

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet

DIPLOMSKI RAD

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

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Ana Mandić Ivanković

Student:

Ela Njirić

Zagreb, 2018.

1. Sadržaj

SAŽETAK	1
2. OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH MOSTOVA.....	2
2.1. Općenito o pregledima mostova	2
2.2. Vizualni pregledi kao pomagalo za ocjenu stanja mostova	5
2.3. Zakonska regulativa	6
2.4. Provedba pregleda i postupci ocjenjivanja.....	7
2.4.1. Sustav gospodarenja mostovima na državnim cestama Republike Hrvatske.....	8
2.4.2. Sustavi gospodarenja mostovima u svijetu	12
2.5. Utjecaj trenutnog stanja mostova na njihovu funkciju.....	20
2.6. Standardizacija pokazatelja kvalitete mostova na europskoj razini.....	21
2.6.1. Istraživanja i glavni nalazi	22
2.6.2. Općenito o pregledima	23
2.6.3. Primjeri uočenih oštećenja na određenim komponentama mosta i njihov utjecaj na funkciju.....	26
3. SISTEMATIZACIJA POKAZATELJA UČINKOVITOSTI.....	29
3.1. Pokazatelji učinkovitosti.....	30
3.1.1. Pokazatelji na razini komponente.....	30
3.1.2. Pokazatelji učinkovitosti na razini sustava.....	36
3.1.3. Pokazatelji učinkovitosti na razini mreže.....	39
3.2. Pokazatelji učinkovitosti vs. ciljevi (zadaci) unutar upravljanja mostom	41
4. POSTUPAK KVANTIFICIRANJA KLJUČNIH POKAZATELJA UČINKOVITOSTI	44
4.1. Oštećenja povezana s komponentama	44
4.2. Razina elementa.....	48
4.3. Prijelaz s komponente na razinu sustava	53
4.4. Razina sustava.....	53
4.5. Razina mreže.....	55
4.6. Ukupna procjena uspješnosti za rangiranje prioriteta popravka	57
5. POKAZNI PRIMJERCIMOSTOVA.....	59
5.1. Osnovni podatci i najznačajnija oštećenja.....	60
5.1.1. Osnovni podatci primjernih mostova	60
5.1.2. Najvažnija oštećenja pokaznih mostova.....	63

5.1.3.	Analiza rezultata ocjenjivanja za rangiranje prioriteta	87
5.1.4.	Odluke o rangiranju prioriteta popravaka	91
6.	KLJUČNI POKAZATELJI UČINKOVITOSTI MOSTA KROZ PREOSTALI UPORABNI VIJEK	93
6.1.	Ključni pokazatelji učinkovitosti kroz preostali uporabni vijek za mostove u Hrvatskoj	94
6.1.1.	Most preko Korane	95
6.1.2.	Gredni most u Slunju	102
6.1.3.	AB most u Bjelovaru	108
6.1.4.	Lučni most preko Slunjčice	115
6.1.5.	Nadvožnjak Gradna.....	122
7.	ZAKLJUČAK RADA.....	129
8.	LITERATURA:.....	131
9.	POPIS SLIKA I TABLICA.....	136
9.1.	Popis slika.....	136
9.2.	Popis tablica	140

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 lenght</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>)

SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je ocjenjivanje učinkovitosti cestovnih mostova za rangiranje prioriteta u održavanju preko ključnih pokazatelja učinkovitosti, te praćenje njihove promjene u vremenu. Struktura rada podijeljena je na dva dijela.

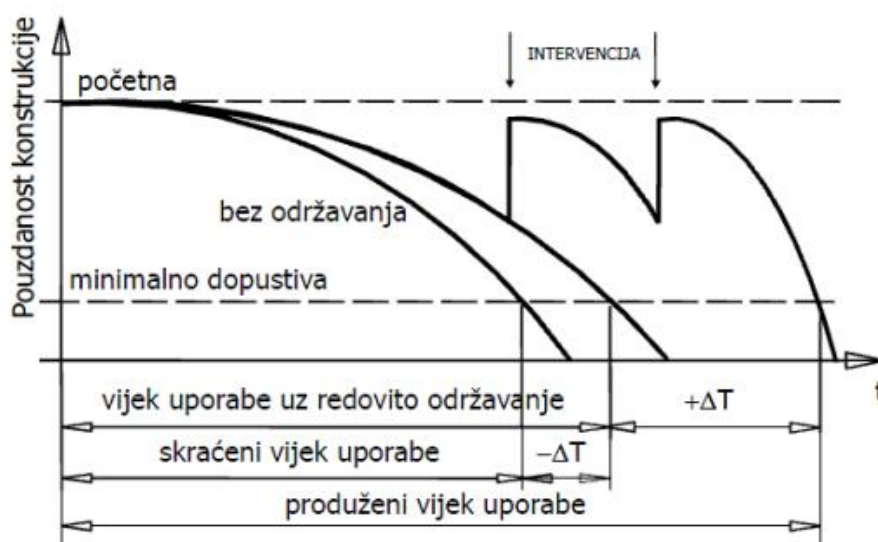
Prvi dio rada odnosi se na teorijski osvrt vezan uz ocjenu stanja mostova i ključne pokazatelje učinkovitosti. Uspostavljena je poveznica između ocjenjivanja mostova vizualnim pregledom koje se provodi u praksi i ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova (cjelokupno stanje mosta, sigurnost konstrukcije, sigurnost prometa, trajnost, dostupnost i važnost mosta) definiranih na temelju istraživanja u sklopu europske akcije posvećene kontroli kvalitete cestovnih mostova na europskoj razini. Rezultat su grafički i tablični pregledni prikazi pokazatelja učinkovitosti mosta koji su primjenjeni u rangiranju prioriteta za aktivnosti održavanja dijelova pojedinog mosta.

U drugom dijelu rada proučavala se promjena ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz preostali vijek trajanja, uvažavajući različite strategije održavanja. Praćenje ključnih pokazatelja učinkovitosti u vremenu podiglo je do sada vremenski jednodimenzionalni rezultat za trenutno stanje, na čitav vijek uporabe konstrukcije.

2. OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH MOSTOVA

2.1. Općenito o pregledima mostova

Na svim građevinama tijekom vijeka uporabe nastaju oštećenja te ih je potrebno popravljati, odnosno održavati, da bi se očuvao uporabni vijek građevine. (Slika 1.) Radi planiranja održavanja uz najmanje troškove za korisnika i upravitelja građevine osmišljavaju se sustavi gospodarenja građevinama. Za planiranje je potrebno poznavati stanje građevine, odnosno razinu do koje je oštećena, potom predvidjeti tijekom daljnjeg dotrajanja i dati alternative za održavanje.



Slika 1. Utjecaj održavanja na uporabni vijek građevine

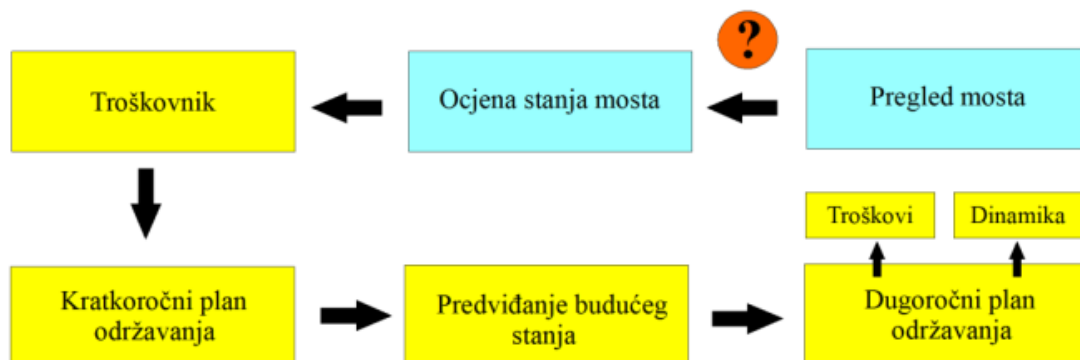
Sustavi gospodarenja građevinama danas su uvedeni u sve segmente prometne infrastrukture. Gospodarenje mostovima je specifična djelatnost gospodarenja građevinama koja se intenzivno razvija već dvadeset godina u društvu koje gospodari državnim cestama u Republici Hrvatskoj. Gospodarenja građevinama obuhvaća: postupke za objektivnu ocjenu stanja i ocjenu nosivosti konstrukcije, postupke optimalizacije održavanja, popravaka i sanacija, organizaciju i povezivanje svih odluka i aktivnosti koje se odnose na određenu građevinu (projektiranje, održavanje, sanacija i zamjena) te postupke za analizu stanja na razini čitave skupine građevina kojima se gospodari. Iz skupa pojedinačnih poslova, unutar sustava gospodarenja mostovima izdvojena su tri interesna područja :

- vizualni pregledi građevina i ocjenjivanje dotrajalosti,

- predviđanje stanja građevina u budućnosti,
- povezivanje ocjene stanja građevina sa troškovima popravaka u cilju izrade financijskog plana održavanja.

Zapaženo je da su odluke koje donosi upravitelj cesta prilikom određivanja prioriteta sanacija mostova na mreži državnih cesta u Republici Hrvatskoj uglavnom usko povezane sa vizualnim pregledima koje provode posebno osposobljeni inženjeri, koristeći stečena iskustva i znanja kroz postojeći sustav gospodarenja mostovima (SGM).

Procesi koji ugrožavaju mostove uglavnom započinju bez vidljivih znakova, a tek u odmakloj fazi očituju se pojavama vidljivim na površini građevine. Zadatak inženjera pri pregledu je vidjeti, zabilježiti i prepoznati pojave koje su bitne za ocjenu stanja konstrukcije i opreme mosta, odnosno indikacije ili manifestacije procesa koji vode oštećenju. Interpretacijom viđenog i zabilježenog, elementima mosta dodjeljuju se ocjene stanja, koje se potom ugrađuju u jedinstvenu ocjenu čitave građevine. Određivanjem prioriteta i predviđanjem budućeg tijeka dotrajavanja planiraju se radovi, odnosno troškovi budućeg održavanja mostova (Slika 2.).



Slika 2. Pojednostavljena shema procesa planiranja izvanrednog održavanja mostova

I pored toga što su razvijene mnoge metode ispitivanja konstrukcija, vizualni pregled ostaje najvažniji alat za ocjenjivanje stanja mostova. Kvaliteta i ujednačenost rezultata vizualnog pregleda značajno ovisi o motivaciji, obučenosti i opremljenosti osoblja koje takve preglede provodi, a učinkovitost sustava gospodarenja u planiranju održavanja bitno ovisi o ujednačenosti rezultata vizualnih pregleda, odnosno o procjeni oštećenja vezanoj uz opseg i tip popravka. Nije moguće dobiti identične nalaze od različitih pregledavača mostova jer isti vanjski podražaj i osjet kod različitih ljudi dovodi do različitih percepcija, međutim se razlike mogu umanjiti, tj. postići veća objektivnost tih pregleda.

