narušavaju izgled, ali i udobnost vožnje preko mosta. Također, jedan od elemenata sa znatnim oštećenjima je vijenac. Na vijencu je uočeno iscvjetanje betona, te odlamanje zaštitnog sloja betona, posebno blizu upornjaka (slika 47.). Kritični element ovog mosta je prijelazna naprava, koja je s obje strane u potpunosti onečišćena uz znatni nedostatak hidroizolacije (slika 45.,46.). Glavni nosači mosta zahvaćeni su iscvjetavanjem po cijeloj duljini, odlamanjem zaštitnog sloja, te korozijom armaturnih šipki. Lučna konstrukcija, kao i stupovi, imaju oštećenja u vidu grafita, pukotina i odlamanja zaštitnog sloja betona. Elementi odvodnje mosta, odnosno slivnici, su gotovo u potpunosti začepljeni.

Evidentiranim oštećenjima za svaki element duž mosta dodijeljena je ocjena koja ulazi u daljnju analizu, donesena od strane ispitivača na osnovi vizualnog pregleda i nerazornih metoda. Važnost $G_{VI,i}$ se dodjeljuje oštećenju za svako polje i /ili oslonac u kojem se to oštećenje pojavljuje. Značenje pojedine ocjene prikazano je u tablici 2.

Pokazatelj ocjene oštećenja $PI_{DA,CO,av}$ na razini svake komponente određen je prema izrazu 1a. Tako je primjerice za pukotine duž pješačkog hodnika (broj oštećenih lokacija $n=14$), te zbroj ocjena oštećenja na upornjaku i poljima $\sum G_{VI,i}=44$, dobivena vrijednost:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{44}{14} = 3,14$$

Zatim su bitne ocjene temeljene na sljedećim pokazateljima: procjena stanja elementa $PI_{CA,CO}$, sigurnost konstrukcije $PI_{SS,CO}$, prometna sigurnost $PI_{TS,CO}$ i trajnost $PI_{D,CO}$ [16]. Vrijednost temeljena na smjernicama iz Hrvatskih autocesti je vidljiva u tablici 1. za procjenu stanja elementa, a u tablici 3. za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i trajnost. Ona predstavlja važnost pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa. Omjer maksimalne važnosti svih oštećenja $I_{D,CO,max}$ i važnosti pojedinog oštećenja predstavlja težinu oštećenja $W_{D,CO}$. Za navedene kriterije koristimo izraze 2, 3, 4 i 5, koji za navedeni primjer oštećenja u vidu pukotina duž hodnika poprimaju sljedeće vrijednosti:

$$PI_{CA,CO} = 3,14 \times 3/4 = 2,36$$

$$PI_{SS,CO} = 3,14 \times 2/3 = 2,10$$

$$PI_{TS,CO} = 3,14 \times 3/4 = 2,36$$

$$PI_{D,CO} = 3,14 \times 2/2 = 3,14$$

Svaki taj kriterij ima zaseban udio utjecaja na ukupnu procjenu stanja mosta, te se srednja ocjena dobivena na osnovi vizualnih pregleda množi sa tim udjelom i dobiva se konačan utjecaj pojedinih pokazatelja. Procjena stanja mosta $PI_{BCA,CO}$ dobivena je na osnovu zbroja konačnih utjecaja pokazatelja: procjene stanja elementa 30% ($W_{CA,SY}$), sigurnosti konstrukcije 30% ($W_{SS,SY}$), prometne sigurnosti 30% ($W_{TS,SY}$), i trajnosti 10% ($W_{D,SY}$) prema izrazu 6.

$$PI_{BCA,CO} = 3,14 \times 0,3 + 2,10 \times 0,3 + 2,36 \times 0,3 + 3,14 \times 0,1 = 2,67$$

Važnost mosta na razini mreže dobivena je prema 5 kriterija: kategoriji ceste G_{RC} , godišnjem prosječnom dnevnom prometu G_{AADT} , zaobilaznoj udaljenosti G_{DD} , najvećem rasponu G_{LS} , ukupnoj duljini G_{TL} [19]. Svaki od tih 5 kriterija za točno određenu situaciju ima već unaprijed određenu ocjenu vidljivu u tablici 5. (uz napomenu 2).

Lučni most preko Korane nalazi se na lokalnoj cesti u Karlovcu, te kriterij kategorije ceste nosi ocjenu 2, što je ujedno i najniža ocjena dodijeljena tom kriteriju. Godišnji prosječni dnevni promet, kao i zaobilazna udaljenost, upadaju u jednake kategorije kao i kod prethodnih mostova ($G_{AADT}=2$, $G_{DD}=3$). Kriteriji najveći raspon (15 m) nalazi se u kategoriji 20-50 m s ocjenom 3, dok je kriteriju ukupna duljina (167,5 m) dodijeljena ocjena 3, jednako kao i mostovima u Slunju.

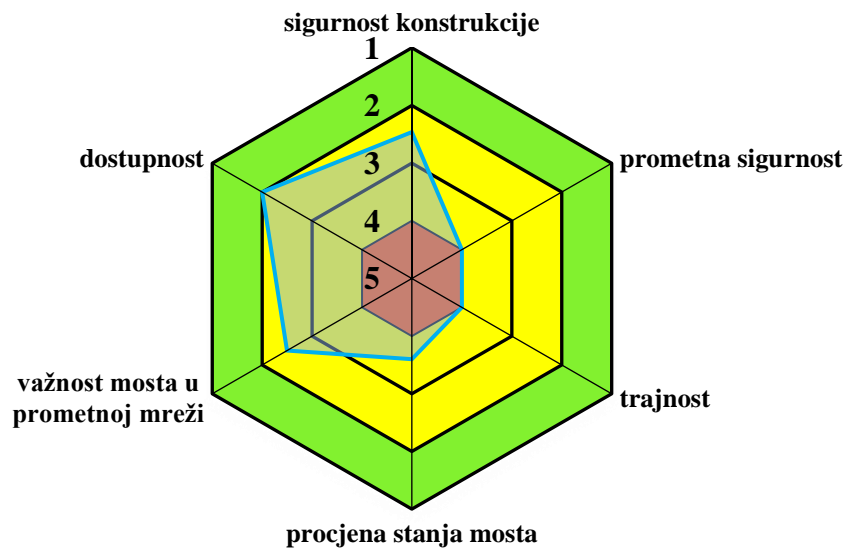
Pokazatelj važnosti mosta na razini mreže $KPI_{BI,NET}$ se uzima prema težini kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}), godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}), zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}), najveći raspon 12,5% (W_{LS}) i ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), prema izrazu 12.

$$KPI_{BI,NET} = 2 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 3 \times 0,125 + 3 \times 0,125 = 2,50$$

Dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ ovisi o vrsti prometa koja se odvija na mostu i mogućoj propusnosti prometa. Most je kao i prethodni isključivo cestovni kod kojeg su obje linije u funkciji ali je promet usporen zbog oštećenja, te je na osnovu tog odabrana ocjena iz tablice 4. Pošto se radi samo o cestovnom prometu, ta ocjena $KPI_{AV,SY,road}$ se uzima sa 100% težinom $W_{SY,road}$ za dostupnost mosta, te je prema izrazu 11 dobiveno:

$$KPI_{AV,SY} = 2 \times 1 = 2$$

Na slici 48. je kao i kod prethodnih mostova grafički prikaz utjecaja oštećenja na pokazatelje učinkovitosti koji uzima u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz komponentu, sustav i razinu mreže, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna intervencija. Na formiranje prikaza utječe 6 pokazatelja učinkovitosti: sigurnost konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), prometna sigurnost ($KPI_{TS,SY}$), trajnost ($KPI_{D,SY}$), procjena stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), važnost mosta na razini mreže ($KPI_{BI,NET}$) i dostupnost ($KPI_{AV,SY}$). Zelena područja „pauka“ predstavljaju najpovoljniju vrijednost, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 49. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane

U tablici 10. prikazane su maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa, za 4 komponente plošnog dijagrama. Te komponente su: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji. Za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta kritična su oštećenja kolnika, preciznije veliko onečišćenje prijelazne naprave, kako s gornje, tako i s donje strane. To uvelike otežava ispravno funkcioniranje prijelazne naprave, ali isto tako može uzrokovati probleme prilikom prometovanja mostom. Sigurnost konstrukcije s druge strane narušena je oštećenjima gredne konstrukcije, odnosno korozijom glavnih nosača, no po ocjeni vidimo da to nije u tolikoj mjeri kritično kao prethodno spomenuta oštećenja prijelazne naprave.

Tablica 10. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most preko Korane:

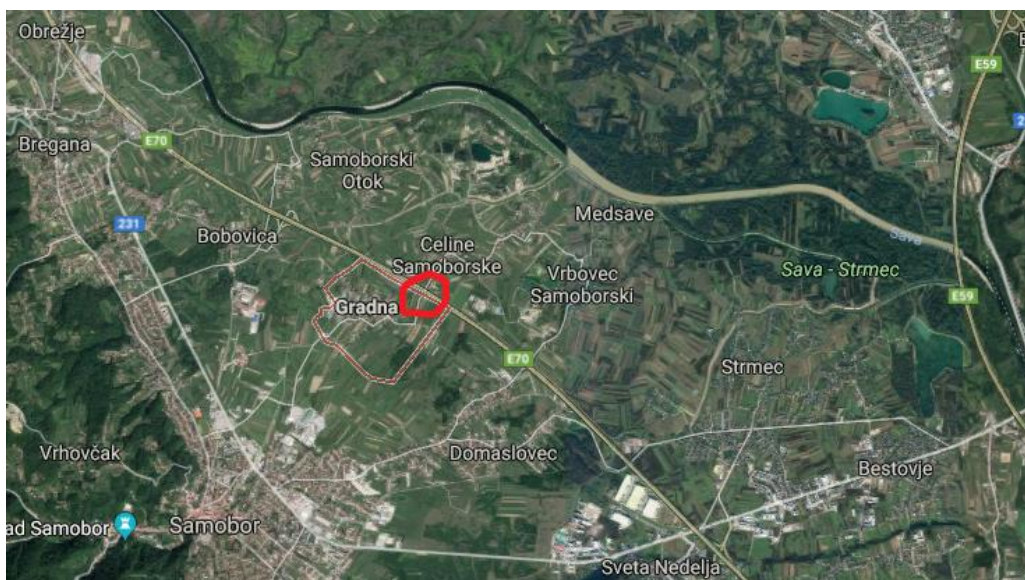
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,10	2,36	3,14	2,67
Kolnik	1,33	4,00	4,00	3,60
Gredna konstr.	2,46	0,62	1,23	1,91
Lučna konstr.	2,00	0,50	1,00	1,55
Upornjak	2,00	3,00	1,50	2,70
Stup	2,27	0,57	1,14	1,55
Odvodnja	1,17	2,63	3,50	2,89
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	2,46	4,00	4,00	3,60

Dodatno iz slike 49. vidi se da pokazatelj dostupnosti mosta treba biti promišljeno odabran s obzirom na očekivano i takav da se predvide samo neznatna ograničenja u prometu tijekom popravaka. Važnost mosta u prometnoj mreži naznačuje prioritete mjere koje treba poduzeti na tom mostu, tj. hitne zamjene prijelaznih naprava na kolniku. Takva vrsta popravka zahtjeva zatvaranje mosta za promet, odnosno u potpunosti narušava dostupnost mosta ($KPI_{AV,SY} = 5$).

5.5. Nadvožnjak Gradna

5.5.1. Opis mosta

Nadvožnjak se nalazi na autocesti A3 Bregana – Zagreb – Lipovac, iznad koje prolazi lokalna cesta koja spaja naselja Gradna i Celine. Statički sustav čini niz od četiri polja prostih greda raspona $15,30\text{m} + 21,00\text{m} + 21,00\text{m} + 15,30\text{m}$. Duljina nadvožnjaka je $72,60\text{m}$, a ukupna duljina $80,60\text{m}$. Tlocrtno je most izveden u pravcu, a vertikalno je konveksno zakrivljen. Širina kolnika je kao i na cesti - dva prometna traka ($2 \times 3,25\text{m}$) te pješačke staze s obje strane ($2 \times 1,70\text{m}$) s uzdignutim rubnjakom. Ukupna širina mosta je $9,90\text{m}$.



Slika 50. Prikaz lokacije nadvožnjaka Gradna

Rasponski sklop je sačinjen od tipskih montažnih elementa tipa SAN 210/75. U poprečnom presjeku nalaze se 4 takva elementa. Svaki takav element oslanja se na svojim krajevima na po dva elastomerna ležaja.

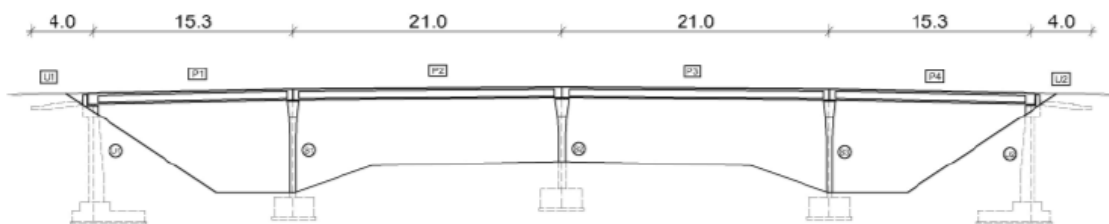
Upornjaci i stupišta izrađeni su monolitno na mjestu gradnje, a rasponski sklop je montažni (SAN nosači).