Radovi izvanrednog održavanja cesta, pa tako i pripadajućih cestovnih građevina, su povremeni radovi za koje je potrebna tehnička dokumentacija, a izvode se radi mjestimičnog poboljšanja elemenata ceste, osiguranja sigurnosti, stabilnosti i trajnosti ceste i cestovnih građevina te povećanja sigurnosti prometa. Izvanrednim održavanjem podrazumijevamo skup značajnijih aktivnosti za uspostavljanje održivog stanja radi osiguravanja prvobitnih vrijednosti građevine (mehaničke otpornosti i stabilnosti, sigurnosti u korištenju i sl.). U građevinskom smislu to su radovi sanacije, adaptacije i rekonstrukcije koji se izvode zbog osiguranja sigurnosti ili upotrebljivosti mosta; popravaka trošnih, dotrajalih ili znatnije oštećenih dijelova građevine i sl. [1] [2]

2.2. Vizualni pregledi kao pomagalo za ocjenu stanja mostova

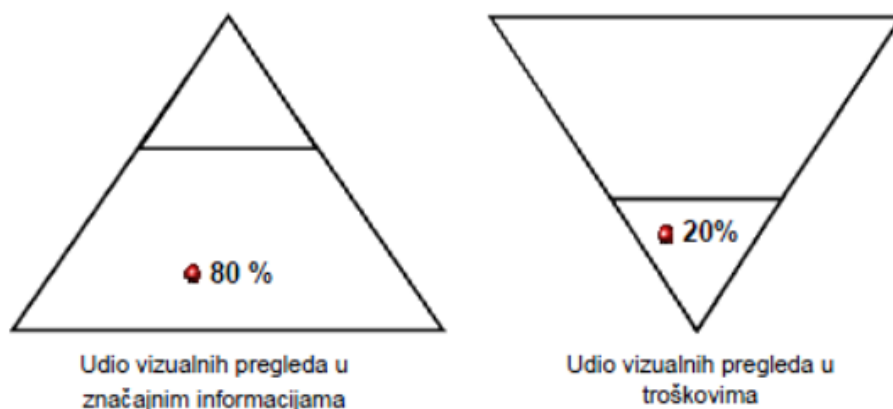
Glavni cilj vizualnih pregleda je utvrditi oštećenja koja mogu utjecati na nosivost, uporabljivost ili imati negativan učinak na okoliš i utvrditi elemente koji zahtijevaju popravak do sljedećeg pregleda, te potrebu za dodatnim pregledima i ispitivanjima. Dvije osnovne vrste vizualnih pregleda su redovni (u funkciji održavanja objekta pregledi konstrukcije se vrše svakih cca 5 godina) i izvanredni (u slučajevima kada je bitno narušena nosivost, trajnost i/ili uporabljivost konstrukcije te je potrebno hitno djelovati kako bi se izbjegle teže posljedice).

Posebnu pozornost valja obratiti na :

- geometriju i izmjere presjeka,
- izgled i razlike u boji površine konstrukcije,
- pojavu pukotina, njihovu veličinu i raspored,
- znakove degradacije materijala na površini konstrukcije,
- deformacije konstrukcije,
- vlažne površine odnosno mjesta procurivanja vode.

Prema zakonu glavni pregledi mostova i nadvožnjaka trebaju se vršiti jednom u šest godina. Kod njih ispitivač mora naročito obratiti pažnju na geometriju konstruktivnih elemenata, stanje zaštitnih slojeva, izgled i oštećenja betonskih površina, veličinu i raspored pukotina, deformacije konstrukcije, mjesta curenja vode i izloženu armaturu.

Vizualnim pregledima se dobije jako puno informacija uz minimalan utrošak novca (Slika 3.). Zbog tog je vizualni pregled još uvijek glavno pomagalo za ocjenjivanje stanja mostova sa presudnim utjecajem na planiranje radova održavanja.



Slika 3. Važnost vizualnih pregleda u dijagnosticiranju stanja konstrukcije

2.3. Zakonska regulativa

Temeljni dokument kojim je regulirana uporaba i održavanje građevina je Zakon o gradnji [3], a na djelatnost gospodarenja neposredno se odnosi poglavlje Uporaba građevine (članci 136. do 147.) i Održavanje građevine (članci 150. do 152.) Konkretni okvir za uspostavu sustava gospodarenja postavljen je člankom 151., kojim je predviđeno da održavanje građevine te poslove praćenja stanja građevine, povremene godišnje preglede građevine, izradu pregleda poslova za održavanje i unapređivanje ispunjavanja temeljnih zahtjeva za građevine i druge slične stručne poslove vlasnik građevine, odnosno osoba koja obavlja poslove upravljanja građevinama prema posebnom zakonu mora povjeriti osobama koje ispunjavaju uvjete za obavljanje tih poslova propisane posebnim zakonom. Spomenuti zakon, kao i Pravilnik kojeg donosi Ministar, a kojim će biti propisani uvjeti za održavanje, još nisu izdani, premda za takvim dokumentima postoji potreba. Poslovima ispitivanja određenih dijelova građevine bavi se i članak 18. citiranog Zakona, propisujući da provjere, odnosno dokazivanja temeljnih zahtjeva za građevinu i/ili drugih zahtjeva, odnosno uvjeta, predviđeno glavnim projektom ili izvješćem o obavljenoj kontroli projekta, te prethodna istraživanja od važnosti za projektiranje, građenje i uporabu određene građevine dužan je osigurati investitor, a poslove ispitivanja, dokazivanja, odnosno istraživanja dužan je povjeriti osobama ovlaštenim za obavljanje istih na temelju posebnog zakona.

Zakonom o cestama [4] poduzeće Hrvatske ceste d.o.o. određeno je da vodi jedinstvenu bazu cestovnih podataka za osiguranje tehničko-tehnološkog jedinstva mreže javnih cesta. Među ovim podacima su i podaci o mostovima. Pregledi građevina na cestama obavljaju se prema Pravilniku o održavanju i zaštiti javnih cesta [5]. Godišnji pregledi građevina obavljaju se najmanje jedanput u dvije godine dok se glavni pregledi obavljaju najmanje jedanput u šest godina. Glavne preglede obavljaju stručne osobe iz nadležne uprave za ceste te stručne osobe zaposlene u specijaliziranim stručnim organizacijama ili ustanovama.

2.4. Provedba pregleda i postupci ocjenjivanja

U svijetu je razvijeno više postupaka ocjenjivanja koji se razlikuju po pristupu i složenosti procedure [6], a ovdje će biti opisane osnovne značajke hrvatskog sustava, koji je polazišni u provedbi istraživanja.

U sklopu sustava gospodarenja mostovima, u različitim zemljama razvijena su posebna pomagala koja prate preglede mostova, kao što su priručnici, smjernice i proračunski postupci kojima se uočena oštećenja nastoje objektivno kvantificirati. U većem broju razvijenih država ovom se djelatnošću bave specijalisti.

Ovakav pristup posljedica je specifičnosti mostova u odnosu na ostale građevine:

1. Mostovi se sastoje od skupina dijelova koji se često razlikuju po materijalu, kakvoći, izloženosti različitim djelovanjima i načinu izvedbe, pa sukladno tome dotrajavaju različitom brzinom i prema zakonitostima što podliježu različitim mehanizmima.
2. Tijekom relativno dugog uporabnog vijeka dijelovi mostova prolaze kroz karakteristične faze dotrajavanja koje su, za neki dominantni proces, prepoznatljive.
3. Proces dotrajavanja ne napreduje jednoliko po promatranom elementu mosta, jer većina oštećenja ima žarište na mjestima početnih nedostataka, odnosno na mjestima koja su posebno izložena agresivnim djelovanjima.

Postupci za ocjenu stanja mostova zasnovani su na klasifikaciji oštećenja u nekoliko kategorija koje obuhvaćaju usporedive pojave, kako bi se izvješća i potonje analize ujednačile i svele stanje na određen broj tipova kojima pridružujemo troškovničke stavke postupaka popravaka. Dakle, kategorije oštećenja trebaju ispuniti sljedeće uvjete:

- svaka kategorija treba biti jasno prepoznatljiva prema fizikalnim značajkama procesa dotrajavanja i funkcionalnim značajkama vrednovanog elementa konstrukcije,
- svakoj kategoriji treba odgovarati jedan ili više postupaka održavanja ili popravaka mostova.

S obzirom na to da za neke od procesa u ranoj fazi nema vidljivih upozorenja, jasno je da vizualni pregled najčešće nije dostatan za ispravnu prosudbu. No, budući da su ispitivanja složena i skupa, na većini mostova manje veličine i važnosti jedino se na osnovi ocjena određenih vizualnim pregledom može gospodariti. Korelacija tih ocjena sa stvarnim stanjem bitno ovisi o iskustvu i inženjerskoj procjeni neposrednog izvršitelja pregleda.

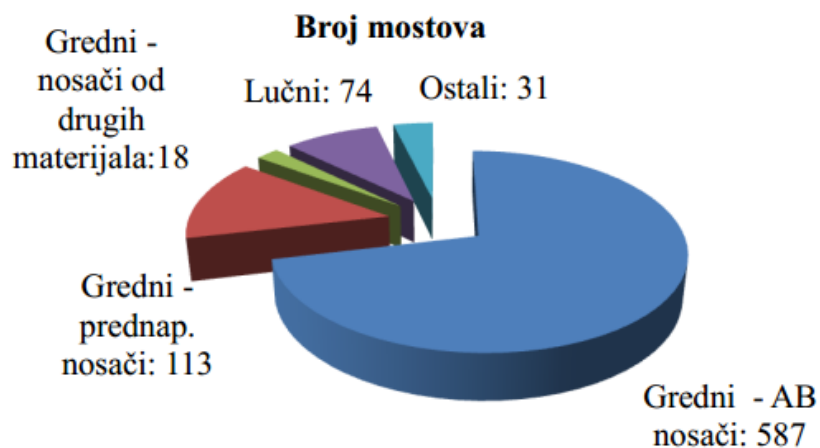
2.4.1. Sustav gospodarenja mostovima na državnim cestama Republike Hrvatske

Poduzeće Hrvatske ceste d.o.o. gospodari mrežom državnih cesta duljine 6.867,7 km na kojoj se nalazi 1538 mostova raspona većeg od 2 m. Sustavom gospodarenja mostovima izvorno su bili obuhvaćeni samo mostovi raspona većeg od 5 metara, međutim kada je sustav „HrMos“ 2001. godine uklopljen u širi sustav gospodarenja cestovnim građevinama „Baza cestovnih podataka Hrvatskih cesta“ (BCP), evidentirani su i cestovni propusti raspona od 2 do 5 metara. U Sektoru za održavanje poduzeća Hrvatske ceste d.o.o. kako je ranije spomenuto, uspostavljeno je četrnaest regionalnih Ispostava koje nadziru državne ceste na čitavom teritoriju Republike Hrvatske.

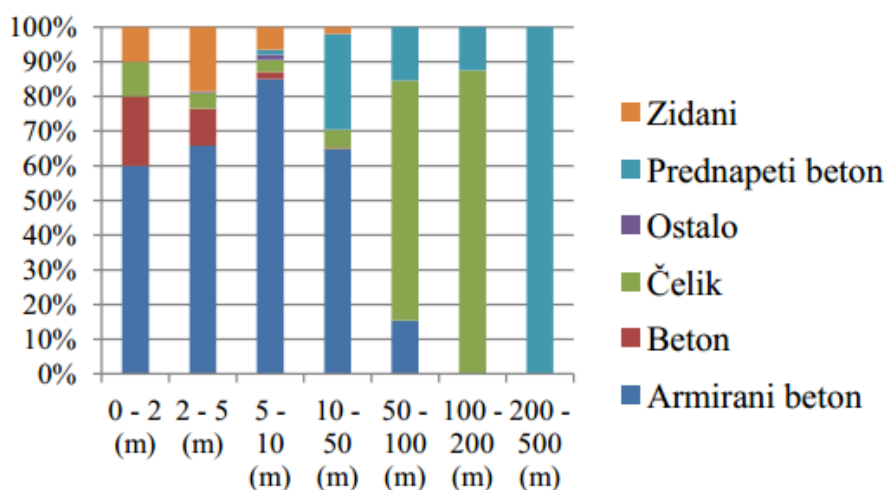
Preglede mostova na mreži državnih cesta provode po dva diplomirana inženjera građevinarstva, koji su educirani za obavljanje tog posla – uoči godišnjeg pregleda mostova 2006. godine organizirana je stručna terenska obuka ocjenjivača. Oni daju i prijedloge sanacija. Uobičajeno potrebno vrijeme za pregled mostova na čitavoj mreži državnih cesta za četrnaest timova ocjenjivača je otprilike tri mjeseca. Za ocjenjivanje zahtjevnijih konstrukcija koristi se posebna oprema za preglede mostova. Pretpostavljalo se da bi se uvažavajući kapacitete specijalne opreme za pregled mostova, na godinu moglo provesti oko 20 glavnih pregleda zahtjevnijih konstrukcija mostova [7].