Stupovi su armirano-betonski, presjeka 180 x 90cm. Visina središnjih stupova je 4,7m, dok su ostali visine 7,0m. U pojedinom stupištu nalaze se sva stupa, međusobno povezana naglavnom gredom dimenzija 8,2 x 1,3 x 0,9m. Ukupno postoji 3 stupišta sa po dva stupa.

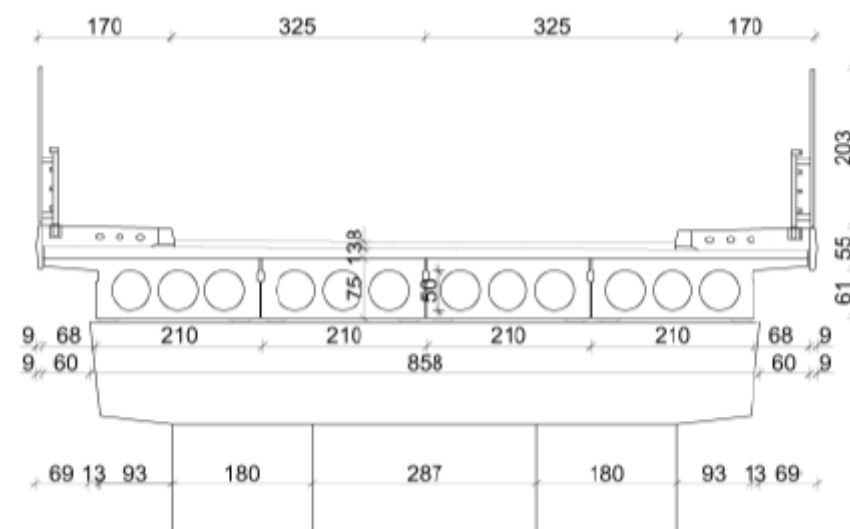
Na rubovima hodnika smještena je montažna čelična ograda visine 100cm. Odbojna ograda postavljena je na prilazu mostu, ali je na samom mostu nema.

Svaki montažni element rasponskog sklopa oslanja se na ukupno četiri elastomerna ležaja (po dva na svakom kraju).

Odvodnja oborinske vode izvedena je uzdužnim i poprečnim (2,5%) padom kolnika te odvodnjom vode slivnicima i procjednicama direktno na tlo. Sustav odvodnje mosta je zatvoreni. Slivnici dimenzija 40 x 30 cm postavljeni su na međusobnoj udaljenosti 42,0m (nalaze se iznad prvog i trećeg stupišta).



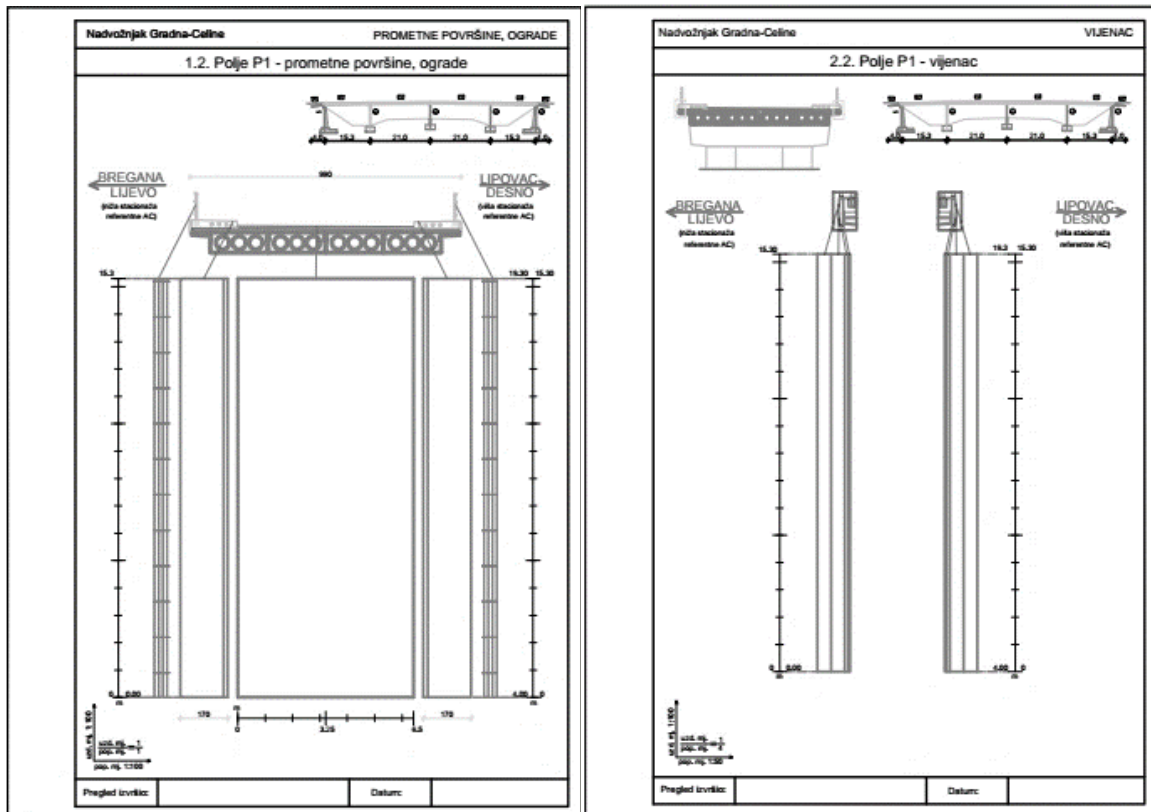
Slika 51. Uzdužni presjek nadvožnjaka Gradna

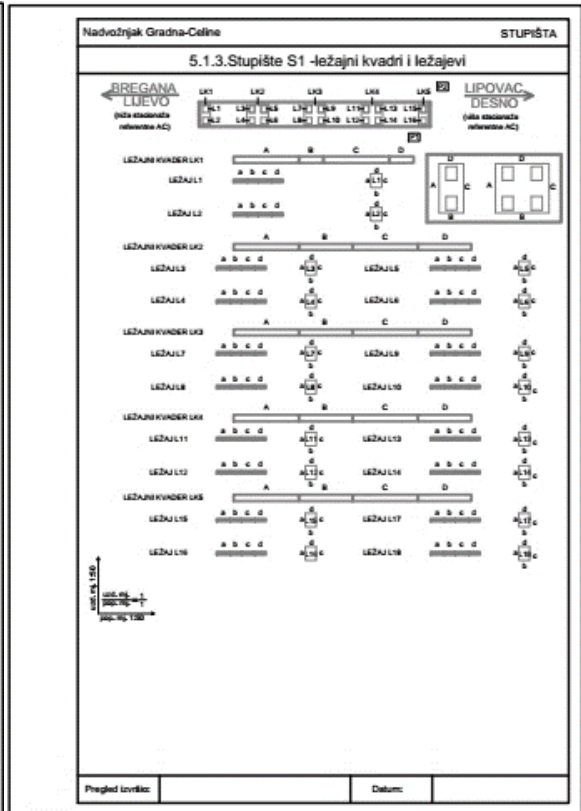
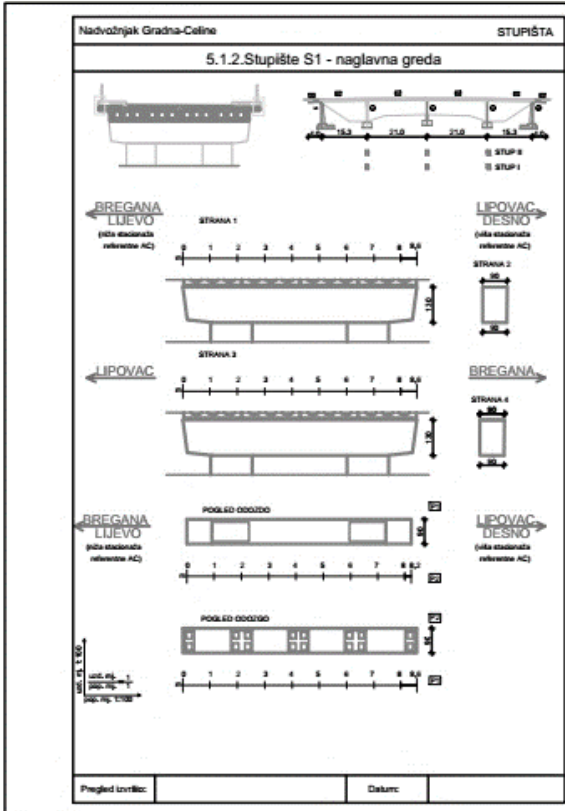
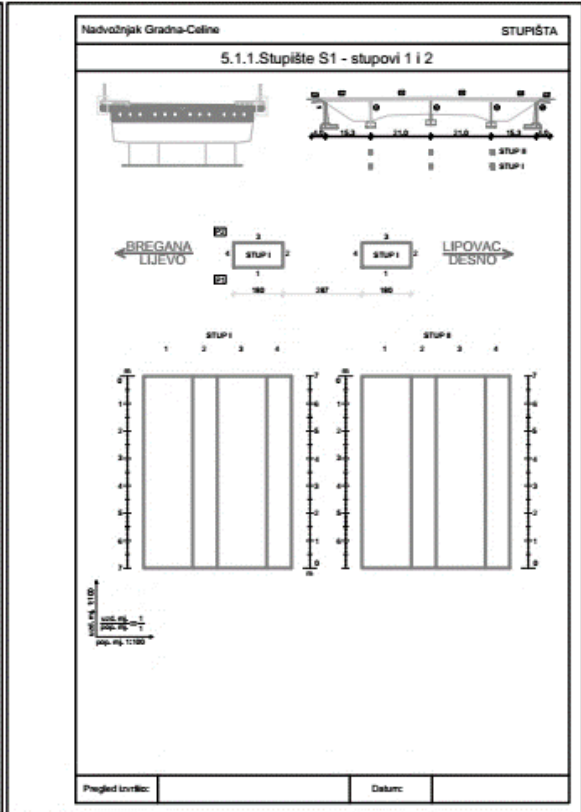
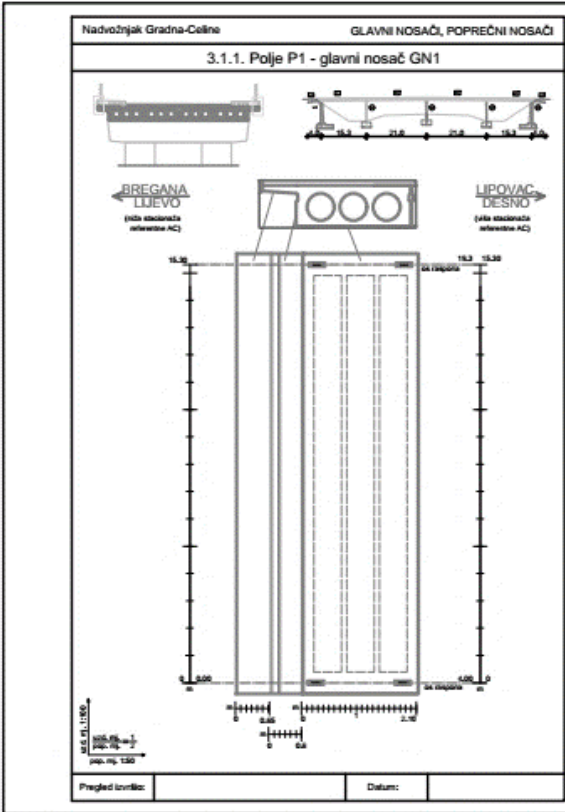


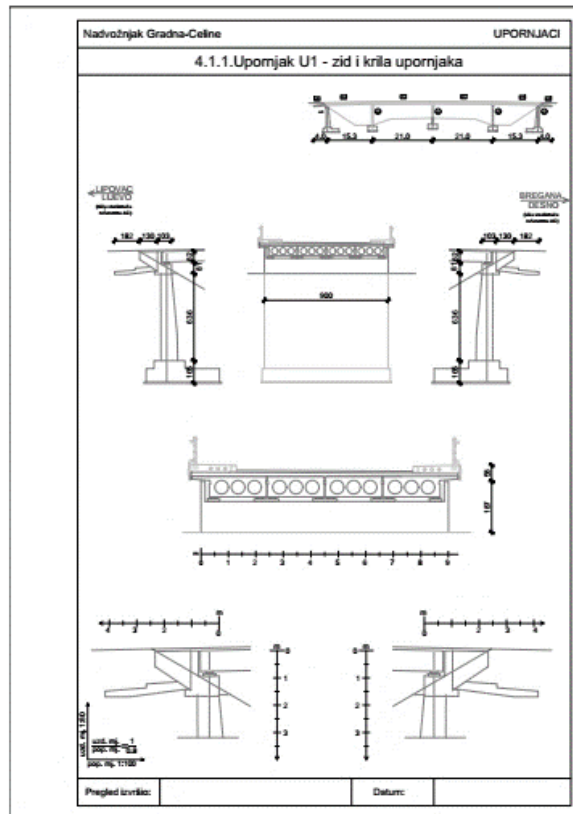
Slika 52. Poprečni presjek nadvožnjaka Gradna

5.5.2. Eksperimentalna (terenska) ispitivanja

Posljednji primjer mosta koji je obrađen u ovom radu, također je pregledan u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija od strane dvoje studenata. Po istom principu su razvijene podloge za apsolutno svaku pojedinu površinu mosta, u skladu s njihovim dimenzijama i položajem.







Slika 53. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, stupovi, naglavna greda, ležajevi, upornjak)

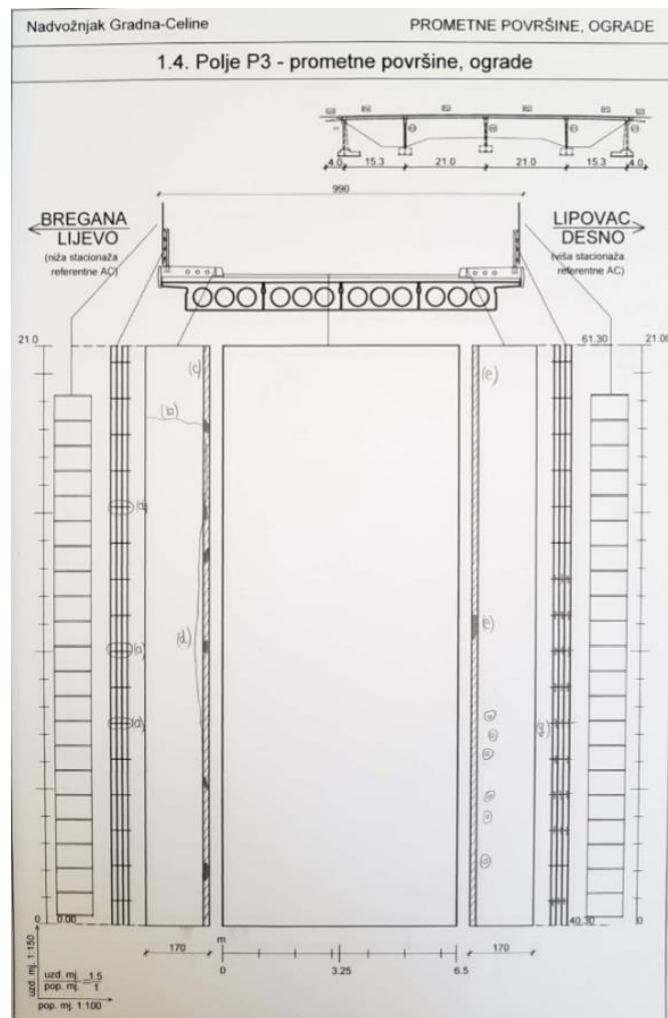
Na drugom posjetu mosta studenti su kao i svi ostali timovi tijekom posjeta odradili detaljan vizualni pregled i nerazorna ispitivanja, uz korištenje već spomenute opreme.

U podloge za preglede su ponovno ucrtana oštećenja u skladu s legendom na odgovarajuće mjesto i u odgovarajućem mjerilu, uz kratke opise i grafički prikaz, odnosno slike.

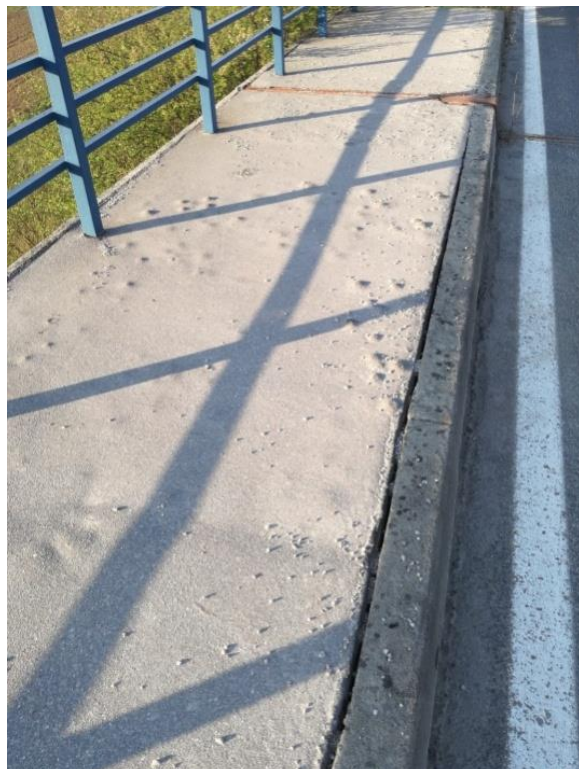
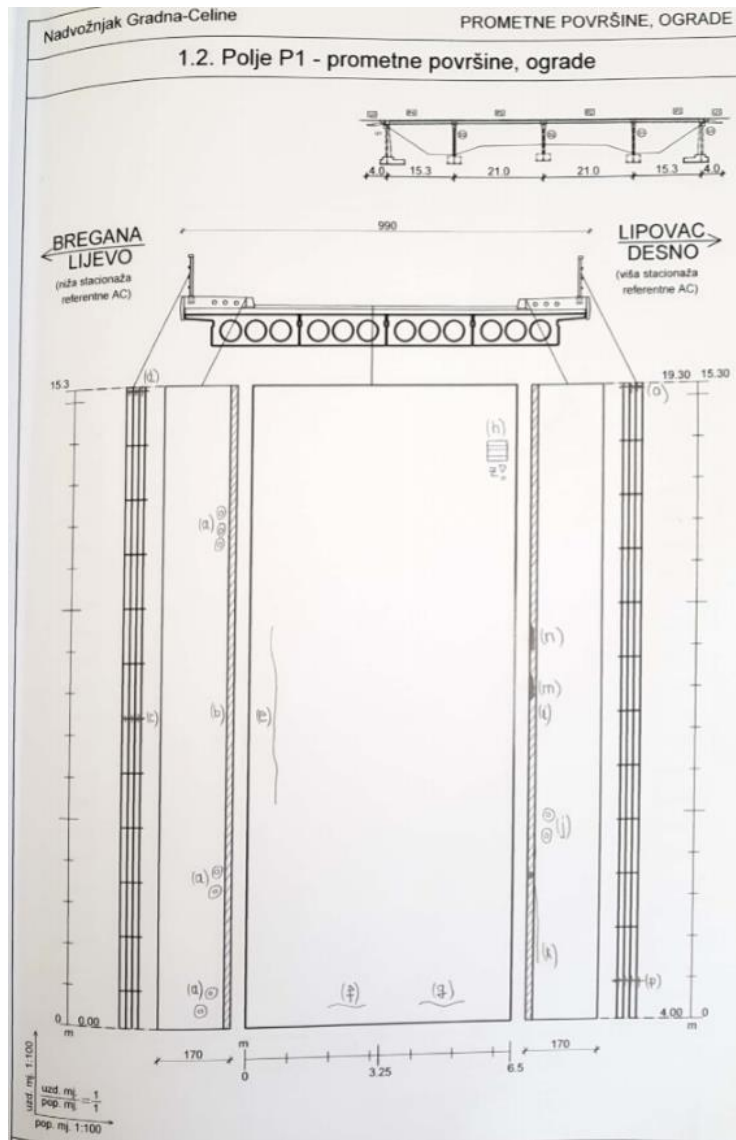
U sklopu ovoga istraživanja analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice ovoga rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.

5.5.3. Uočena oštećenja

Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.