Prema podacima pregleda mostova raspona većeg od 5 metara iz razdoblja 2008. - 2010. godine [8] evidentirane su ocjene stanja elemenata i mostova za 1160 građevina. Međutim, broj mostova u nadležnosti HC se mijenja: na mreži državnih cesta 2012. godine evidentirana su 823 mosta (do odstupanja je došlo zbog nove kategorizacije cesta). Zabilježeno je 718 grednih mostova, od toga 587 sa armiranobetonskim glavnim nosačima, 113 sa betonskim prednapetim glavnim nosačima i 18 sa glavnim nosačima izgrađenim od drugih materijala (uglavnom čelični glavni nosači). Nadalje, evidentirane su 74 lučne konstrukcije mostova (zidane 34, betonske i armiranobetonske 39, čelične 1) te 31 most sa „ostalim“ statičkim sustavima glavnog nosača (okviri, razupore i sl.) (Slika 4.).

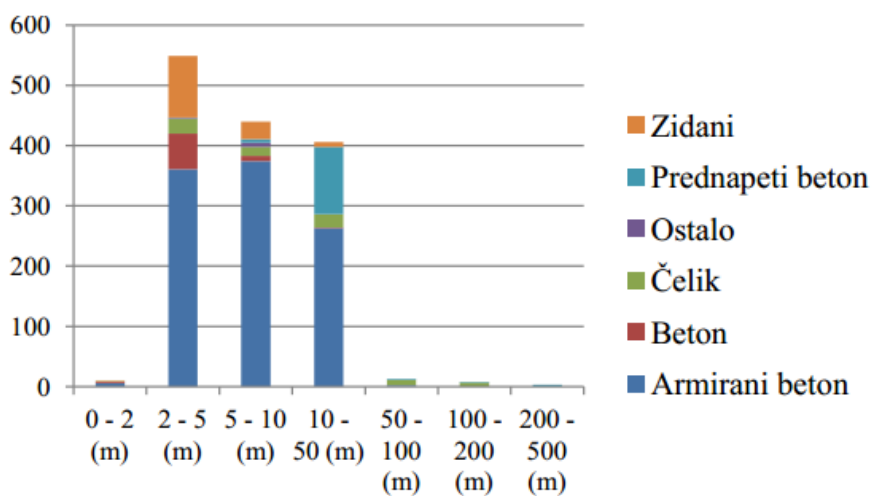
Na Slici 5. prikazana je zastupljenost osnovnog materijala prema rasponima mostova, a na Slici 6. dan je prikaz udjela različitih osnovnih materijala prema rasponima mostova.



Slika 4. Mostovi raspona ≥ 5 metara na mreži državnih cesta 2012. Godine



Slika 5. Zastupljenost osnovnog materijala prema rasponima mostova



Slika 6. Prikaz udjela različitih osnovnih materijala prema rasponima mostova

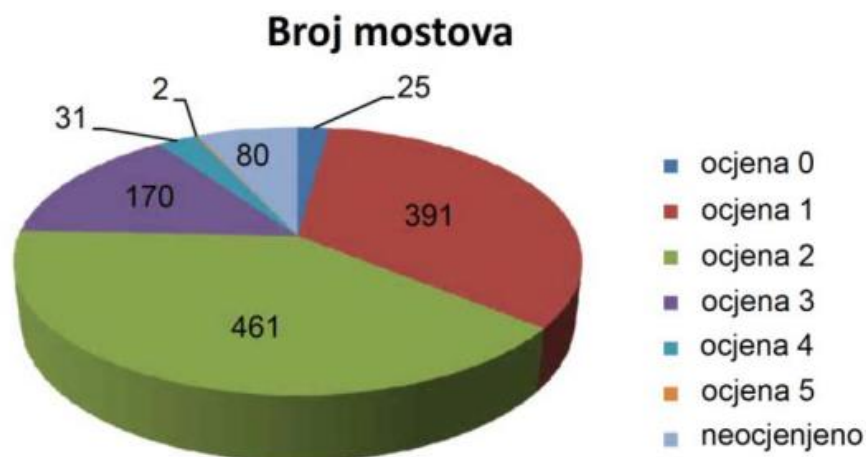
Podaci o praćenju stanja većeg broja mostova, odnosno redovitom rutinskom ocjenjivanju na razini mreže cesta u Hrvatskoj su skromni. Pregled velikog broja građevina obavljen je u sklopu radova na izradi Katastra mostova sredinom 80-ih godina prošlog stoljeća [29]. Tom su prilikom mostovi ocijenjeni na osnovi vizualnih pregleda, prema opisnoj skali stupnjevanoj sa: dobar - manje oštećen - znatnije oštećen – potreban je potpuniji pregled – dotrajavao.

Važeća metodologija ocjenjivanja mostova koristi ljestvicu sa šest stupnjeva: od 0 što znači da na mostu ili elementu mosta nema oštećenja do 5, što znači da su uočena velika oštećenja. Ocjene 1 i 2 uglavnom se koriste za označavanje posljedica nedostataka u izvedbi. Ocjenom 3 ocjenjuju se elementi na kojima je na djelu proces dotraivanja, a ocjenama 4 i 5 elementi s uznapredovanim procesom dotraivanja.

Tijekom općeg pregleda mostova ocjenjuje se 13 standardnih elemenata mostova na temelju čega se donosi opća ocjena mosta. Na slici 7. prikazano je 12 elemenata, jer su kategorijski dvije ocjene: za kolnik i za hodnik svedene na jednu: D1 Kolnik + hodnik. Razdioba mostova po općim ocjenama 2010. godine prikazana je na Slici 8.

Skupine elemenata	Elementi mostova	Prosječne ocjene
A	Prilazi i čunjevi	1,8
B Donji ustroj	B1 Temelji upornjaka i stupova	1,6
	B2 Upornjaci	1,6
	B3 Stupovi	1,4
C Gornji ustroj	C 1 1 Glavni nosači	1,6
	C 1 2 Rasponski sklop	1,6
	C 2 Prijelazne naprave	2,2
	C 3 Ležajevi	1,4
D Oprema	D 1 Kolnik + hodnik	1,9
	D 2 1 Odbojna ograda	2
	D 2 2 Pješačka ograda	2
	D 3 Ostalo	2
Most općenito		1,8

Slika 7. Oznake elemenata mostova s prosječnim ocjenama, stanje iz 2010. Godine



Slika 8. Ocjene mostova na državnim cestama RH - stanje iz 2010. Godine

Iako u sustav nije implementiran model predviđanja budućeg stanja, glavni cilj ovako uspostavljenog sustava jest načiniti prognozu potrebnih sredstava za održavanje mostova tijekom slijedećih pet godina. Prema dosadašnjim iskustvima, prilikom izrade prognoze potrebnih sredstava uglavnom se primjenjuju „ad-hoc“ rješenja u kojima se planiranjem održavanja obuhvaćaju mostovi ocjenjeni ocjenama 4 i 5. Sredstva za održavanje mostova, u što je uključeno i pregledavanje, planiraju se četverogodišnjim programima. Radovi redovnog održavanja planiraju se i provode temeljem Standarda javnih cesta, a radovi izvanrednog održavanja temeljem ocjena stanja i prijedloga nadležnih Ispostava.

Osim prikazanog sustava, koji se koristi na mreži državnih cesta, na najvećem dijelu autocestovne mreže u sustavu naplate uveden je sustav SGG (Sustav gospodarenja građevinama) [9]. Bitna razlika dvaju sustava je u tome što se „HrMos“ više oslanja na kvalitetu prosudbe vršitelja pregleda, koji neposredno ocjenjuje elemente mosta, dok SGG predviđa postupke opažanja i evidentiranja pojedinačnih oštećenja, unošenje prikupljenih podataka u računalu koje određenim algoritmom dolazi do ocjene elementa mosta.

2.4.2. ***Sustavi gospodarenja mostovima u svijetu***

U osnovi sustava gospodarenja je poslovni proces održavanja građevina, temeljem kojeg se razrađuju alati za optimalizaciju radova i investicija u održavanju građevina. Optimalizacija se provodi temeljem određenih tehničkih parametara koji se povezuju s izradom financijskog plana i organizacijske strukture za njegovu provedbu. Sustav gospodarenja mostovima (SGM) mora biti prilagođen vlasničkim odnosima, načinu upravljanja i uklopljen u sustav kojim se upravlja infrastrukturnom cjelinom, u ovom slučaju dijelom cestovne mreže. Svi SGM, od najstarijih, sadrže osnovne module koji proističu iz njihove definicije: to je popis – katastar mostova s osnovnim podacima, plan pregleda i ocjene stanja elemenata i građevina [10]. Inovacije koje se postupno uvode odnose se na proširenje razmatranja procesa koji utječu na životni vijek građevine: događaji se nastoje predvidjeti, a ne samo registrirati, pa se kroz analizu aktivnosti i događaja u prošlosti razrađuju strategije i planovi za budućnost. Dakle, postupno se prelazi s reaktivnog na preventivno održavanje kroz razradu strategije i planova. Ti dokumenti definiraju politiku u gospodarenju imovinom, a ona mora biti realistična, jasna i prihvatljiva svima koji su zaduženi za njezino donošenje i provedbu. Dakle, osim bazičnih funkcija, sustavi imaju različite druge funkcije čiji je pregled dan na slici 9. Uočeno je kako su neki sustavi u razvoju već dugi niz godina [11, 12].

Funkcije SGM-a	Brazil [36, 38, 39, 40]	Danska [36, 38, 39, 40, 41]	Finska [36, 39, 40]	Francuska [38, 40]	Irska [36, 38, 40]	Italija [36, 38, 39, 40]	Japan [42, 43, 44]	Madarska [36, 45, 46, 47]	Nizozemska [36, 38, 40]	Norveška [36, 38, 39, 48, 49]	Njemačka [36, 38, 40, 50, 51]	Poljska [36, 38, 40]	Portugal [36, 38, 40]	Švedska [38, 39, 40]	Svjetska [36, 38, 39, 40, 52]	Velika Britanija [36, 38, 39, 40]
Godine uporabe do 2013.	20	34	17		12	11		20	15	16	14	22	20		23	29
Broj mostova u SGM-u		1400	14109	22000	>1800	1000		6000	3296	21500	34600	29000	9264	14000	3300	9500
Ponudbena dok. za		+		+	+	+		+		+	-			+		+
popravke																
Prioriteti sanacija	+	+		+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Planiranje troškova	+	+	+	-	+	+		+	+	+	-	+	+	+	+	+
Baza podataka o troškovima popravaka		+		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	
Ocjena sigurnosti				-		-	+	-			-		+	+		+
Strategije održavanja	+			-	+	+	+	+	+		-	+	+	+	+	+
Procjena ukupnih životnih troškova				-		+	+	+			-			-		+
Procjena troškova korisnika	+			-	+	-	-	-			-		+	+		+
Model dotrajanja	+	-	+	-	-	+	+	+		-	-			+	+	-

Slika 9. Osnovne funkcije nekih sustava gospodarenja mostovima

2.4.2.1. Podjela građevine na elemente

U većini zemalja ocjenjivanje se obavlja po sastavnim dijelovima mostova. Građevina se dijeli na određen – konačni broj skupina elemenata, od kojih svaka skupina može imati jedan ili više elemenata. Primjerice, svi stupovi čine skupinu, a svaki stup zasebno smatramo pojedinačnim elementom koji se pregledava i ocjenjuje. Građevina se može podijeliti samo na one skupine elemenata koje sustav prepoznaje, s tim da svaki most ne mora sadržavati elemente iz svih ponuđenih skupina (primjerice, neki most nema stupove). Najjednostavniji sustavi prepoznaju tri glavne skupine elemenata: gornji i donji ustroj, te opremu mosta, dok

najsloženiji sustavi prepoznaju znatno više elemenata (BRIDGIT) ili PONTIS – 140 uobičajenih elemenata [13, 14].