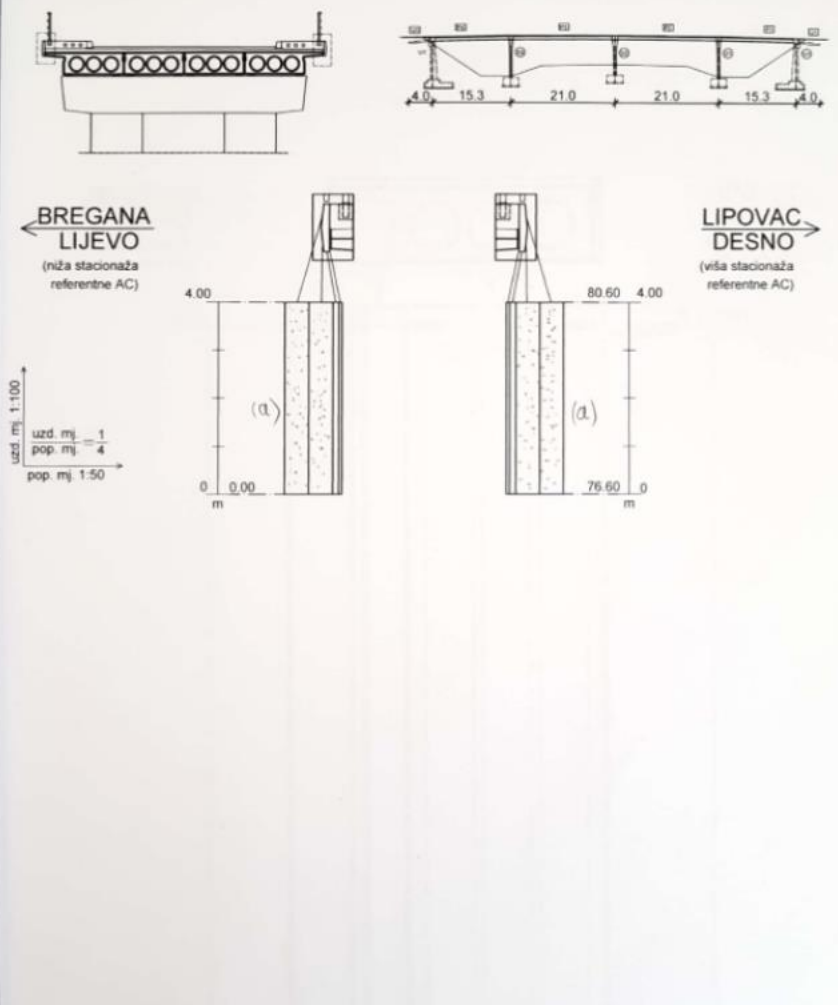


Slika 54. Korozija pješačke ograde

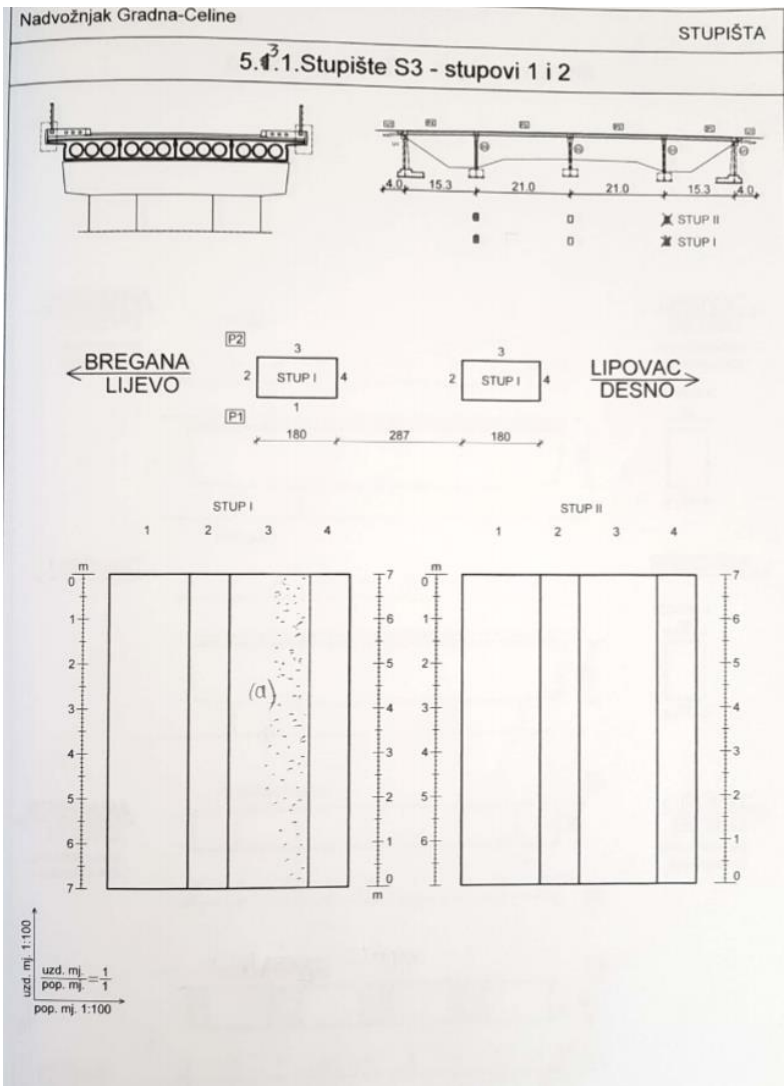


Slika 55. Klobučenje hodnika i odlamanje rubnjaka

2.6. Polje U2 - vijenac

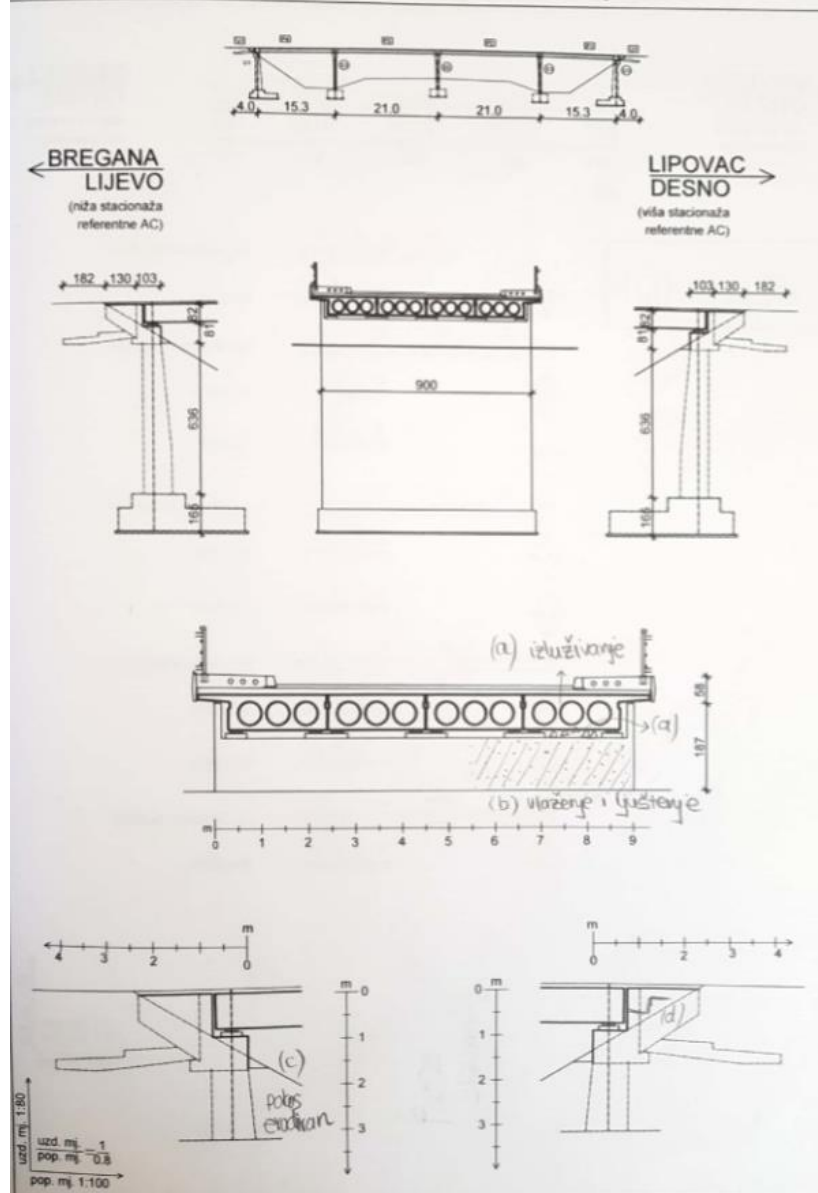


Slika 56. Vlaženje vijenca



Slika 57. Vlaženje i odlamanje zaštitnog sloja stupa

4.2.1. Upornjak U2 - zid i krila upornjaka



Slika 58. Izluživanje betona na upornjaku

5.5.4. Pokazatelji učinkovitosti

Nadvožnjak Gradna je cjelokupno gledano u vrlo dobrom stanju. Uočena su oštećenja zaštitnog sloja pješačke ograde, odnosno njeno korodiranje (slika 53.), te pukotine i odlamanje zaštitnog sloja duž područja pješačkog hodnika (slika 54.). Neznatna su oštećenja kolnika u vidu pukotina koje su prisutne u tek dva polja, te na upornjaku. Drugi upornjak ima znatno oštećenje ležaja na koji se konstrukcija oslanja, kao i mnogobrojne mrežaste i konstruktivne pukotine. Javlja se iscvjetavanje betona, procurivanje vode kroz beton i pukotine u značajnoj mjeri, te odlamanje zaštitnog sloja popraćeno korozijom armature, što čini taj upornjak najoštećenijim elementom konstrukcije mosta (slika 57.). Također, uočena su blaga začepljenja slivnika za odvodnju.

Evidentiranim oštećenjima za svaki element duž mosta dodijeljena je ocjena koja ulazi u daljnju analizu, donesena od strane ispitivača na osnovi vizualnog pregleda i nerazornih metoda. Važnost $G_{VI,i}$ se dodjeljuje oštećenju za svako polje i /ili oslonac u kojem se to oštećenje pojavljuje. Značenje pojedine ocjene prikazano je u tablici 2.

Pokazatelj ocjene oštećenja $PI_{DA,CO,av}$ na razini svake komponente određen je prema izrazu 1a. Tako je primjerice za klobučenje duž pješačkog hodnika mosta (broj oštećenih lokacija $n=8$), te zbroj ocjena oštećenja na svakoj lokaciji $\sum G_{VI,i}=16$, dobivena vrijednost:

$$PI_{DA,CO,av} = \frac{16}{8} = 2,00$$

Zatim su bitne ocjene temeljene na sljedećim pokazateljima: procjena stanja elementa $PI_{CA,CO}$, sigurnost konstrukcije $PI_{SS,CO}$, prometna sigurnost $PI_{TS,CO}$ i trajnost $PI_{D,CO}$ [16]. Vrijednost temeljena na smjernicama iz Hrvatskih autocesti je vidljiva u tablici 1 za procjenu stanja elementa, a u tablici 3. za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i trajnost. Ona predstavlja važnost pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa. Omjer maksimalne važnosti svih oštećenja $I_{D,CO,max}$ i važnosti pojedinog oštećenja predstavlja težinu oštećenja $W_{D,CO}$. Za navedene kriterije koristimo izraze 2, 3, 4 i 5, koji za navedeni primjer klobučanja poprimaju sljedeće vrijednosti:

$$PI_{CA,CO} = 2,00 \times 3/4 = 1,50$$

$$PI_{SS,CO} = 2,00 \times 2/3 = 1,33$$

$$PI_{TS,CO} = 2,00 \times 3/4 = 1,50$$

$$PI_{D,CO} = 2,00 \times 2/2 = 2,00$$

Svaki taj kriterij ima zaseban udio utjecaja na ukupnu procjenu stanja mosta, te se srednja ocjena dobivena na osnovi vizualnih pregleda množi sa tim udjelom i dobiva se konačan utjecaj pojedinih pokazatelja. Procjena stanja mosta $PI_{BCA,CO}$ dobivena je na osnovu zbroja konačnih utjecaja pokazatelja: procjene stanja elementa 30% ($W_{CA,SY}$), sigurnosti konstrukcije 30% ($W_{SS,SY}$), prometne sigurnosti 30% ($W_{TS,SY}$), i trajnosti 10% ($W_{D,SY}$) prema izrazu 6.

$$PI_{BCA,CO} = 1,50 \times 0,3 + 1,33 \times 0,3 + 1,50 \times 0,3 + 2,00 \times 0,1 = 1,70$$

Važnost mosta na razini mreže dobivena je prema 5 kriterija: kategoriji ceste G_{RC} , godišnjem prosječnom dnevnom prometu G_{AADT} , zaobilaznoj udaljenosti G_{DD} , najvećem rasponu G_{LS} , ukupnoj duljini G_{TL} [19]. Svaki od tih 5 kriterija za točno određenu situaciju ima već unaprijed određenu ocjenu vidljivu u tablici 5. (uz napomenu 2).

Nadvožnjak Gradna jedini je most na međunarodnoj cesti u blizini Gradne, te kriterij kategorije ceste nosi ocjenu 3. Godišnji prosječni dnevni promet, kao i zaobilazna udaljenost, upadaju u jednake kategorije kao i kod prethodnih mostova ($G_{AADT}=2$, $G_{DD}=3$). Kriteriji najveći raspon (21 m) nalazi se u kategoriji 20-50 m s ocjenom 3, dok je kriteriju ukupna duljina (80,6 m) dodijeljena ocjena 3, jednako kao i mostovima u Slunju, te mostu preko Korane.

Pokazatelj važnosti mosta na razini mreže $KPI_{BI,NET}$ se uzima prema težini kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}), godišnji prosječni dnevni promet 25% (W_{AADT}), zaobilazna udaljenost 25% (W_{DD}), najveći raspon 12,5% (W_{LS}) i ukupna duljina 12,5% (W_{TL}), prema izrazu 12.

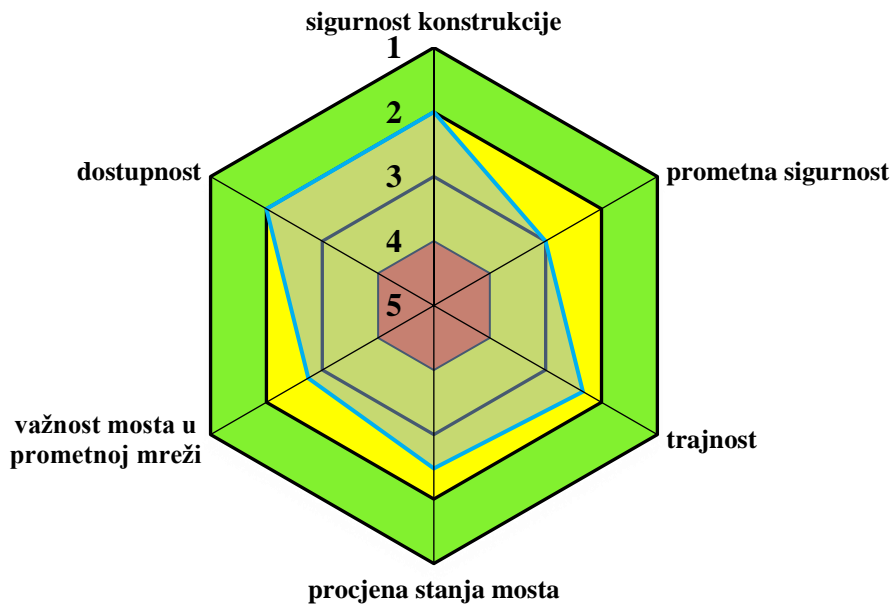
$$KPI_{BI,NET} = 3 \times 0,25 + 2 \times 0,25 + 3 \times 0,25 + 3 \times 0,125 + 3 \times 0,125 = 2,75$$

Dostupnost mosta $KPI_{AV,SY}$ ovisi o vrsti prometa koja se odvija na mostu i mogućoj propusnosti prometa. Most je kao i svi prethodni isključivo cestovni kod kojeg su obje linije u funkciji ali je promet usporen zbog oštećenja, te je na osnovu tog odabrana ocjena iz tablice 4. Pošto se radi samo o cestovnom prometu, ta ocjena $KPI_{AV,SY,road}$ se uzima sa 100% težinom $W_{SY,road}$ za dostupnost mosta, te je prema izrazu 11 dobiveno:

$$KPI_{AV,SY} = 2 \times 1 = 2$$

Na slici 58. je kao i kod prethodnih mostova grafički prikaz utjecaja oštećenja na pokazatelje učinkovitosti koji uzima u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz komponentu, sustav

i razinu mreže, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna intervencija. Na formiranje prikaza utječe 6 pokazatelja učinkovitosti: sigurnost konstrukcije ($KPI_{SS,SY}$), prometna sigurnost ($KPI_{TS,SY}$), trajnost ($KPI_{D,SY}$), procjena stanja mosta ($KPI_{BCA,SY}$), važnost mosta na razini mreže ($KPI_{BI,NET}$) i dostupnost ($KPI_{AV,SY}$). Zelena područja „pauka“ predstavljaju najpovoljniju vrijednost, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 59. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna

U tablici 11. prikazane su maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa, za 4 komponente plošnog dijagrama. Te komponente su: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji. Nadvožnjak Gradna je u usporedbi s prethodnim primjerima u najboljem stanju, odnosno konačne ocjene za svaku komponentu ne prelaze 3. No, svakako nisu zanemarive. Oštećenja upornjaka u vidu odlamanja zaštitnog sloja, curenja betona i korozije armature kritična su za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, kao i procjenu stanja mosta. Trajnost je narušena pukotinama i klobučanjem na površini kolnika.

Tablica 11. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za nadvožnjak Gradna:

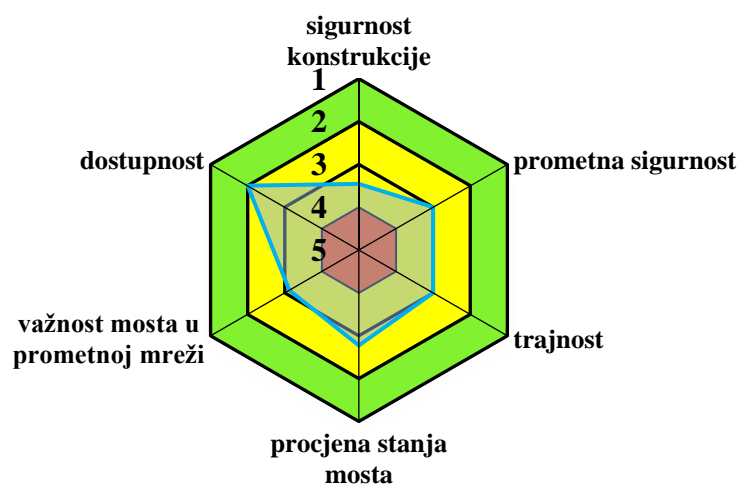
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	2,50	2,00	1,85
Kolnik	0,78	2,33	2,33	1,93
Gredna konstr.	1,50	0,38	0,75	1,05
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	2,00	2,48
Stup	1,00	0,25	0,50	0,78
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,65
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	2,00	3,00	2,33	2,48

Dodatno iz slike 59. vidi se da pokazatelj dostupnosti mosta treba biti promišljeno odabran s obzirom na očekivano i takav da se predvide samo neznatna ograničenja u prometu tijekom popravaka na upornjacima. Važnost mosta u prometnoj mreži naznačuje prioritete mjere koje treba poduzeti na tom mostu, od kojih je prva popravak zaštitnog sloja betona i zamjena armaturnih šipki zbog korozije. Tijekom spomenutih popravaka, tijekom prometa preko mosta odvijao bi se nesmetano zbog mogućnosti smještaja mehanizacije i radova u području zelenih površina oko upornjaka, što ne bi utjecalo na ocjenu dostupnosti mosta ($KPI_{AV,SY}=1$).

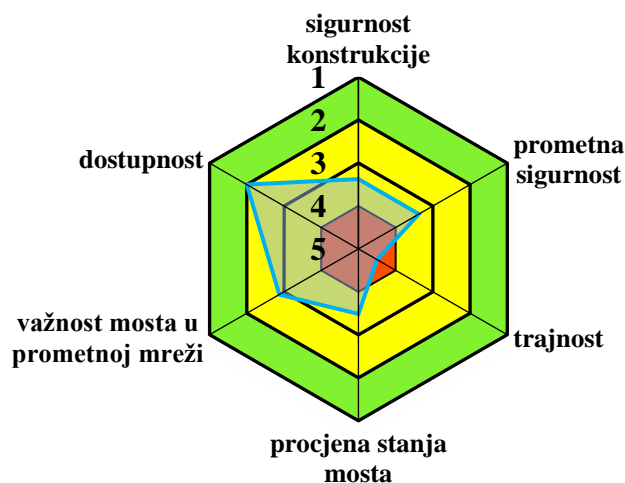
6. USPOREDNA ANALIZA I PROMIŠLJANJA O PRIORITETIMA

6.1. Grafički prikazi i pripadajuće tablice sa rezultatima za prikazane primjere

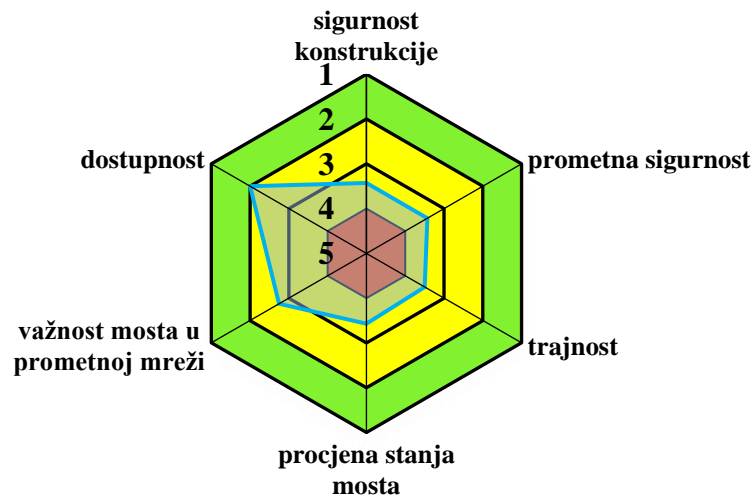
U svrhu usporedbe paralelno su prikazani rezultati analiza, odnosno dijagrami u obliku obojenog pauka (slike 18, 29, 38, 49, 59), koji uzimaju u obzir ocjene iz vizualnog pregleda i težine kroz šest najvažnijih pokazatelja učinkovitosti, te pokazuje u odnosu na koje svojstvo mosta je potrebna intervencija.



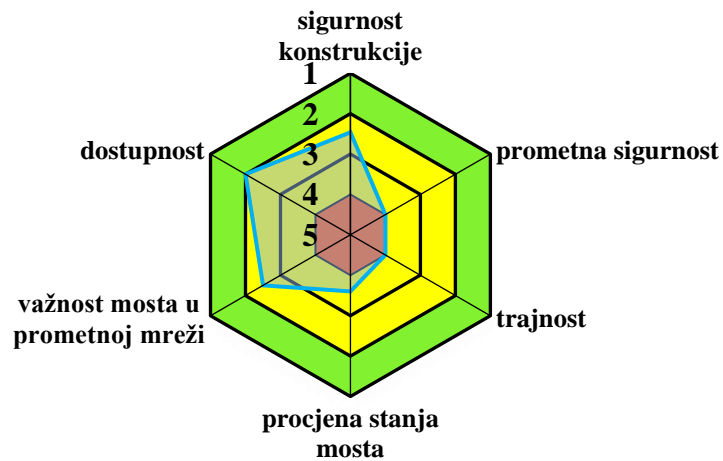
Slika 18. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta preko Slunjičice



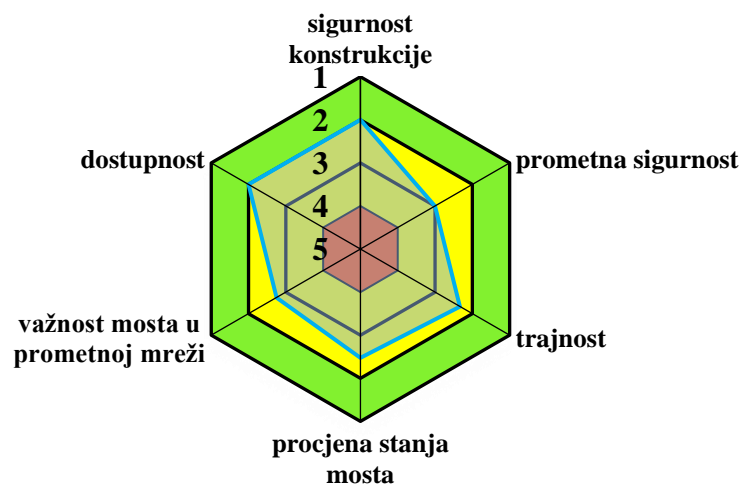
Slika 29. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju



Slika 38. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova AB mosta u Bjelovaru



Slika 49. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane



Slika 59. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna

Također, za lakšu usporedbu navedene su tablice 7, 8, 9, 10, 11 u kojima su prikazane maksimalne ocjene dobivene za pojedini dio sklopa kod prikazanih mostova, za 4 komponente plošnog dijagrama. Naznačene su maksimalne ocjene za svaku pojedinu komponentu, koje nam prikazuju koji elementi su najkritičniji.

Tablica 7. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa za primjer lučnog mosta u Slunju:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,00	2,25	3,00	2,33
Kolnik	0,69	2,08	2,08	1,72
Gredna konstr.	3,00	3,00	1,50	2,78
Lučna konstr.	3,00	0,75	1,50	2,33
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	3,45	0,86	1,73	2,68
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,50
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,45	3,00	3,00	2,78

Tablica 8. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa za primjer grednog mosta u Slunju:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	3,00	2,91	4,50	3,49
Kolnik	0,77	2,30	2,30	1,90
Gredna konstr.	3,38	3,38	1,69	3,38
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	2,43	0,61	1,21	1,34
Odvodnja	0,58	1,31	1,75	1,44
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,38	3,38	4,50	3,49

Tablica 9. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa za primjer AB mosta u Bjelovaru:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	1,50	2,00	1,70
Kolnik	1,00	3,00	3,00	2,48
Gredna konstr.	3,43	3,43	1,71	3,43
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	3,50	2,63
Stup	3,00	0,75	1,50	1,65
Odvodnja	0,00	0,00	0,00	0,00
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	3,43	3,43	3,50	3,43

Tablica 10. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa za primjer lučnog mosta preko Korane:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,10	2,36	3,14	2,67
Kolnik	1,33	4,00	4,00	3,60
Gredna konstr.	2,46	0,62	1,23	1,91
Lučna konstr.	2,00	0,50	1,00	1,55
Upornjak	2,00	3,00	1,50	2,70
Stup	2,27	0,57	1,14	1,55
Odvodnja	1,17	2,63	3,50	2,89
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	2,46	4,00	4,00	3,60

Tablica 11. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa za primjer nadvožnjaka Gradna:

Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	2,50	2,00	1,85
Kolnik	0,78	2,33	2,33	1,93
Gredna konstr.	1,50	0,38	0,75	1,05
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	2,00	2,48
Stup	1,00	0,25	0,50	0,78
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,65
Sustav	KPI _{SS,SY}	KPI _{TS,SY}	KPI _{D,SY}	KPI _{BCA,SY}
Most	2,00	3,00	2,33	2,48

6.2. Usporedna analiza pridruženih grafičkih prikaza i tablica

Usporedba je započeta analizom pojedinačnih pokazatelja na grafičkim prikazima stanja mostova i pripadajućim tablicama sa dijelovima sklopova, te zatim završnim osvrtom na ukupnu ocjenu stanja mostova.

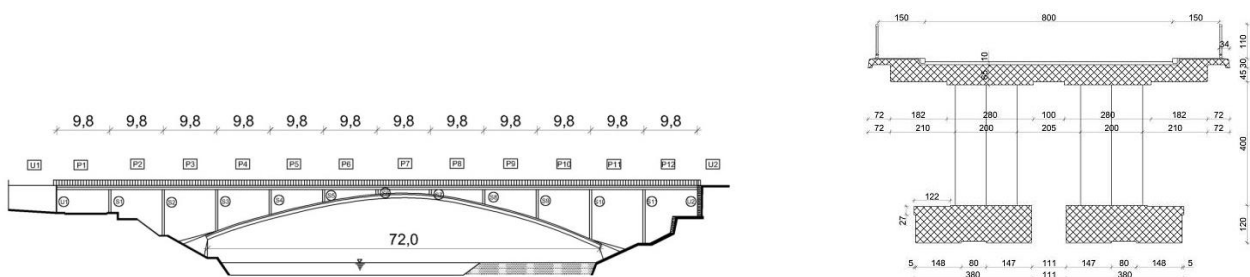
Promatrajući sigurnost konstrukcije najlošije je ocijenjen lučni most u Slunju sa $KPI_{ss,SY}=3,45$ zbog vrlo prisutnih jasnih znakova korozije armaturnog čelika na stupovima. Zatim slijedi AB most u Bjelovaru sa $KPI_{ss,SY}=3,43$ zbog odlamanja betona i korozije armaturnog čelika na ploči mosta. Gredni most u Slunju sa oštećenjima na grednoj konstrukciji, u vidu odlamanja zaštitnog sloja, korozije armature te iscvjetavanja betona ima pokazatelj sigurnosti konstrukcije $KPI_{ss,SY}=3,38$. Sljedeći je lučni most preko Korane sa pokazateljem $KPI_{ss,SY}=2,46$ uslijed korozije glavnih nosača. Najpovoljnije stanje je kod nadvožnjaka Gradna sa $KPI_{ss,SY}=2,00$ zbog blagog odlamanja zaštitnog sloja na upornjacima te procurivanja vode kroz beton.

Ugroženost prometne sigurnosti naglašena je kod lučnog mosta preko Korane koji ima vrlo visoku vrijednost pokazatelja prometne sigurnosti ($KPI_{TS,SY}=4,00$) zbog pretjeranog nakupljanja prljavštine i curenja na dilataciji mosta, te AB mosta u Bjelovaru ($KPI_{TS,SY}=3,43$) zbog odlamanja betona i korozije armaturnog čelika na ploči mosta koji ujedno narušavaju i već spomenutu sigurnost konstrukcije. Gredni most u Slunju ima istu vrijednost za prometnu sigurnost kao i za sigurnost konstrukcije ($KPI_{TS,SY}=3,38$) uzrokovanu istim oštećenjima na grednoj konstrukciji. Nadvožnjak Gradna i lučnom mostu u Slunju dodijeljen je pokazatelj prometne sigurnosti $KPI_{TS,SY}=3,00$, pri čemu je za nadvožnjak naglašeno odlamanje zaštitnog sloja na upornjacima i procurivanje vode kroz beton, a kod lučnog mosta iscvjetavanje betona na ploči.

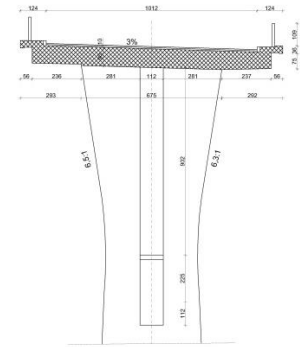
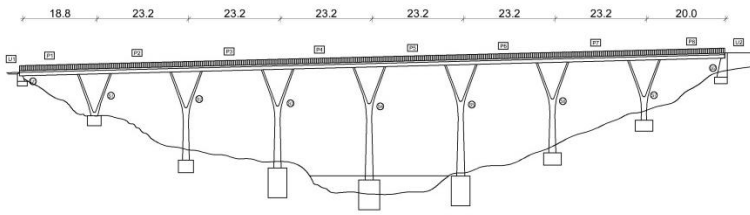
Pokazatelj trajnosnih problema kod grednog mosta u Slunju nosi najkritičniju ocjenu, ($KPI_{D,SY}=4,50$) zbog odlamanja zaštitnog sloja i korozije armature duž čitavog vijenca mosta. Sa pokazateljem ugrožene trajnosti $KPI_{D,SY}=4,00$ sljedeći je lučni most preko Korane uslijed nakupljanja prljavštine i curenja na dilataciji mosta. Slijedi AB most u Bjelovaru sa vrlo nepovoljnim pokazateljem trajnosnih svojstava $KPI_{D,SY}=3,50$ a koji je uzrokovan erozijom tla na upornjaku. Lučni most u Slunju ima mrežaste pukotine na hodniku koje rezultiraju nešto povoljnijim pokazateljem trajnosnih svojstava $KPI_{D,SY}=3,00$. Najbolje ocijenjen u pogledu trajnosnih svojstava je nadvožnjak Gradna ($KPI_{D,SY}=2,33$) zbog mjestimičnih pukotina u asfaltu na kolniku.

Cjelokupna cjenovna stanja mosta najkritičnija je za lučni most preko Korane ($KPI_{BCA,SY}=3,60$) čemu najviše doprinose oštećenja na dilataciji odnosno prijelaznoj napravi. Gredni most u Slunju nosi cjelokupnu ocjenu stanja $KPI_{BCA,SY}=3,49$ uzrokovanu poglavito velikim oštećenjima duž cijelog vijenca mosta. Vrlo blisku vrijednost ima i AB most u Bjelovaru ($KPI_{BCA,SY}=3,43$) pri čemu je njegov najveći problem odlamanje betona i korozija armaturnog čelika na ploči mosta. Lučni most u Slunju zbog iscvjetavanja po čitavoj ploči ima $KPI_{BCA,SY}=2,78$. Kako u pogledu sigurnosti konstrukcije te trajnosti, nadvožnjak Gradna ima i najpovoljniju cjelokupnu ocjenu stanja mosta sa vrijednosti $KPI_{BCA,SY}=2,48$, no unatoč tome njen utjecaj nije zanemariv i dobivena je prvenstveno učincima oštećenja na upornjacima.