Država	Danska (Hrvatska)	Njemačka	Kanada	Slovenija	Norveška	Francuska
Elementi mosta	Kolnička ploča	Gornji ustroj	Kolnička ploča	Okolina mosta	Rasponski sklop	Oprema mosta
	Glavni nosači	Donji ustroj	Rasponski sklop	Korito rijeke	Upornjaci	Stupovi i ležaji
	Stupišta	Prednapeti elementi	Stupovi	Temelji	Stupovi	Gornji ustroj
	Upornjaci	Temelji	Upornjaci	Nosiva struktura	Hidroizolacija	
	Kolnički zastor	Sidra i zatege	Prijelazne naprave	Ležaji	Kolnik	
	Prijelazne naprave	Ležaji	Ograde	Glavna konstrukcija	Ograde	
	Pješačka staza	Prijelazne naprave	Ležaji	Površina mosta	Sustav odvodnje	
	Ograda	Kolnički zastor		Prijelazne naprave	Ležaji	
	Prilazne rampe	Hidroizolacija		Sigurnosna oprema	Prijelazne naprave	
	Krila upornjaka	Sigurnosni uređaji		Sustav odvodnje	Ostalo	
	Ležaji	Gradevina općenito				
	Obala rijeke	Ostalo				
	Ostali elementi					
Broj elemenata	13	12	7	10	10	3

Slika 10. Podjele mostova na elemente u različitim SGM

Podjela na skupine dijelova mora zadovoljiti slijedeće (Slika 10.) :

- svaki element mora imati jedinstvenu funkciju, npr. glavni i sekundarni nosači
- potrebno je razlikovati elemente koji se bitno razlikuju prema zahtjevima održavanja, npr. neobojene od obojenih čeličnih elemenata,
- potrebno je razlikovati elemente koji se na različit način mjere kod ocjene troškova pregleda, npr. elementi dostupni pregledu sa površine mosta i elementi za koje je pregled potrebno obaviti specijalnim vozilima (sa pomičnim platformama, plovilo i sl.)

- potrebno je razlikovati elemente čija se stanja opisuju na različit način, npr. Funkcionalno isti elementi, ali od različitog materijala (gredni nosač od armiranog betona i čelični gredni nosač)
- svaki promatrani element treba biti značajan s motrišta troškova održavanja ili funkcionalnosti; za svaki element postavlja se pitanje da li se isplati prikupljati podatke o značajkama, geometriji, stanju i dotrajanju,
- ako je neki element mnogo značajniji od ostalih ili su njegovo stanje i ponašanje kompleksni, potrebno je razmotriti njegovu podjelu u manje elemente, npr. kod spregnutih pločastih nosača na dio elementa od betona i na dio elementa od čelika.

Konačna i jedinstvena ocjena mosta izvodi se različitim postupcima iz ocjene različitih elemenata. Kod sustava koji su, uvjetno rečeno, jednostavnije koncipirani na licu mjesta, tijekom pregleda dodjeljuje se jedinstvena ocjena svakom pojedinom elementu. Propisanim postupkom određuje se zbirna ocjena skupine elemenata, a ocjene svih skupina iznova, istim ili različitim postupkom generiraju konačnu – zbirnu ocjenu mosta. Najjednostavniji pristup određivanju zbirne ocjene jest taj da se kao zbirna istakne najviša ocjena koju je neki element skupine dobio. Interpretacija takvog postupka jest ta da najugroženiji element definira rang mosta u prioritetima popravaka. Kod složenijih sustava prepoznata oštećenja vrednuju se jednim ili više težinskih faktora, pa konačna ocjena ne mora biti cijeli broj.

2.4.2.2. Ocjenjivanje po različitim kriterijima

U većini sustava uočeno je da pojave koje ugrožavaju most mogu biti ocjenjene prema više kriterija [15, 16]. Primjerice, oštećenje nekog dijela prometne opreme, primjerice zaštitne ograde, ugrožava sigurnost prometa u tolikoj mjeri da je most potrebno zatvoriti, dok istodobno njegova mehanička otpornost i stabilnost uopće nije smanjena. Prema tome, sa striktno građevinskog motrišta oštećenje nije bitno, ali s motrišta prometne sigurnosti (koja je najvažnija briga upravitelja cesta) treba intervenirati hitno – ovakvo oštećenje ima prioritet. Na sličan način možemo razmatrati i pojave bitne za trajnost. Primjerice, sustav odvodnje može biti toliko oštećen da se voda s kolnika slijeva po ležajevima i nosačima. Ako su rešetke na kolniku čitave i otjecanje neometano, promet na mostu nije izravno ugrožen. Također u građevinskom smislu, most može biti u posve zadovoljavajućem stanju. Ipak, zbog opasnosti po konstrukciju u budućnosti prepoznamo stanje kao alarmantno i naređujemo hitne mjere popravka. Neki novi sustavi ovim kriterijima pridružuju i ekologiju i estetiku građevine kao mjerila za vrednovanje oštećenja. Sustave gospodarenja [17]

moгуće je razvijati osnovom vizualnih pregleda putem koeficijenta stanja konstrukcije, procijenjenim koeficijentima sigurnosti te procijenjenim ukupnim životnim troškovima održavanja, sa osobitim naglaskom na potrebu za kvalitetnim inženjerskim kadrom - ocjenjivačima.

Na slici 11. prikazani su kriteriji za ocjenjivanje mostova. Radi se o mjerilima po kojima se daju zasebne ocjene ili o koeficijentima kojima se modificira osnovna ocjena stanja ili o naputcima prema kojima se upisuju određene napomene uz osnovnu ocjenu stanja. Ocjene vrednuju stanje tj. stupanj oštećenosti svakog pojedinog elementa mosta, a ocjenjivanje se obavlja temeljem opaženih ili izmjerenih oštećenja. Uobičajeno se oštećenja tipiziraju u katalozima, koji tipične pojave rangiraju prema utjecaju na gradivo ili element mosta.

Država	Danska	Njemačka	Finska	Portugal	Japan	Nizozemska	Norveška
Kriteriji ocjene mosta	Stanje	Prometna sigurnost	Stanje konstrukcije mosta	Prometna sigurnost	Uporabljivost	Uporabljivost	Nosivost
	Nosivost	Stabilnost	Uporabna vrijednost	Uporabljivost	Trajnost	Prometna sigurnost	Prometna sigurnost
		Trajnost		Prometni značaj mosta		Zaštita okoliša	Povećani troškovi održavanja
						Udobnost korisnika	Ekologija i estetika
						Izgled	
Broj kriterija	2	3	2	3	2	5	4

Slika 11. Kriteriji za ocjenjivanje mostova

Kod donošenja ocjene na terenu suočavamo se s činjenicom da oštećenja mogu biti veća ili manja po opsegu, a postoje i drugi faktori koji onemogućuju izravnu aplikaciju ocjene iz kataloga u formular za pregled. U nekim sustavima ovi su utjecajni faktori formalizirani i njima se korigiraju ocjene elemenata mosta.

Pitanje koje se, dakle, javlja prilikom donošenja odluke o konačnoj ocjeni mosta, razmatrano je u svim sustavima: Kako od ocjena pojedinačnih elemenata mostova do opće ocjene mosta? U sustavima koji primjenjuju decimalne točnosti ocjena elemenata, pridruživanje konačne ocjene prosječnim izračunom čini se opasnim, jer se na taj način ne iskazuju stanja potencijalno najugroženijih elemenata koji mogu dovesti do havarije. Time prosjek nema smisla - dapače, može biti opasan.

Stoga ocjena stanja konstrukcije ili promatranog dijela (elementa) definira se u odnosu na referentnu vrijednost ocjene povezane s pretpostavljenim stanjem. Povezivanjem ocjene s referentnom razinom postiže se to da je ocjena manje podložna utjecaju broja tipova oštećenja i broja elemenata od kojih se sastoji konstrukcija. Referentna razina stanja nije jednaka za sve građevine, već se formira ovisno o dispoziciji mosta i potencijalnim oštećenjima. Referentna vrijednost treba uzeti u obzir oštećenja koja se očekuju na postojećim elementima konstrukcije te nasuprot tome, ignorirati oštećenja koja se ne mogu pojaviti.

2.4.2.3. Ocjenjivanje stanja mostova

Ocjenjivanje postojećih konstrukcija dotrajalih zbog izloženosti agresivnim medijima, loše izvedbe, zanemarivanja problema trajnosti ili povećanih zahtjeva na konstrukciju, važno je zbog odabira prikladne metode održavanja [18]. Posebno je zanimljiv sustav razvijen u SAD [19], zbog toga jer je ondje provedeno naj iscrpnije istraživanje učinkovitosti vizualnih pregleda [20]. Sve savezne države SAD-a od 1970. su obavezne organizirati praćenje stanja mostova na cestama od državnog značaja. Za potrebe Sustava gospodarenja mostovima (BMS) uspostavljeni su Državni standardi za pregled mostova - NBIS [21]. Prema ovim standardima mostovi su bili podijeljeni na četiri glavne konstrukcijske cjeline, koje su zasebno ocjenjivane temeljem pregleda: gornji ustroj, donji ustroj, kolnička ploča i propusti.

Proces ocjenjivanja provodio se svake dvije godine, na takav način da se svakome od 4 glavna dijela dodjeljivala cjelobrojna ocjena između 1 i 9. Ocjene odražavaju stupanj dotrajlosti, tako što ocjena "9" pripada mostu bez ikakvih oštećenja i nedostataka, a ocjena "0" mostu koji je toliko propao da se više ne može popraviti.

Dugogodišnjim korištenjem ovakvog sustava ustanovljeni su njegovi bitni nedostaci:

- podjela mosta na dijelove nije dovoljno detaljna za identifikaciju prikladnih strategija za održavanje,
- ocjene ne prepoznaju proces dotrajavanja kao ni opseg kojim su dijelovi mosta zahvaćeni dotrajavanjem,
- ocjenjivanje je vrlo subjektivno, jer se ocjenjuje "opće stanje" mosta.

Nedostaci ovog sustava potakli su razradu novih sustava tijekom 90-ih godina 20. stoljeća uz potporu Državne organizacije službenika koji se bave autocestama i transportom (AASHTO), što im u SAD daje službenu težinu na saveznoj razini.

Prema novom sustavu most se dijeli na veći broj elemenata, kojima se stanje mjeri prema skali koja odražava uobičajeni proces dotrajavanja i učinak dotrajavanja na uporabljivost. Ocjene stanja mosta definirane su na takav način da iz njih proizlaze potrebna djelovanja na održavanju, odnosno tako da se mogu približno odrediti troškovi i trajanje radova, a u principu se definiraju zasebno za svaki proces koji vodi propadanju mosta. Za svaki element i za svaki mjerodavni proces dotrajavanja prikupljaju se dvije bitne informacije: stanje (stupanj dotrajalosti) i opseg (količina ugroženih elemenata).

U sklopu sustava gospodarenja mostovima, u različitim zemljama razvijena su posebna pomagala koja prate preglede mostova, kao što su priručnici, smjernice i proračunski postupci kojima se uočena oštećenja nastoje objektivno kvantificirati. U većem broju razvijenih država ovom se djelatnošću bave specijalisti. Ovakav pristup posljedica je specifičnosti mostova u odnosu na ostale građevine:

1. mostovi se sastoje od skupina dijelova koji se često razlikuju po materijalu, kakvoći, izloženosti različitim djelovanjima i načinu izvedbe, pa sukladno tome dotrajavaju različitom brzinom i prema zakonitostima što podliježu različitim mehanizmima,
2. tijekom relativno dugog uporabnog vijeka dijelovi mostova prolaze kroz karakteristične faze dotrajavanja, koje su, za neki dominantni proces, prepoznatljive,
3. proces dotrajavanja ne napreduje jednoliko po promatranom elementu mosta, jer većina oštećenja ima žarište na mjestima početnih nedostataka, odnosno na mjestima koja su posebno izložena agresivnim djelovanjima.