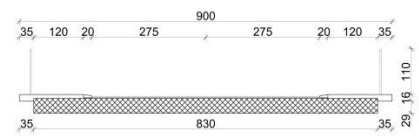
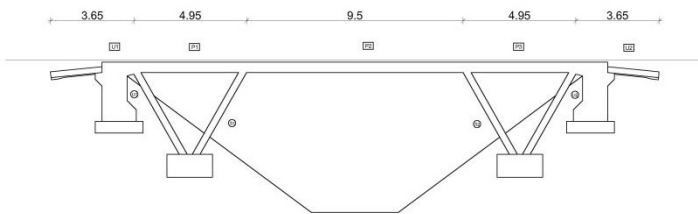
Promatrajući pojedinačne kriterije za ocjenu važnosti mosta na razini mreže, kriterij najveći raspon koji ovise o dispozicijama prikazanim na slikama 59, 60, 61, 62 i 63 isti je za nadvožnjak Gradna i lučni most preko Korane (20-50 m), te Gredni most u Slunju i AB most u Bjelovaru (5-20 m), a lučni most u Slunju ima najveći raspon čija vrijednost spada u raspon od 50-100 m. Gledajući ukupnu duljinu mosta razlikuje se AB most u Bjelovaru sa vrijednosti od 20-80 m, dok svi ostali mostovi spadaju u kategoriju 80-200 m. Lokacija mosta ima velik utjecaj na cestovnu kategoriju, godišnji prosječni dnevni promet i zaobilaznu udaljenost. Dio državne ceste su lučni i gredni most u Slunju te AB most u Bjelovaru, na međudržavnoj cesti se nalazi nadvožnjak Gradna dok je lučni most preko Korane dio lokalne ceste, te se prema tome i razlikuju vrijednosti prethodno navedena 3 kriterija. Uzimajući u obzir sve navedene kriterije konačne ocjene za važnost pojedinog mosta na razini mreže su sljedeće: lučni most u Slunju $KPI_{BI,NET}=3,13$, gredni most u Slunju $KPI_{BI,NET}=2,88$, AB most u Bjelovaru i nadvožnjak Gradna $KPI_{BI,NET}=2,75$ i lučni most preko Korane $KPI_{BI,NET}=2,50$.



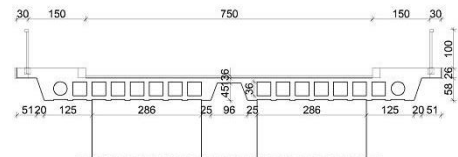
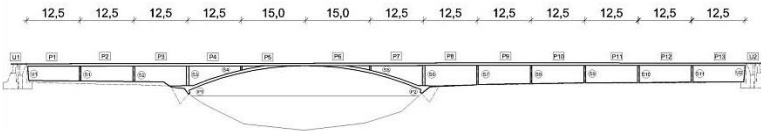
Slika 60. Lučni most Slunju: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



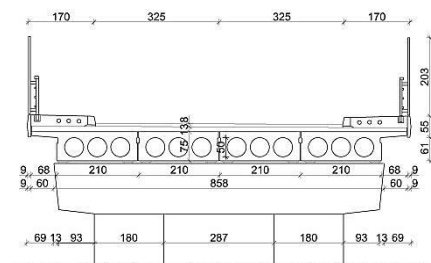
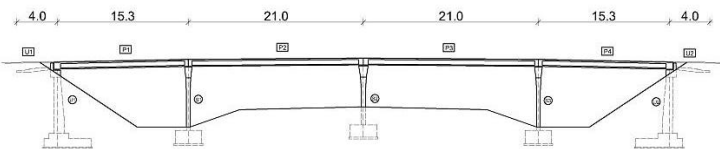
Slika 61. Gredni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 62. AB most u Bjelovaru: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 63. Lučni most preko Korane: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 64. Nadvožnjak Gradna: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)

Pokazatelj dostupnosti mosta na razini mreže definira se razmatrajući mjere ograničenja prometa koje su potrebne s obzirom na trenutno stanje mosta, odnosno stanje mosta uslijed popravaka dijelova koji su najlošije ocjenjeni. Trenutno dostupnost ima vrijednost $KPI_{AV,SY}=2,00$ kod svih mostova jer je tijek prometa usporen uslijed premošćivanja mosta zbog oštećenog asfalta, ali obje prometne trake su u funkciji. U slučaju spomenutih mjera održavanja u budućnosti, za Lučne mostove preko Slunjčice i Korane te armiranobetonski most u Bjelovaru dostupnost mosta ostala bi nepromijenjena, dok bi za gredni most u Slunju i nadvožnjak Gradna poprimila goru ocjenu.

Zaključno, nakon istraživanja u sklopu ovog rada i poznavajući najbitnije stavke za funkcioniranje mosta u mreži na studentskoj razini ali ne poznavajući troškove pojedinih zahvata, predloženo je sljedeće rangiranje prioriteta.

Prvi na redu za radove održavanja bio bi lučni most preko Korane koji zahtjeva hitnu intervenciju na obje prijelazne naprave, tj. njihovu potpunu zamjenu i oblaganje hidroizolacijskim materijalima. Zatečeno stanje prijelaznih naprava ukazuje na njihovo neispravno funkcioniranje i ugroženu sigurnost korisnika mosta, što može uzrokovati velike probleme prilikom prometovanja preko mosta ukoliko se pravovremeno ne pristupi popravcima. Slijedi gredni most u Slunju, odnosno hitna zamjena oronulog vijenca duž obje strane mosta, koji narušava trajnosne aspekte s gotovo maksimalnom ocjenom. S obzirom na zatečeno stanje, radovima i mjerama održavanja na spomenutim mostovima može se pristupiti odmah. AB most u Bjelovaru treći je pri rangiranju prioriteta zbog višegodišnjeg djelovanja vremenskih neprilika koje su uzrokovale znatnu eroziju nasipa na upornjacima. Napredak erozije mogao bi dovesti do znatnih poteškoća vezanih ne samo za konstrukciju donjeg ustroja mosta, već i za željezničku trasu koja prolazi podno mosta. Stanje preostalih pokaznih primjera mostova nije alarmantno kao kod prethodno navedenih. Najprije bi se pristupilo popravku stupova lučnog mosta preko Slunjčice, čiji nedovoljan zaštitni sloj, odlamanje betona i korozija armature uzrokuju smanjenje sigurnosti konstrukcije. Na posljednjem mjestu liste prioriteta nalazi se nadvožnjak Gradna za koji se u budućnosti kao primarni popravak planira zamjena betonske obloge upornjaka i armaturnih šipki.

7. ZAKLJUČAK, DOPRINOS RADA I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Nakon što je na temelju istraživanja stanja područja u ocjenjivanju i održavanju mostova postavljena hipoteza ovoga istraživanja: *"Ključni indikatori učinkovitosti mosta: (i) ocjena cjelokupnog stanja mosta, (ii) sigurnost konstrukcije, (iii) sigurnost prometa, (iv) ocjena trajnosti, (v) dostupnost i (vi) važnost mosta; dobiveni na temelju rezultata vizualnog ispitivanja mosta te kvantificirani od razine elementa, preko razine sustava do razine cjelokupne mreže, predstavljaju vrijednu ocjenu za rangiranje prioriteta u daljnjem održavanju mostova"*, krenulo se u ostvarivanje ciljeva rada.

Na temelju prikupljenih saznanja o ocjenjivanju mostova u praksi izdvojeni su pokazatelji oštećenja (npr. pukotine, odlamanje zaštitnog sloja betona, deformacija,...) vezani uz pojedine komponente mosta (npr. kolnik kao dio površine po kojoj se odvija promet, glavni nosači i kolnička ploča kao dio glavne nosive konstrukcije mosta i stup ili zid upornjaka kao dio donjeg ustroja mosta). Oštećenjima se dodjeljuju prikladne maksimalne važnosti povezane s funkcionalnošću odgovarajuće komponente mosta. Na razini komponente se uspostavlja pokazatelj oštećenja svake komponente koji se, uzimajući važnost tog oštećenja za tu komponentu, podiže na razinu ocjene stanja cijelog elementa. Nadalje se na razini svakog elementa proračunavaju pokazatelji (a) sigurnosti konstrukcije, (b) prometne sigurnosti i (c) trajnosti mosta.

Slijedi prijelaz s razine komponente / elementa mosta na razinu cjelokupnog sustava pravilno vrednujući svaki pojedini pokazatelj na razini elementa. Vrednovanje se temelji na prikupljenom iskustvu iz prakse u obradi stanja područja u održavanju mostova: opće stanje 30%, sigurnost konstrukcije 30%, trajnost 20% i prometna sigurnost 30 %.

Na razini sustava, na temelju najlošijih ocjena pojedinih komponenti, ocjenjuju se ključni pokazatelji učinkovitosti mosta: (i) pokazatelj sigurnosti konstrukcije mosta, (ii) pokazatelj prometne sigurnosti mosta, (iii) pokazatelj trajnosnih problema mosta te (iv) pokazatelj cjelokupnog stanja mosta.

Dodatno se definira (v) pokazatelj dostupnosti na razini mreže, razmatrajući mjere ograničenja prometa koje bi bile potrebne s obzirom na ocjenjeno stanje mosta.

I konačno, (vi) pokazatelj važnosti mosta u cjelokupnoj mreži temelji se na kriterijima: (a) kategorije ceste koju most prevodi, (b) prosječnog godišnjeg dnevnog prometa, (c) udaljenosti zaobilaska, (d) najduljeg raspona i (e) ukupne duljine mosta.

Kroz sve spomenute korake uspostavljala se poveznica između ocjenjivanja mostova vizualnim pregledom koje se provodi u praksi i ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova definiranih na temelju istraživanja u sklopu europske akcije posvećene kontroli kvalitete cestovnih mostova na europskoj razini.

Na temelju dostupnih podataka izdvojeno je šest (i –vi) navedenih ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta te je razvijen postupak ocjenjivanja učinkovitosti za rangiranje prioriteta u održavanju mostova. Postupak rezultira grafičkim i tabličnim preglednim prikazom pokazatelja učinkovitosti mosta koji se vrlo jasno i djelotvorno mogu primijeniti u rangiranju prioriteta za aktivnosti održavanja dijelova pojedinog mosta, ali što je i važnije između pojedinih mostova u sklopu cjelokupne mreže upitnih mostova.

Cijeli postupak je primijenjen i potvrđen na nekoliko stvarnih različitih mostova koji predstavljaju skupinu unutar koje su otkriveni prioriteti daljnjeg postupanja.

Ovaj se primjer primjene na setu od pet mostova može prilagoditi grupi mostova na određenoj dionici ceste ili određenom području kojim upravlja odgovarajući upravitelj.

Izvorni doprinos ovoga rada je kombiniranje stvarnih postupaka u hrvatskoj praksi ocjenjivanja mostova sa teoretski postavljenom sistematizacijom ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova, dobivenom na temelju istraživanja na europskoj razini, u jedinstveni postupak ocjenjivanja mostova za rangiranje prioriteta.

Moguća su daljnja dva smjera istraživanja koja bi se u konačnici mogla povezati u jedinstven cjelokupni postupak održavanja i gospodarenja mostovima na europskoj razini.

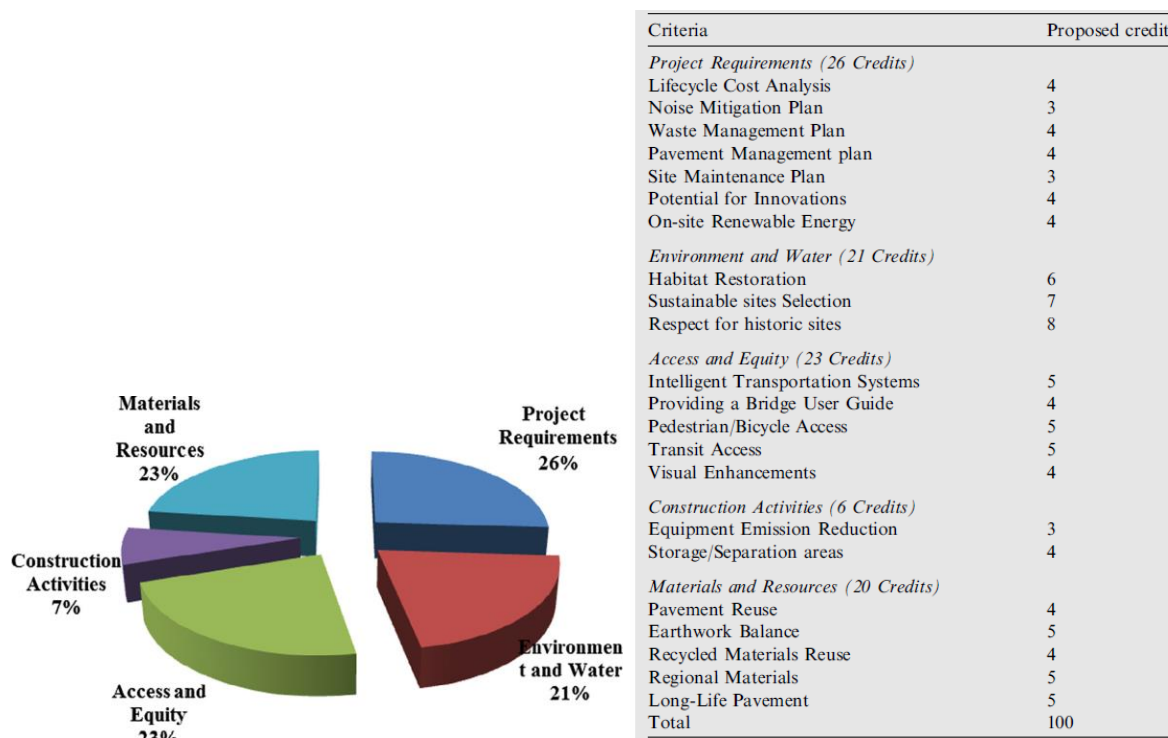
Jedno je istraživanje koje se posvećuje pokazateljima održivosti mostova, uzimajući u obzir utjecaj konstrukcije na okoliš i utjecaj klimatskih promjena na samu konstrukciju, a koje je kratko najavljeno u poglavlju 7.1 .

Drugo istraživanje, koje bi pratilo razvoj ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova u vremenu, podiglo bi, za sada vremenski jednodimenzionalni rezultat, na čitav vijek uporabe konstrukcije kao što ukazuje naznačeno u poglavlju 7.2.

7.1. Općenito o istraživanju utjecaja konstrukcije na okoliš

Posljednjih desetljeća pitanja iz zaštite okoliša u sektoru graditeljstva privukla su pozornost i javnosti i vlasti. Izgradnja mostova je odgovorna za znatnu količinu potrošnje energije i sirovina. Međutim današnji mostovi još uvijek su uglavnom projektirani u cilju zadovoljavanja ekonomskih, tehničkih i sigurnosnih kriterija, dok se razmatranja njihove ekološke učinkovitosti rijetko integriraju u odluke u procesima projektiranja, izgradnje i održavanja [24]. U nastavku su navedeni pojedini pristupi koji pokušavaju ujediniti tehničke, okolišne i društvene pokazatelje učinkovitosti.

Pravilan razvoj i učinkovitost infrastrukturnih projekata, prvenstveno mostova i autocesta, mogu značajno doprinijeti održivom razvoju, kao i razvoju tzv. "zelenog sustava ocjenjivanja mosta", što se nastoji ostvariti kroz različite pristupe [25].



Slika 65. Primjer ocjena u sklopu rangiranja "zelenih mostova" [25]

Procjena životnog ciklusa (*eng. Life Cycle Analysis, LCA*) je sveobuhvatan, standardiziran i međunarodno priznat pristup za kvantificiranje svih emisija, potrošnje resursa i utjecaja na okoliš i zdravlje povezanih sa uslugom, imovinom ili proizvodom. Procjena životnog ciklusa do sada je rijetko proučavana na mostovima. Cjelokupni cilj suvremenih istraživanja je implementacija LCA na most, tako da ga na kraju integriraju u proces donošenja odluka za ublažavanje negativnih učinaka na okoliš već u ranoj fazi [24].

Sve do nedavno nije postojao definirani način izračuna otiska ugljika (*eng. carbon footprint*) konstrukcija. Iako su mnogi radovi napisani o toj temi, oni imaju tendenciju koristiti različite izvore podataka i pretpostavke za kvantificiranje ovoga pokazatelja. Stoga neke tvrtke u suradnji s istraživačima pokušavaju razviti jednostavne alate kojima bi se dobro aproksimirao učinak CO₂ pri izgradnji i održavanju mostova. [26].

I kroz spomenutu Cost akciju TU 1406 [27] te buduće projekte proizašle iz ove akcije nastojat će se povećati znanja u cilju kvantificiranja ne samo tehničkih, već i okolišnih i društvenih pokazatelje učinkovitosti mostova.

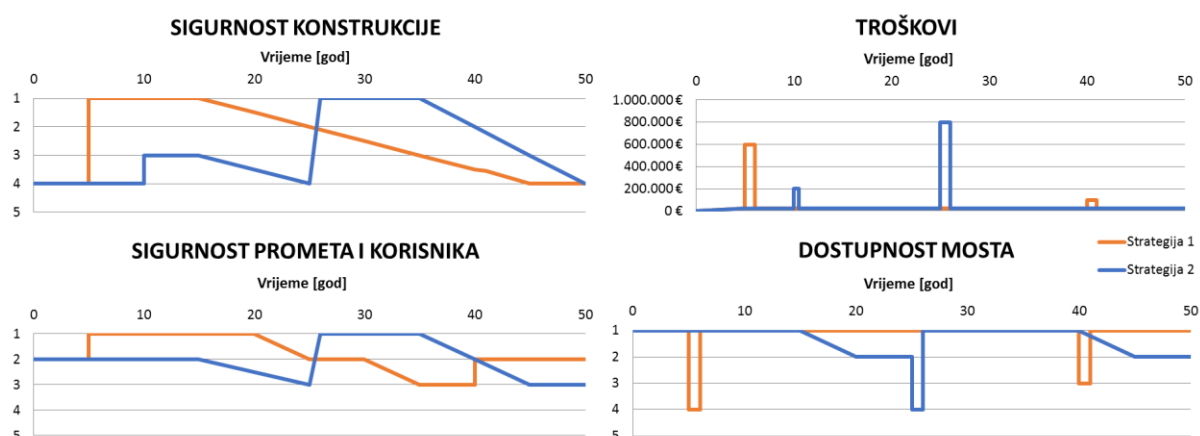
Cjelovita analiza u kojoj se nastoje otkriti odnosi između troškova i emisije CO₂ u projektiranju betonskih konstrukcija uprabom BIM (*eng. Bridge Information Modelling*) sustava sugerira da način gradnje može utjecati na optimalan odnos ovih parametara [28].

7.2. Ključni pokazatelji učinkovitosti mosta kroz preostali uporabni vijek

Na primjeru koji je razrađen u sklopu škole za mlade inženjere i znanstvenike u sklopu spomenute europske akcije [29] (a u kojoj je sudjelovao naš asistent iz područja Mostova) temelji se ideja za daljnje istraživanje u pogledu proučavanja promjena ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz preostali vijek trajanja, uvažavajući različite strategije održavanja.

Na slici su prikazani rezultati za prednapeti betonski most, na kojem je nakon vizualnog pregleda utvrđeno sljedeće:

- da nema ograničenja u korištenju mosta, te je dostupnost ocijenjena s 1,
- da je sigurnost korisnika dobra te je ocijenjena s 2,
- najlošije je ocijenjena sigurnost konstrukcije, sa ukupnom ocjenom 4, uslijed velikih oštećenja na ležajnoj gredi upornjaka, zbog kojih postoji rizik padanja ležajeva te sloma cijelog mosta.



Slika 66. Primjer promatranja nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme

Strategijom 1 predviđena su velika ulaganja u popravak već u petoj godini nakon pregleda, čime se ocjena sigurnosti konstrukcije podiže s 4 na najbolju ocjenu 1, odnosno ocjena sigurnosti prometa s ocjene 2 na ocjenu 1. U skladu s radovima na mostu dostupnost se smanjuje te je ocijenjena s 4 u godini popravka. Nakon deset godina od popravka predviđa se pojavljivanje prvih pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjene sigurnosti samog mosta, a kroz petnaest i pokazatelja opadanja sigurnosti korisnika. Ovakav pristup naziva se još i referentnom ili preventivnom strategijom održavanja.

Kod strategije 2 predviđeno je manje ulaganje u popravak mosta nakon deset godina, čime se ocjena sigurnosti konstrukcije na kratko vrijeme podiže s 4 na 3, ali predviđa se da će već nakon pet godina doći do opadanja sigurnosti konstrukcije, kao i njenih korisnika. Veće

ulaganje u popravak mosta, koje je u referentnoj strategiji obavljeno već nakon 5 godina, na ovaj se način odgađa tek za 25-u godinu od trenutka pregleda, nakon koje su i sigurnost konstrukcije i sigurnost korisnika dovedene do optimalne vrijednosti. Ovakav pristup naziva se još i strategija redovnog održavanja, u kojoj je cilj što duže odgoditi veći zahvat koji bi utjecao na dostupnost mosta.

8. LITERATURA

- [1] Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST Action TU1406 (quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level)
- [2] COST Action TU 1406 2016c. An overview of Key Performance Indicators across Europe and Overseas, eBook of the 2nd Workshop Meeting, Belgrade, March 30th – April 1st 2016, Editors: J.C. Matos, J. R. Casas, R. Hajdin, S. Mašović, N. Tanasić, A. Strauss, I. Stipanović Oslakovic.
- [3] COST Action TU 1406 2016d. Bridge performance goals and quality control plans, eBook of the 3rd Workshop Meeting, Delft, 20 – 21 October 2016, Editors: I. Stipanovic Oslakovic, G. Klanker, J.C. Matos, J.R. Casas, R. Hajdin.
- [4] Alfred Strauss, Ana Mandić Ivanković, Jose Campos e Matos, Joan Ramon Casas: Performance indicators for road bridges - overview of findings and future progress, proceedings of the Joint COST TU1402 – COST TU1406 – IABSE WC1 Workshop "The Value of Structural Health Monitoring for the reliable Bridge Management", Zagreb, Croatia, 02-03 March 2017, pg. 3.1-1 – 3.1-6
- [5] COST Action TU 1406 2016a. Performance Indicators for Roadway Bridges, Technical report of the Working group 1: Performance indicators, Editors/Autors: Strauss A., Mandić Ivanković A.
- [6] COST Action TU 1406 2016b. European database of Performance Indicators for Roadway Bridges, Pen drive attached to Technical report of the Working group 1: Performance indicators.
- [7] Strauss, Alfred; Mandić Ivanković, Ana; Mold, Lisa; Bergmeister, Konrad; Matos, Jose Campos; Casas, Joan Ramon. Performance-Indikatoren für die Bewertung von Strukturen aus Konstruktionsbeton auf europäischer Ebene nach COST TU1406. // Bautechnik (Berlin, West. 1984). 95 (2018) , 2; 123-138
- [8] Ana Mandić Ivanković i Marija Kušter Marić: Predavanja i vježbe iz predmeta Trajnost konstrukcija 1, Građevinski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu 2017.

- [9] Hrvatske ceste d.o.o.2014: Priručnik oštećenja po dijelovima mostova
- [10] Croatian highways ltd. 2010. Guideline for bridge evaluation. Hrvatske autoceste d.o.o. 2010. Msjernice za ocjenjivanje mostova
- [11] Hrvatske autoceste d.o.o. 2008: Planiranje upravljanja mostovima
- [12] Hrvatske autoceste d.o.o. 2010: Priručnik oštećenja po djelovima mostova
- [13] COST action TU1406, <http://www.tu1406.eu/> pristup 21. travanj 2018
- [14] Ana Mandic Ivankovic, Alfred Strauss, Marija Kuster Maric: Extracting performance indicators for arch bridge assessment, Proceedings of the 1st International Conference CoMS_2017 Construction materials for sustainable future, Zadar, Croatia, 19 - 21 April 2017, pg 621-628
- [15] A. Mandić Ivanković, M. Srbić, J. Radić: Performance indicators in assessment of concrete arch bridges (2016), Proceedings of the 8th international conference on bridge maintenance, safety and management (IABMAS 2016), Foz do Iguaçu, Brazil 26-30 June 2016, pg 301+ cd
- [16] DIN 1076- 1999 Deutsches Institut für Normung – njemački nacionalni standard
- [17] Bleiziffer, J.; Juric, S.; Kuvačić, B. 2012. Current developments in asset management system for Croatian motorways. in 8th central European Congress on Concrete Engineering: Durability of concrete structures. 4-6 September 2012, Plitvice Lakes, Croatia.
- [18] Training School - Prague Training School on Bridge Quality Control, 25 – 28 September 2017, Faculty of Civil Engineering CTU in Prague Prague, Czech Republic
- [19] Kuvačić, B.; Jurić, S. 2005. Bridge Management system – determining and monitoring of the bridge condition and defining priorities and maintenance costs (in Croatian). Ceste i mostovi 51(1-3): 24-30.

- [20] Strauss A., Mandić Ivanković A. (2016). Performance indicators for road bridges – categorization overview. E-book of the 2nd Workshop meeting meeting of COST action TU1406 Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level, 30th March -1st April, 2016, Belgrade, Serbia
- [21] Jure Radić, Ana Mandić, Goran Puž »Konstruiranje mostova« Hrvatska sveučilišna naknada, Zagreb, 2005.
- [22] Jure Radić »Masivni mostovi« Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb , 2007.
- [23] Jure Radić »Uvod u mostarstvo« Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb , 2009.
- [24] Guangli Du 2015. Life cycle assessment of bridges, model development and case studies, doktorska disertacija, KTH Architecture and the Built Environment, 2015.
- [25] Mohamed Marzouk; Ahmed Nouh; Moheeb El-Said 2013. Developing green bridge rating system using Simos' procedure, HBRC Journal (2014) 10, 176–182
- [26] Bridge carbon calculator, https://www.steelconstruction.info/images/e/e9/NSC_Article_February_2011.pdf/pristup 21. travanj 2018
- [27] COST Action TU 1406 2016. Scientific Report on Short Term Scientific Mission, October 3th- December 1th 2016, Mariano Angelo Zanini
- [28] S. Eleftheriadis; P. Duffour; P. Greening; J. James; B. Stephenson; D. Mumovic 2018. Investigating relationships between cost and CO2 emissions in reinforced concrete structures using a BIM-based design optimisation approach
- [29] Skokandić D. et al., Report for the Prestressed Concrete Bridge, In report of COST TU1406 Training School on Bridge Quality Control, Prague, 2017.