Ocjenjivanje se obavlja tako da se most - ispitivana struktura, podijeli u dijelove ili područja koja su ugrožena do istog stupnja uz nalaženje najkritičnijeg dijela dotrajale strukture. Podaci – ocjene, formiraju se u svrhu određivanja prioriteta sanacija i planiranja potrebnih radova održavanja na osnovi jediničnih cijena radova. Pojedine ocjene oštećenja uključuju usporedive i slične pojave, kako bi se izvješća o nalazu pregleda ujednačila. Razlike u postupcima pojedinih zemalja više su terminološke nego stvarne.

Postupci za ocjenu stanja mostova zasnovani su na klasifikaciji oštećenja u nekoliko ocjena koje obuhvaćaju usporedive pojave, kako bi se izvješća i analize ujednačile i svele stanje na određen broj tipova kojima pridružujemo troškovničke stavke postupaka popravaka.

Obzirom da za neke od procesa u ranoj fazi nema vidljivih manifestacija, jasno je da vizualni pregled najčešće nije dostatan za ispravnu prosudbu. No, budući da su ispitivanja složena i skupa, na većini mostova manje veličine i značaja ocjene određene vizualnim pregledom jedine su po kojima se gospodari. Korelacija ovih ocjena sa stvarnim stanjem bitno ovisi o iskustvu i inženjerskoj procjeni neposrednog izvršitelja pregleda. Način ocjenjivanja bitno utječe na formiranje seta ocjena: u najjednostavnijoj varijanti sustava inženjer na terenu upisuje ocjenu svakog elementa mosta i potom agregira ocjene u zbirne. U složenijim sustavima osoba zadužena za pregled registrira tip i opseg pojedinih oštećenja i unosi u računalnu aplikaciju, koja automatskim procedurama određuje ocjenu elementa, skupine dijelova i čitavog mosta.

Ocjene stanja mosta definirane su na takav način da iz njih proizlaze potrebna djelovanja na održavanju u budućnosti, odnosno tako da se mogu približno odrediti troškovi i trajanje radova .

Svakome od mogućih stanja odgovara posebna vrsta (ili vrste) popravaka, primjerice:

- kada zaštita otkazuje, potrebno je obnoviti,
- kada je beton prožet (kontaminiran) tada je potrebno ukloniti i zamijeniti ugroženi sloj, jer sama obnova ili izvedba vanjske zaštite nije učinkovita za kontaminirani element,
- kada započne korozija armaturnog čelika treba djelovati u pravcu njezinog zaustavljanja.

Slično tome, posebni zahvati održavanja mogu se navesti za sve uobičajene elemente mostova i uobičajena gradiva.

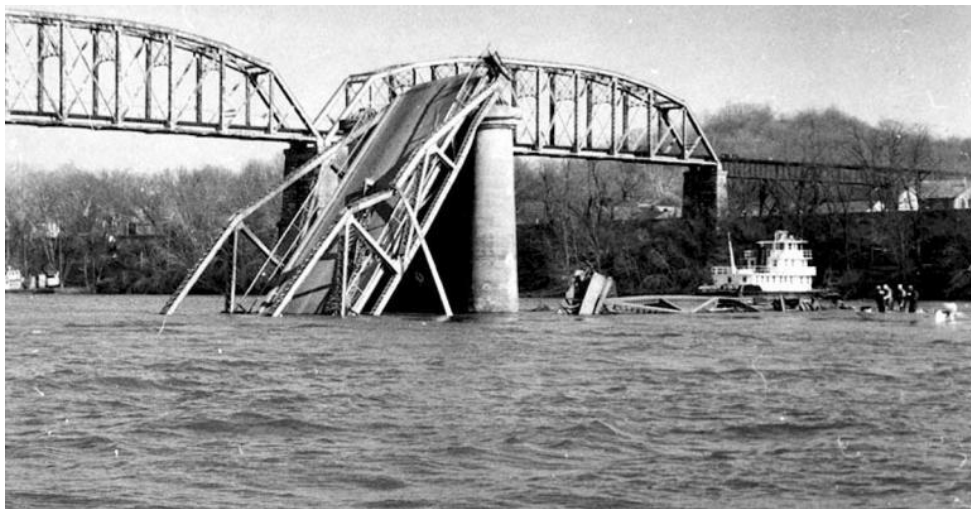
2.4.2.4. Elementi sustava gospodarenja

Mostovi su jedan segment sustava gospodarenja građevinama. Građevine unutar sustava mogu biti različite, čime se uvažava činjenica da se održavanje financijski planira na razini mreže jednog upravitelja čije su mostovi samo jedan segment. Sa tehničkog stajališta teško je uspoređivati prioritete popravaka mosta, kolnika i tunela, međutim se u praksi donose upravo takve odluke te ih je potrebno maksimalno objektivizirati što se nastoji razradom sličnih i povezanih sustava gospodarenja za mostove, tunele i druge građevine pod istim upraviteljem.

2.5. Utjecaj trenutnog stanja mostova na njihovu funkciju

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 12.). 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 12. 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*) [22].

2.6. Standardizacija 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

Ti podaci se nazivaju 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 [23], [24]. 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: *Pokazatelji učinkovitosti* a 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 utvrđivanje 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.

2.6.1. 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 [25], [26]: (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 je 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 [27], glavni zaključci su kako slijedi. Najčešće korišteni pokazatelji učinkovitosti su indeks stanja, ocjena stanja, indeks dotrajanja ..., 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.

2.6.2. ***Općenito o pregledima***

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 inspekcijeskoga nadzora.

U načelu propisuju se sljedeći najveći razmaci pregleda [28]:

- 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)

Terenska ispitivanja (pregledi) konstrukcija spadaju u redovite preglede konstrukcija, 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.

Na osnovi vizualnih pregleda i nerazornih ispitivanja ucrtavaju se oštećenja i stanja svakog od njih u podloge za ucrtavanje oštećenja napravljene prema cjelokupnim dispozicijama mostova. Podloge obuhvaćaju razvijene plohe apsolutno svih površina mosta, uključujući prometne površine, rasponsku konstrukciju, stupove i upornjake (slika 13.). Na njima su usklađena mjerila u poprečnom i uzdužnom smjeru kako bi bilježenje oštećenja bilo što jednostavnije i efikasnije.

Upravo rezultati tih terenskih istraživanja su podloga za utvrđivanje pokazatelja učinkovitosti i procjenu stanja mostova prema dalje opisanom postupku.

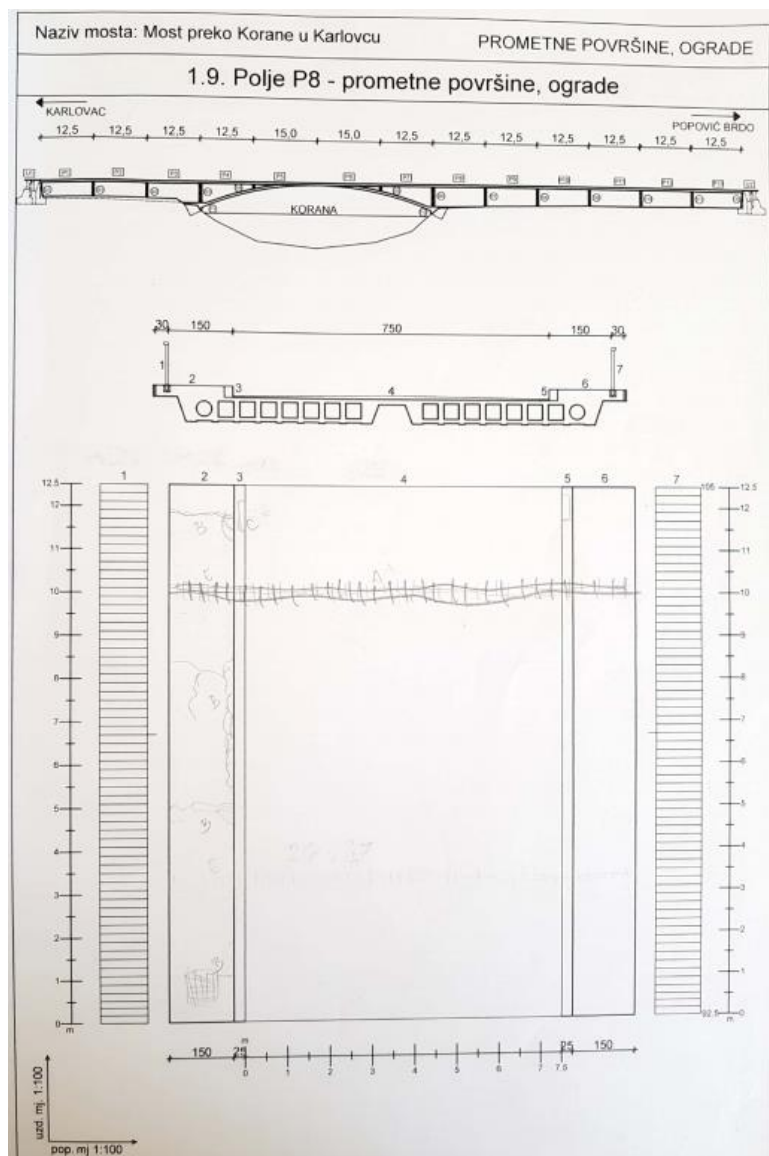
2.6.3. ***Primjeri uočenih oštećenja na određenim komponentama mosta i njihov utjecaj na funkciju***

Kod pregleda jako je bitno uočiti gdje se točno nalazi pojedino oštećenje, jer odvojeno gledajući komponente mosta, pojedine od njih nose bitniju ulogu od drugih (npr. stup naspram vijenca). Zatim se događa razlika i kod vrsta oštećenja, mnogo je bitnije pronaći koroziju armature nego uočiti grafit na mostu. To sve vodi k dodjeljivanju važnosti svakom oštećenju, prvo na razini komponente mosta a zatim vrste oštećenja (tablica 5.)

Treba moći odrediti i na kojim oštećenjima treba prvo intervenirati a da se što više očuva trajnost i funkcionalnost mosta. Upravo to je rezultat postupka za procjenu stanja mosta.

Kao primjer dano je oštećenje prijelazne naprave na lučnom mostu preko Korane (Slika 14.,15.) i oštećenje ograde kod nadvožnjaka Gradna (Slika 16.,17). Dilatacije i pukotine na prijelaznoj napravi mnogo su opasnije oštećenje od korozije ograde, jer ugrožavaju sigurnost korisnika i čitave konstrukcije. Veličina i stupanj oštećenja zahtijevaju potpunu zamjenu prijelaznih naprava i oblaganje hidroizolacijskim materijalima. Zatečeno stanje 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. Korozija ograde na nadvožnjaku Gradna zahvatila je samo zaštitni sloj ograde te se ona može riješiti nanošenjem novog zaštitnog sloja uz mogućnost slobodnog prometovanja preko mosta.

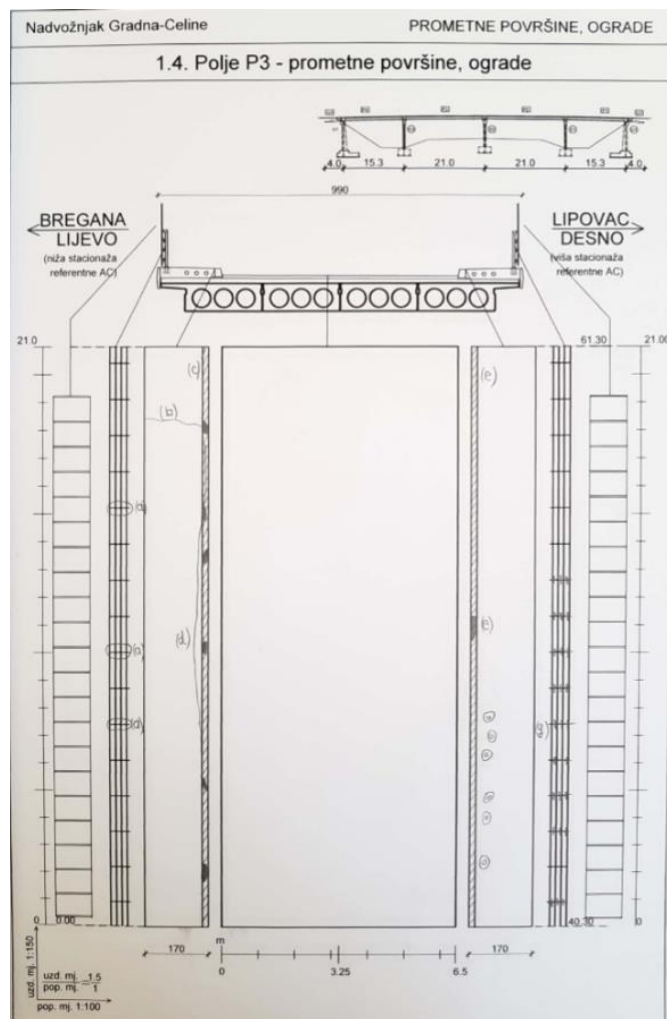
Kao što se može uočiti iz ovog primjera jedino na osnovi odrađenih pregleda mosta i zatim analize uočenih oštećenja postupkom za procjenu stanja mosta može se odrediti daljnje postupanje pri održavanju mosta za očuvanje njegove trajnosti i funkcionalnosti, te ispunjavanje unaprijed predviđenog vijeka trajanja.



Slika 14. Podloga prometne površine sa ucrtanom dilatacijom na mostu preko Korane



Slika 15. Dilatacije i pukotine na prijelaznoj napravi mosta preko Korane



Slika 16. Podloga prometne površine sa ucrtanom korozijom na ogradi nadvožnjaka Gradna



Slika 17. Korozija ograde na nadvožnjaku Gradna

3. SISTEMATIZACIJA POKAZATELJA UČINKOVITOSTI

Upravljanje cestovnim mostovima obuhvaća koordinirane aktivnosti za ostvarenje optimalne vrijednosti, što uključuje uravnoteženje troškova, rizika, mogućnosti i ciljeva izvedbe. Cilj izvedbe može se smatrati svojstvom ili ponašanjem mosta koje je potrebno tijekom svog životnog vijeka. Različite vrste ciljeva učinkovitosti trebaju se postići na različitim razinama imovine kolničkog mosta, kao dio njegove učinkovite strategije održavanja. Na primjer, funkcionalnost određenog elementa mosta (kao što je stabilnost upornjaka, kapacitet nosivosti na savijanje glavnog nosača ili stupanj zadržanja zaštitne ograde) predstavlja ciljanu učinkovitost (eng. performance goal) na razini komponente. Odgovarajući seizmička učinkovitost kompletne strukture mostova je cilj na razini sustava, ali uzimajući u obzir relativnu važnost u cestovnoj mreži i posljedice njegovog otkazivanja, to može postati cilj na razini mreže.

Bez obzira je li postignut ili će biti postignut cilj, može se procijeniti kroz razvoj različitih pokazatelja učinkovitosti, što dodatno podrazumijeva poznavanje njihovih razina utjecaja na promatrani cilj učinkovitosti. Pokazatelj učinkovitosti može se definirati kao nadređeni pojam karakteristike mosta koji ima mogućnost naznačiti stanje mosta. Može se izraziti u obliku dimenzionalnog parametra učinkovitosti ili bezdimenzionalnog indeksa učinkovitosti. Prvi je mjerljivi / testabilni parametar koji kvantitativno opisuje određeni aspekt učinkovitosti (npr. širina pukotine), a drugi je kvalitativni prikaz aspekta učinkovitosti (npr. važnost komponente mosta u cijeloj mostovnoj strukturi ili važnost mosta u cjelovitoj mreži).

Da bismo procijenili određeni pokazatelj uspješnosti, moraju se postaviti pragovi ili kriteriji učinkovitosti. Vrijednost praga predstavlja granicu u cilju:

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

3.1. Pokazatelji učinkovitosti

Kriterij je karakteristika koja je relevantna za izbor između procesa, npr. kao što su akcije 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 lakše identificirala razina njihovog utjecaja na određeni ključni pokazatelj učinkovitosti. Detaljnija kategorizacija oštećenja kao pokazatelja uspješnosti treba razmotriti njihovo podrijetlo, srodne metode detekcije, pragove učinkovitosti i metode vrednovanja, a konačno razine i proširenje njihovog utjecaja na određeni cilj izvedbe koji se može kvantificirati u terminima novčanih jedinica.

3.1.1. Pokazatelji na razini komponente

Pregled mosta općenito se provodi po elementima mostova (komponentama) koji čine tri glavna podsustava mostova: donji ustroj, gornji ustroj, kolnička površina, prikazani na slici 18. [29]

Komponente mostova, uključujući sastavne materijale, dane su u tablici 1.



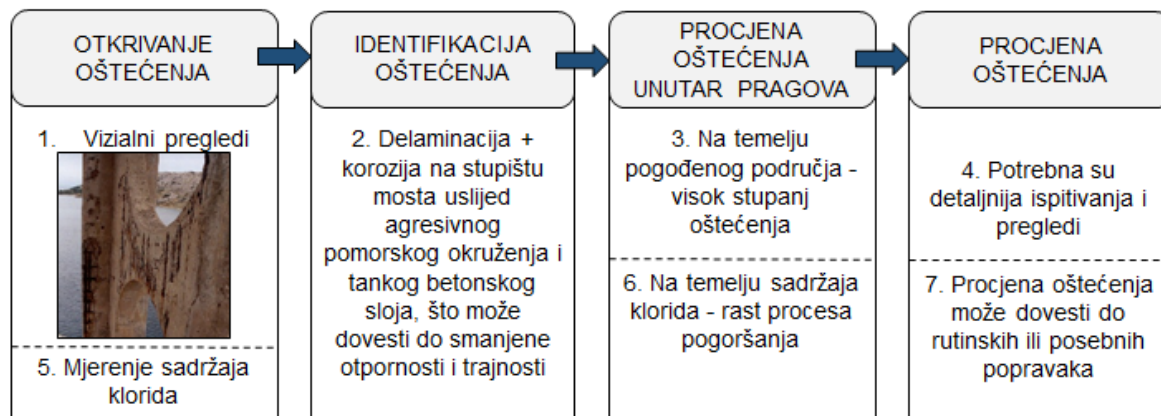
Slika 18. Tri glavna posustava mostova: podstruktura, nadstruktura i kolnik/oprema

Tablica 1. Elementi mostova za kategorizaciju na razini komponente

		Kolnik i oprema
Temelji (betonski)	nadstruktura (ojačani beton)	Kolnik
Duboki temelji, piloti (betonski)	nadstruktura (prednapeti beton)	rubnjak i vijenac
Duboki temelji, piloti (čelični)	nadstruktura (čelična)	ograde
Duboki temelji, piloti (drveni)	nadstruktura (kompozitna)	pješački hodnik
Upornjaci (betonski)	nadstruktura (drvena)	ležajevi
Upornjaci (zidani)	nadstruktura (ciglana)	prijelazne naprave
Stupovi (betonski)	nadstruktura (kamena)	odvodnja
Stupovi (čelični)	luk (betonski)	rasvjeta
Stupovi (zidani)	luk (zidani)	Signalizacija
...	...	...

3.1.1.1. Tehnički aspekti

Na razini komponente mostova, jedan od važnih ciljeva koji se treba postići (ili zadatak koji se treba izvršiti) je procjena oštećenja. To podrazumijeva otkrivanje oštećenja, ali i njihovu identifikaciju i procjenu unutar postavljenih pragova . Oštećenje elementa mosta je fizički poremećaj ili promjena u njegovom stanju, uzrokovana vanjskim djelovanjem, tako da je neki aspekt, bilo trenutni ili budući učinak komponente (i možda uzastopno kompletne strukture), oštećen.



Slika 19. Procjena oštećenja - podrazumijeva otkrivanje oštećenja, kao i njihovu identifikaciju i procjenu

Četiri glavna pristupa za otkrivanje oštećenja su vizualna inspekcija, nerazorno ispitivanje, ispitivanje uzoraka i monitoring stanja konstrukcije (Slika 19). Osim pronalaženja i karakterizacije, identifikacija oštećenja obuhvaća utvrđivanje uzroka oštećenja i njegovih posljedica te razvoj oštećenja koja obuhvaćaju stupanj ili / i proširenje u odnosu na zadanu vrijednost praga.

Osim najčešće postavljenih gornjih granica, dodatni prag procjene oštećenja može biti trajanje faze oštećenja, što će dati naznake u kojoj fazi napretka oštećenja element je pronađen: nizak, umjeren ili visok napredak. Prvi će zahtijevati zaštitu od daljnjeg napredovanja, drugi će zahtijevati rutinski popravak, a posljednji zahtijeva detaljnije inspekcije i ispitivanja koja dovode do rutinskih ili posebnih popravaka.

Primjer za kategorizaciju oštećenja kao primarnog pokazatelja učinkovitosti, uzimajući u obzir povezane metode detekcije, pragove učinkovitosti i metode vrednovanja, dan je u tablici 2.

Ova bi kategorizacija trebala biti učinjena na razini svake komponente mostova, kao što će, na primjer, otkrivanje pukotine biti različito procijenjeno ovisno o tome gdje se nalazi, koja je njegova širina, njegova orijentacija i podrijetlo.



Slika 20. Glavni pristupi otkrivanju oštećenja: vizualni pregled, nerazorno ispitivanje, sondiranje i monitoring

Osim toga, trebalo bi utvrditi razliku između stanja i procesa oštećenja, kao prvo trebalo bi se vrednovati na temelju opsega ili stupnja oštećenja, dok bi se kasnije trebalo temeljiti na fazi procesa oštećenja. Na primjer, korozija je proces oštećenja. Ipak, procjenjuje se kao stanje oštećenja na temelju produljenja oštećenja, kao što je na primjer zahvaćeno područje komponente (u m²) ili postotak oštećenog poprečnog presjeka armature (u %). S druge strane, ako se izmjeri sadržaj klorida ili dubina karbonizacije, moguće je procijeniti u kojoj fazi procesa korozije se nalazi komponenta.

Nakon procjene oštećenja određenog elementa mosta, razina funkcionalnosti komponente može se procijeniti. U skladu s tim, element se može ocijeniti u najboljem stanju ako se ne otkriju nikakva oštećenja, sa neupitnom funkcijom kod oštećenja u početnoj fazi, sa neugroženom funkcijom kada je oštećenje umjereno, te upitnom funkcijom ili element nije funkcionalan kada je šteta visokog stupnja i/ ili širenja.

Tablica 2. Primjer kategorizacije stupnja / proširenja oštećenja kao pokazatelja primarne učinkovitosti za betonsku nadgradnju.