9. POPIS SLIKA I TABLICA

9.1. Popis slika

Slika 1. Most <i>Silver</i> , Point Pleasant, Ohio, SAD.....	1
Slika 2. Međudjelovanje pojedinih indikatora, ciljeva i težinskih parametara [1] [2].....	5
Slika 3. Kritični presjeci prikazani kao lokacije za vizualni pregled primjera lučnog mosta...10	
Slika 4. Primjer odnosa važnosti oštećenja odgovarajuće komponente i važnosti komponente za prometnu sigurnost, (os x oštećenje odgovarajuće komponente, os y prometna sigurnost).....	14
Slika 5. Primjer učešća (težina) pojedinih kriterija za rangiranje prioriteta [4], [15]	17
Slika 6. Primjer grafičkog prikaza šest najvažnijih KPI-ova mosta: ključni pokazatelj sigurnosti konstrukcije, ključni pokazatelj prometne sigurnosti, ključni pokazatelj trajnosnih aspekata, ključni pokazatelj općeg stanja mosta, ključni pokazatelj važnosti mosta u prometnoj mreži i ključni pokazatelj raspoloživosti mosta tijekom radova na mostu.....	19
Slika 7. Tablični prikaz najvećeg utjecaja pojedinačnih dijelova na ukupne KPI-ove mosta.....	20
Slika 8. Primjeri razvijenih ploha mosta: gornje plohe, stup, upornjak.....	23
Slika 9. Legenda oštećenja.....	24
Slika 10. Primjeri podloga sa ucrtanim oštećenjima za lučni most u Slunju.....	25
Slika 11. Prikaz lokacije mosta preko Slunjčice.....	29
Slika 12. Uzdužni presjek mosta preko Slunjčice.....	30
Slika 13. Poprečni presjek mosta preko Slunjčice.....	30
Slika 14. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, luk).....	32
Slika 15. Iscvjetavanje ploče.....	33
Slika 16. Korozija i odlamanje zaštitnog sloja betona na stupu.....	34
Slika 17. Mrežaste pukotine na pješačkom hodniku.....	35
Slika 18. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Slunjčice.....	38, 95
Slika 19. Prikaz lokacije mosta Rastoke.....	40
Slika 20. Uzdužni presjek mosta Rastoke.....	41
Slika 21. Poprečni presjek mosta Rastoke.....	41
Slika 22. Grupa studenata na pregledu mosta.....	42
Slika 23. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, stupovi, upornjak, rasponska konstrukcija, vijenac).....	43, 44
Slika 24. Korozija ograde, oštećenje hodnika.....	45
Slika 25. Korozija armature te odlamanje vijenca.....	46

Slika 26. Odlamanje zaštitnog sloja, iscvjetavanje betona (dijelom sanirano) na podgledu nosive konstrukcije	47
Slika 27. Iscvjetavanje betona u podgledu nosive pločaste konstrukcije mosta blizu prvog upornjaka.....	48
Slika 28. Segregacija betona i korozija armature u podgledu na ploču u polju neposredno uz drugi upornjak.....	49
Slika 29. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju.....	52, 95
Slika 30. Prikaz lokacije mosta u Bjelovaru.....	54
Slika 31. Uzdužni presjek mosta u Bjelovaru.....	55
Slika 32. Poprečni presjek mosta u Bjelovaru.....	55
Slika 33. Primjeri podloga (lijevo na desno: stupovi, prometne površine i oprema, kosnici,nasip).....	57
Slika 34. Sanirana, naknadno otvorena pukotina u asfaltu.....	58
Slika 35. Korozija armature ploče glavnog nosača.....	59
Slika 36.1. Erozijski nasipa.....	60
Slika 36.2. Erozijski nasipa.....	61
Slika 37. Prikaz odlamanja betona ploče.....	62
Slika 38. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova AB mosta u Bjelovaru.....	65, 96
Slika 39. Prikaz lokacije mosta preko Korane.....	67
Slika 40. Uzdužni presjek mosta preko Korane.....	68
Slika 41. Poprečni presjek mosta preko Korane.....	68
Slika 42. Poprečni presjek svoda mosta preko Korane.....	68
Slika 43. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, stupovi, upornjak, peta svoda, svod).....	69, 70, 71
Slika 44. Oštećenje ograde: mehaničko oštećenje i korozija.....	72
Slika 45. Dilatacija i pukotine na kolniku.....	73
Slika 46. Dilatacija i iscvjetavanje na glavnom nosaču.....	74
Slika 47. Otpadanje obloge vijenca.....	75
Slika 48. Lučna konstrukcija mosta s neznatnim oštećenjima.....	76
Slika 49. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane.....	79, 96
Slika 50. Prikaz lokacije nadvožnjaka Gradna.....	81
Slika 51. Uzdužni presjek nadvožnjaka Gradna.....	82
Slika 52. Poprečni presjek nadvožnjaka Gradna.....	82
Slika 53. Primjeri podloga (lijevo na desno: prometne površine i oprema, vijenac, rasponska konstrukcija, stupovi, naglavna greda, ležajevi, upornjak).....	83, 84, 85
Slika 54. Korozija pješačke ograde.....	86
Slika 55. Klobučenje hodnika i odlamanje rubnjaka.....	87

Slika 56. Vlaženje vijenca.....	88
Slika 57. Vlaženje i odlamanje zaštitnog sloja stupa.....	89
Slika 58. Izluživanje betona na upornjaku.....	90
Slika 59. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna.....	93, 96
Slika 60. Lučni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	101
Slika 61. Gredni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	102
Slika 62. AB most u Bjelovaru: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	102
Slika 63. Lučni most preko Korane: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	102
Slika 64. Nadvožnjak Gradna: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	102
Slika 65. Primjer ocjena u sklopu rangiranja "zelenih mostova".....	106
Slika 66. Primjer promatranja nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme.....	108

9.2. Popis tablica

Tablica 1. Popis promatranih oštećenja povezanih s pojedinim elementima mosta i prikladne najveće važnosti pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa	7
Tablica 2. Sustav ocjenjivanja oštećenja na temelju vizualnog pregleda.....	10
Tablica 3. Važnost sastavnih komponenti mosta za sigurnost konstrukcije $I_{SS,CO}$, prometnu sigurnost $I_{TS,CO}$ i trajnosne aspekte $I_{D,CO}$	13
Tablica 4. Ključni pokazatelji dostupnosti za cestovne i željezničke mostove tijekom radova	16
Tablica 5. Ocjene za procjenu važnosti mosta na razini mreže prema 5 kriterija.....	18
Tablica 6. Osnovni podatci za studiju slučaja mostova.....	27
Tablica 7. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most preko Slunjčice.....	39, 97
Tablica 8. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za gredni most u Slunju.....	53, 97
Tablica 9. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most u Bjelovaru.....	66, 98
Tablica 10. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za most preko Korane.....	80, 98
Tablica 11. Maksimalne ocjene za dijelove sklopa po parametrima za nadvožnjak Gradna.....	94, 99

10. SAŽETAK

Ela Njirić, Josipa Šiljeg

OCJENJIVANJE UČINKOVITOSTI CESTOVNIH MOSTOVA ZA RANGIRANJE PRIORITETA U ODRŽAVANJU

Održavanje mostova u svrhu zadovoljavanja uporabnog vijeka i funkcije privlači sve više pozornosti posljednjih desetljeća. Problem se javlja zbog **neujednačenosti pregleda mostova** diljem Europe, ali i **nepostojanja baze podataka** koja bi olakšala praćenje stanja mostova, te pravovremene popravke i rekonstrukcije. Upravo iz tog razloga s djelovanjem počinje COST akcija TU1406 (*Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level*) čiji je jedan od ciljeva **pronalaženje veze između procjene stanja i ključnih pokazatelja učinkovitosti**, ujedno i temelj ovog rada.

Odabrano je ukupno **pet stvarnih mostova u Republici Hrvatskoj**, izgrađenih između 1958. i 2001. godine, koje karakteriziraju različite lokacije, statički sustavi, način izgradnje te duljina. Mostovi su: lučni mostovi preko Slunjičice i Korane, razuporni most u Bjelovaru, predgotovljeni gredni nadvožnjak Gradna, te gredni most u Slunju (Rastoke).

Za svaki od odabranih primjera, prije **analize ključnih pokazatelja učinkovitosti**, izvršena su **detaljna eksperimentalna istraživanja** u vidu vizualnih pregleda i evidentiranja oštećenja prisutnih na glavnim podsustavima konstrukcije mosta: donji ustroj, gornji ustroj odnosno glavna nosiva konstrukcija i prometna površina.

Postupak ocjenjivanja temeljen je na određivanju **pokazatelja ocjene stanja oštećene komponente** primjenom težine oštećenja, iz kojeg slijede pokazatelji sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti i trajnosti na razini pojedine komponente. Nakon otkrivanja pokazatelja na razini svake komponente, **ključni pokazatelji učinkovitosti cjelokupnog mosta kao sustava** identificirani su kao maksimalne vrijednosti među pojedinim pokazateljima komponenti. Ocjena stanja mosta temelji se na četiri ključna pokazatelja: **sigurnost konstrukcije, prometna sigurnosti, trajnosna svojstva**, te cjelokupna **ocjena stanja mosta**, a kao dodatni pokazatelj učinkovitosti vrednuje se **raspoloživost/dostupnost mosta**. Ovim radom u obzir je uzeta i **važnost svakog pojedinog mosta na razini mreže** kojom je određena vrijednost mostova, temeljena na pet kriterija: kategoriji ceste, godišnjem prosječnom dnevnom prometu, zaobilaznoj udaljenosti, najvećem rasponu mosta i ukupnoj duljini mosta.

Na temelju ocjena iz vizualnih pregleda i vrednovanja od razine komponente, preko razine sustava pa do razine mreže, preporučuje se skup od šest najvažnijih ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta i predlaže se prikaz rezultata grafički, u obliku **dijagrama tipa radar**, koje prati i **tablični pregledni prikaz** pokazatelja učinkovitosti koji se vrlo jasno i djelotvorno mogu primijeniti za **procjenu uspješnosti za rangiranje prioriteta popravka** za svaki pojedini most, ali što je i važnije u sklopu cjelokupne mreže upitnih mostova.

Najbitniji doprinos ovoga rada je kombiniranje stvarnih postupaka u hrvatskoj praksi ocjenjivanja mostova sa teoretski postavljenom sistematizacijom ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova, dobivenom na temelju istraživanja na europskoj razini, u jedinstveni postupak ocjenjivanja mostova za **rangiranje prioriteta** kojim se ostvaruje **sistematizirano praćenje i održavanje mostova u RH**.

Ključne riječi: most, oštećenje, postupak ocjenjivanja, ključni pokazatelj učinkovitosti, rangiranje prioriteta popravka

11. SUMMARY

Ela Njirić, Josipa Šiljeg

PERFORMANCE ASSESSMENT OF ROADWAY BRIDGES FOR PRIORITY REPAIR RANKING

Lifetime and function of bridges has attracted more and more attention to the past decades. The problem is due to **the lack of inspection of bridges** throughout Europe, but also the **absence of a indicators database** that would facilitate the monitoring of bridge condition, but also timely repairs and reconstruction. For this reason, the COST action TU1406 (Quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level) begins with the aim **of discovering a link between the visual inspection grading and the key performance indicators**, which is the foundation of this project.

A total of **five real bridges in the Republic of Croatia**, built between 1958 and 2001, have been selected, characterized by different locations, static systems, construction methods and lengths. The bridges are: bridges over Slunjčica and Korana, the reinforced concrete bridge in Bjelovar, the precast slab overpass Gradna and the solid slab bridge in Slunj (Rastoke). For each of the selected examples, **detailed experimental analysis** have been carried out in advance of the **analysis of key performance indicators**, in the form of visual examinations and recording of damages on the main bridge subsystems: substructure, superstructure and roadway.

The assessment procedure is based on determining the **component condition assessment indicator** by employing damage weighting, followed by the structural safety, traffic safety and durability indicators at the level of an adequate individual component. Upon revealing indicators at the level of each component, the **key performance indicators of the overall bridge as a system** are to be revealed as maximum values among the component indicators. Bridge condition assessment is based on four key indicators: **structural safety, traffic safety, durability**, and the **general bridge condition**, and additional key performance indicator is revealing **bridge availability**.

This project also takes into account the **bridge importance in the network** which indicates bridge value and is based on five criteria: road category, annual average daily traffic, detour distance, largest span and total length.

Based on the rating from visual inspection and weighting through component, system and network level, set of six most important Key Performance Indicators is revealed. It is recommended to represent the results graphically, in the form of **coloured spider diagram**, accompanied by a **table overview of performance indicators**, which can be applied very clearly and efficiently for the **priority repair ranking** of each bridge, but more importantly within the entire network.

The most important contribution of this project is within combining realistic procedures in Croatian bridge practice with theoretically set systematization of key performance indicators, based on European-level research, into a unique grading process for **priority repair ranking and overall performance assessment** which provides **systematic monitoring and maintenance of bridges in the Republic of Croatia**.

Key words: bridge, damage, assessment procedure, Key Performance Indicator, priority repair ranking

12. ZAHVALE

Mentorici izv. prof. dr. sc. Ani Mandić Ivanković, dipl. ing. građ. na uloženom trudu i vrijednim savjetima.

Dr. sc. Mariji Kušter Marić na vrijednim savjetima.

Kolegama s Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu: Marti Frklič, Valentini Lacković, Anti Maleti, Tomislavu Maleti, Boženu Mušteriću, Martinu Papcu, Davoru Pezelju, Dominiku Sačariću i Anti Sliškoviću na korisnim informacijama i savjetima tijekom suradnje na kolegijima Trajnost konstrukcija.