Vrsta oštećenja (karakteristike)	Pokazatelj Oštećenja	Otkrivanje oštećenja	Prag oštećenja	Procjena oštećenja
Abrazija	Zahvaćeno područje (m ²) + zahvaćena dubina (cm)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi / gornja vrijednost + trajanje faze oštećenja	Ocjene prema priručniku oštećenja
Kavitacija	Brzina odbijenog signala	Akustična emisija		Analiza rezultata
	Rrezonancija u spektru amplituda-frekvencija	Impact-echo test		Analiza rezultata
Korozija	Zahvaćeno područje (m ²)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi	Ocjene prema priručniku oštećenja
	Postotak oštećenog poprečnog presjeka armature (%)	Specijalna detaljna inspekcija	Gornje vrijednosti svake faze +trajanje faze oštećenja	Ocjene prema priručniku oštećenja
	Fizikalni parametar	In situ test		Analiza rezultata
	Potencijal (mV)	Mjerenja polu-staničnog potencijala	Razredi I donja granica	Procjena rizika od korozije
	sadržaj klorida (%)	Ispitivanje na betonskim uzorcima u laboratoriju	Kritična vrijednost	Kvantitativna analiza
	Dubina karbonatizacije (mm)	Laboratorijsko ispitivanje prikupljenog materijala	Granica dubine karbonatizacije	Procjena rizika od korozije
		<i>Sustavi za nadzor korozije</i>		<i>Praćenje napretka korozije</i>
Pukotine	Širina pukotine (mm)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi / gornja vrijednost + trajanje faze oštećenja	Ocjene prema priručniku oštećenja
	Širina/dubina pukotine	Ultrazvučno ispitivanje brzine	Gornja granica	Analiza ispitivanja
	postojanje	Ispitivanje čekićem		
		<i>SHM pucanja</i>		<i>Praćenje napretka pukotina</i>
Delaminacija	Zahvaćeno područje (m ²) + zahvaćena dubina (cm ili mm)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi	Ocjene prema priručniku oštećenja
Izvijanje	Dugotrajno izvijanje	Vizualni pregledi + <i>izravna (dugotrajna) mjerenja</i>	Gornja granica	<i>Praćenje napretka izvijanja</i>
Umor	Stupanj oštećenja	Vizualni pregledi	razredi	Katalog oštećenja
		<i>Senzori za oštećenje ili pukotinu pri umoru</i>		<i>Praćenje napretka oštećenja pri umoru</i>
Nedovoljan betonski sloj	Zahvaćeno područje (m ²)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi	Ocjene prema priručniku oštećenja
Nedovoljna kvaliteta betona	Fizikalni parametri	sondiranje		Analiza ispitivanja

		Odskok čekićem		
Podlokavanje	Nedostatnost hidraulike, dubina	Izravna mjerenja	Gornja granica	Ispitivanja
	Diferencijalna rotacija + pomicanja	Izravna mjerenja	Gornja granica	<i>Praćenje kritičnosti rezultata</i>
	Diferencijalno slijeganje	Izravna mjerenja	Gornja granica	<i>Praćenje kritičnosti rezultata</i>
		<i>uređaji za praćenje podlokavanja</i>		<i>Praćenje kritičnosti rezultata</i>
Ljuštenje	Zahvaćeno područje (m ²) + zahvaćena dubina (cm ili mm)	Vizualni pregledi + izravna mjerenja	Razredi	Ocjene prema priručniku oštećenja

3.1.1.2. Društveno-ekonomski aspekti

Na ovoj razini se moraju uključiti društveno-ekonomski aspekti. Omjer zbroja troškova za popravak individualnog oštećenja i cijene novog elementa je pokazatelj procjene općeg stanja elementa. Prag za ovaj pokazatelj može biti postavljen kao kvantitativna skala vrijednosti koja pokazuje stupanj procjene stanja elementa. Za sve elemente, za koje je taj omjer iznad 1,0, treba predvidjeti zamjenu novim elementom.

3.1.2. ***Pokazatelji učinkovitosti na razini sustava***

Kako bi se utvrdio utjecaj funkcionalnosti oštećenog elementa na cjelokupnu strukturu, važnost elementa mosta treba se ocijeniti prema sljedećim kriterijima: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost i trajnost. [30] Kvalitativna veličina vrijednosti (vidi primjer u tablici 3) temeljena na smjernicama za procjenu mosta, [29] može pokazati kako kolaps određenog elementa utječe na svaki kriterij. Osim tehničkih pokazatelja, na ovoj razini, pokazatelji održivosti i društveno-ekonomski pokazatelji pretpostavit će bitan utjecaj na zahtjeve učinkovitosti.

Osim toga, na toj se razini moraju uključiti pokazatelji vezani uz znanstvena dostignuća u, primjerice, testiranju i monitoringu, dinamičkom ponašanju i pouzdanost konstrukcija mostova. Na primjer, procjena pouzdanosti mostova zahtijevat će odgovarajuću razinu znanja o pojedinim svojstvima povezanim s konkretnim mostom, kao što su npr. promjene krutosti i lokalizirano prometno opterećenje mosta koje zahtijeva ulaganje u dodatnu metodu pregleda, ispitivanja ili praćenja, napredne tehnike modeliranja i ažuriranje podataka o otpornosti mosta i opterećenja. pokazatelji učinkovitosti temeljeni na znanstvenim istraživanjima, uključujući one koji se već mogu primijeniti u praksi, kao i one u čiji razvoj vrijedi investirati, imaju mogućnost poboljšati postojeće metode procjene učinkovitosti konstrukcija, a time i upravljanje cestovnim mostovima na europskoj razini.

3.1.2.1. *Tehnički aspekti*

Tehnički kriteriji kod ove razine su oni koji se odnose na sigurnost i uporabljivost mostova kao glavne ciljeve učinkovitosti koji se koriste u postojećim dokumentima za ispitivanja i ocjenjivanje mostova. Na temelju ovog kriterija može se zaključiti da otkazivanje određenog elementa nema utjecaja na sigurnost strukture mosta, ima utjecaj na dio strukture mosta ili ima utjecaja na cijelu strukturu mosta (Tablica 3).

3.1.2.2. *Aspekti održivosti*

Kada se ocjenjuju zahtjevi izvedbe, pod određenim uvjetima tijekom određenog vremenskog razdoblja, pojavljuju se problemi održivosti. Trajnost se može smatrati ciljem održivosti koji treba uključiti kao kriterij za procjenu stanja podsustava mosta koji obuhvaćaju kolničku površinu, rasponsku konstrukciju i donji ustroj, kao i cijelu procjenu stanja mosta. Na temelju

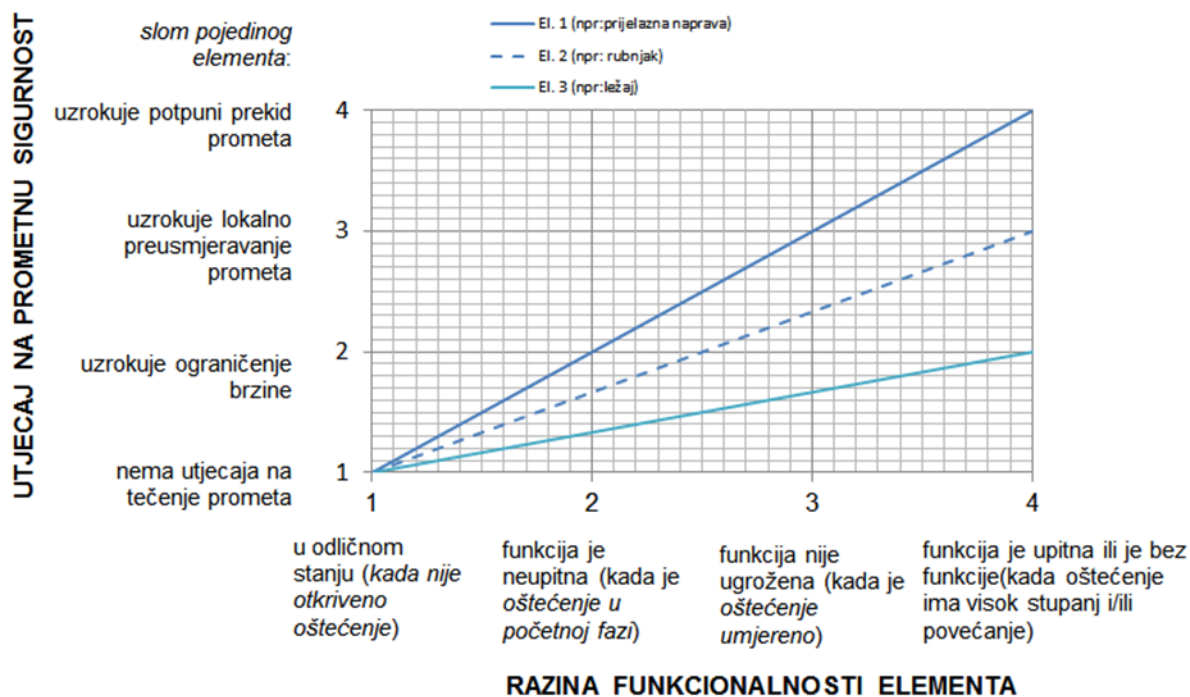
kriterija izdržljivosti može se zaključiti da otkazivanje nekog elementa neće imati utjecaja na trajnost ostalih komponenti ili bi suprotno tom otkazivanje određenog elementa uzrokovao smanjenu trajnost ostalih komponenti (Tablica 3).

Tablica 3. Primjer funkcionalnosti komponente na razini sustava prema različitim kriterijima

Kriterij sigurnost konstrukcije	Kriterij prometna sigurnost	Kriterij trajnost
Kolaps pojedinog elementa		
Nema utjecaja na sigurnost mosta <i>Ograda, rubnjak, nasip</i> ...	Nema utjecaja na protok prometa <i>Vijenac,</i> ...	Nema utjecaja na trajnost ostalih komponenti <i>glavni nosač, luk, stup, temelj, ...</i>
Ima utjecaja na dio strukture mosta <i>Vijenac, poprečni nosač, ležaj, krilo upornjaka</i> ...	Uzrokuje ograničenje brzine <i>Hodnik sa pregradom</i> ...	Uzrokuje smanjenu trajnost ostalih komponenti <i>Prijelazna naprava, kolnik, rubnjak, odvodnja...</i>
Ima utjecaja na čitavu strukturu mosta <i>glavna nosač, luk, stup, temelj,</i> ...	Uzrokuje preusmjeravanje lokalnog prometa <i>Pješački hodnik, nasip, rubnjak, odvodnja, ...</i>	
	Potpuni prekid prometa <i>Kolnik, prijelazna naprava, kolnička ploča ...</i>	

3.1.2.3. Društveno-ekonomski aspekti

Sigurnost prometa može se smatrati društveno-ekonomskim ciljem učinkovitosti. Naime, kao kriteriji za procjenu stanja podsustava mostova ili cijokupne procjene stanja mostova, ona se izražava u razinama ograničenja prometa ili zakrčenosti: otkazivanje određenog elementa nema utjecaja na tok prometa, uzrokuje ograničenje brzine, uzrokuje preusmjeravanje lokalnog prometa ili potpuni prekid prometa (Slika 21.). Dodatni pokazatelj koji se podiže na razini sustava je procjena općeg stanja elementa, koja će pomoći u procjeni stanja podsustava i time i cijelog mosta.



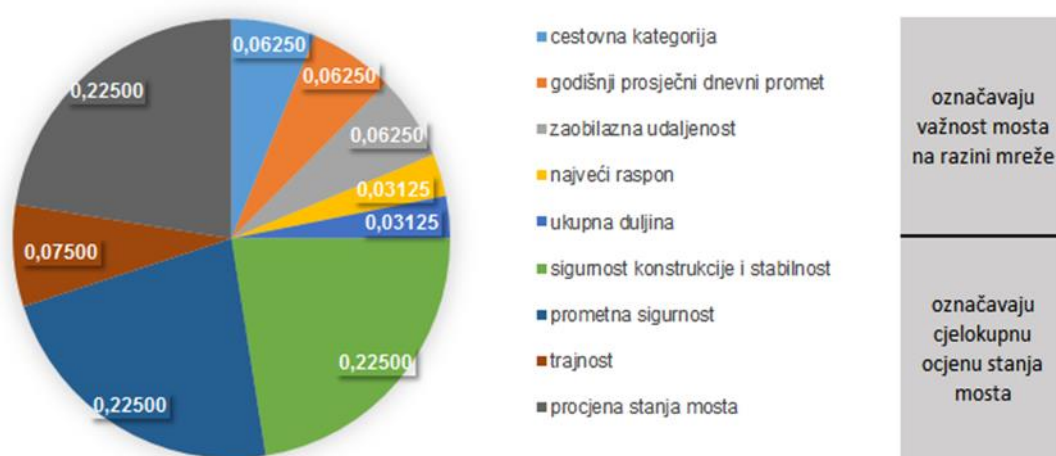
Slika 21. Primjer odnosa važnosti oštećenja odgovarajuće komponente i važnosti komponente za prometnu sigurnost (os x oštećenje odgovarajuće komponente, os y prometna sigurnost)

Primjer procjene prometne sigurnosti na temelju funkcionalne razine elementa prikazan je na slici 21. U tom slučaju, razina funkcionalnosti elementa može se ocjenjivati od 1, što znači da je element u najboljem stanju (kad se ne otkriju nikakva oštećenja), do 4, što znači da je element izvan funkcije (kada je oštećenje visokog stupnja ili širenja). Ovaj primjer temelji se na Smjernicama za ocjenjivanje mostova Hrvatskih autocesta. [29]

3.1.3. *Pokazatelji učinkovitosti na razini mreže*

Na razini cestovne mreže, na temelju procjene stanja mostova dobivenih standardnim postupcima pregleda i procjene s dodatnom procjenom važnosti mosta u mreži, primarni cilj koji se treba postići je rangiranje prioriteta. Procjena stanja mostova temelji se na četiri kriterija: sigurnost konstrukcije, trajnost, prometna sigurnost i opće stanje mostova. [31] S druge strane, važnost mosta u mreži temelji se na pet kriterija: kategoriji ceste, godišnjem prosječnom dnevnom prometu, zaobilaznoj udaljenosti, najvećem rasponu, ukupnoj duljini mosta.[32] Na temelju iskustva u upravljanju mostovima iz prakse, procjena stanja mostova iznosi 75%, a težina važnosti mosta 25% u prioritetnom rangiranju.

Kriteriji koji se odnose na stanje mostova temelje se na postupku procjene oštećenja koji se pregledava na temelju postojećih dokumenata pregleda i procjene. Težine od četiri kriterija koji ukazuju na procjenu stanja mostova, temeljene na praktičnom iskustvu u upravljanju mostovima, razmatrane su kako slijedi: sigurnost konstrukcije 30%, trajnost 10%, prometna sigurnost 30% i opće stanje mostova 30%. Prva tri kriterija povezana s značenjem mosta – kategorija ceste, godišnji prosječni dnevni promet i zaobilazna udaljenost - međusobno su neovisni i jednako važni za odlučivanje o važnosti mosta. Kriterij najvećeg raspona mosta i kriterij ukupne duljine mosta opisuju zajedničke zahtjeve za izgradnju i vrijednost imovine, pa stoga njihova važnost u cjelini može se smatrati jednakom kao i drugi kriteriji. Stoga, predložene su sljedeće težine pojedinih kriterija: kategorija ceste 25% (W_{RC}); godišnji prosječni dnevni promet 25% ($WAADT$); zaobilazna udaljenost 25% (WDD); najveći raspon 12,5% (WLS); ukupna duljina 12,5% (WTL), koje su naznačene na slici 22.



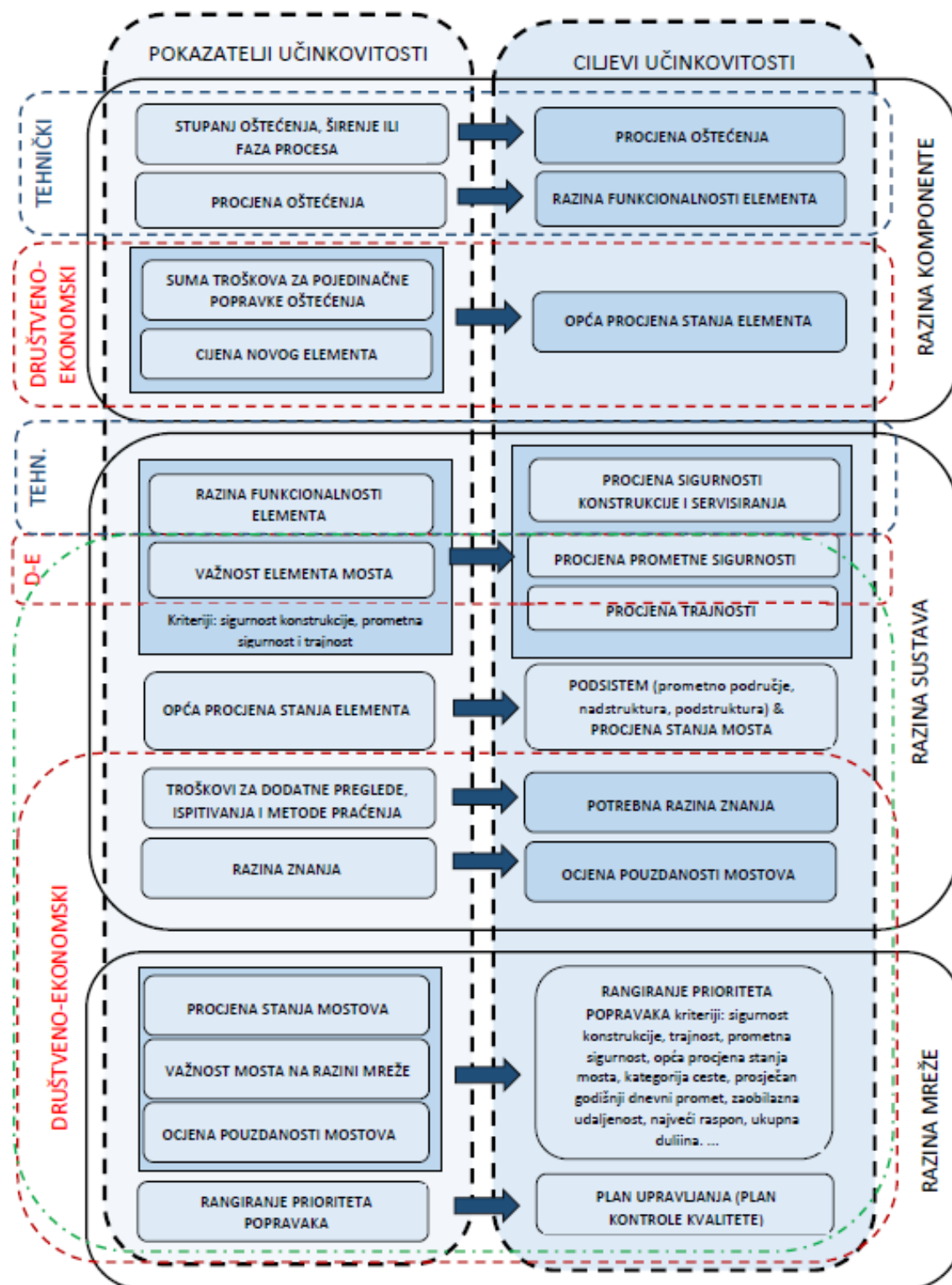
Slika 22. Primjer učešća (težina) pojedinih kriterija za rangiranje prioriteta [5], [20]

Takvi su kriteriji svedeni na usporedive vrijednosti uz pomoć prioriternih funkcija i odgovarajućeg praga indiferencije i preferencije svakog pojedinog kriterija. Na ovoj razini, pokazatelji koji se odnose na znanstvena postignuća kao što je procjena pouzdanosti mostova trebaju se kontinuirano razvijati na prethodnoj razini i uključiti u rangiranje prioriteta.

Poredak prioriternih popravaka, istodobno, bitan je pokazatelj konačnog cilja: optimalni plan upravljanja prometnim mostovima, koji se ocjenjuju rangiranjem odluka po moći i slabosti odlučivanja kako je predloženo, na primjer, na hrvatskim autocestama 2008. [33]

3.2. Pokazatelji učinkovitosti vs. ciljevi (zadaci) unutar upravljanja mostom

Razmatranja iz prethodnog poglavlja prikazana su kroz sveobuhvatnu shemu prikazanu na slici 23.



Slika 23. Sveobuhvatna shema postupka

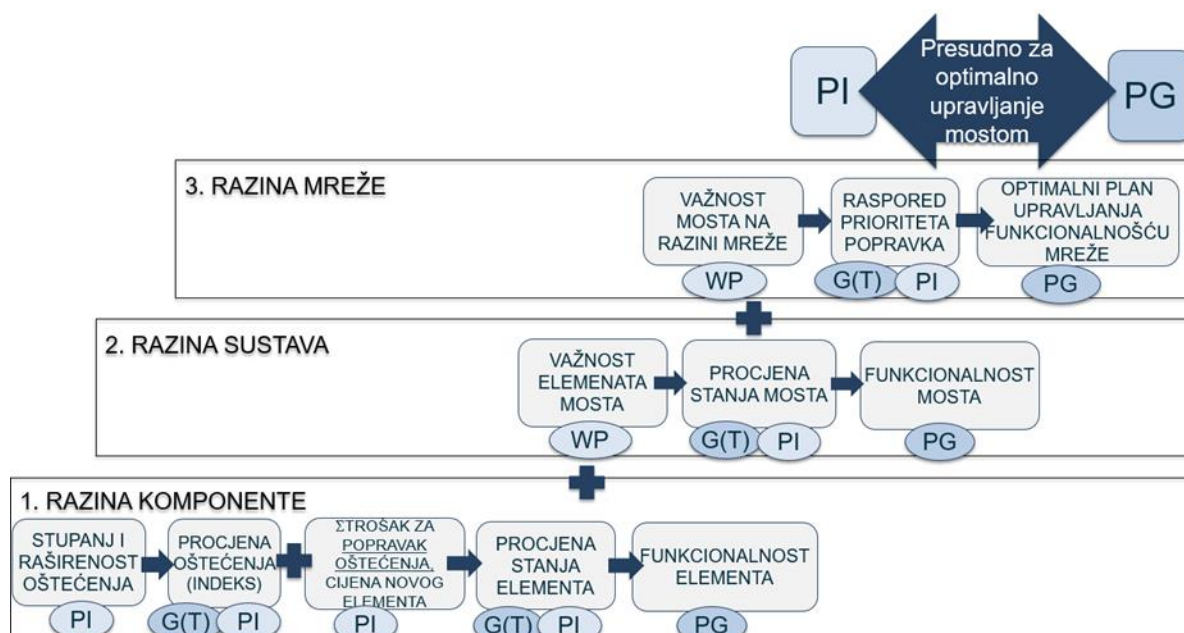
Na razini komponenata mostova, jedan od prvih zadataka je procjena oštećenja. Nakon procjene oštećenja određenog elementa mosta, funkcionalnost komponente i razina sigurnosti mogu se vrednovati. Na toj se razini moraju uključiti društveno-ekonomski aspekti. Omjer zbroja troškova za popravak individualnog oštećenja i cijene novog elementa je pokazatelj procjene općeg stanja elementa.

Kako bi se utvrdio utjecaj funkcionalnosti oštećenog elementa na cjelokupnu strukturu, važnost elementa mosta valja ocjenjivati prema sljedećim kriterijima: sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost i trajnost. Važnost elementa je težina koju treba razmotriti u procjeni na razini sustava od razine komponente. Procjenu općeg stanja elementa treba podići iz komponente na razinu sustava, što će pomoći u procjeni stanja podsustava i posljedično cijelog mosta.

Osim toga, treba uključiti pokazatelje učinkovitosti na temelju istraživanja. Na primjer, procjena pouzdanosti mostova zahtijeva sveobuhvatno znanje o specifičnim svojstvima mosta povezanim s, na primjer, promjenom krutosti i lokalnim opterećenjem mosta, što zauzvrat zahtijeva ulaganje u dodatne inspekcije, testiranje, SHM tehnologije i alate. Na mrežnoj razini, primarni cilj koji se postiže je rangiranje prioriteta popravaka, temeljeno na procjeni stanja mosta, uključujući procjenu važnosti mosta u mreži.

Na ovoj razini, pokazatelji učinkovitosti temeljeni na istraživanjima (npr. ocjena pouzdanosti mostova), moraju se kontinuirano razvijati od prethodne razine i uključiti u rangiranje prioriteta. Rangiranje prioriteta popravaka, istodobno, bitan je pokazatelj konačnog cilja - optimalnog plana upravljanja kolničkim mostova.

Očigledno je iz ovog pregleda da je neizbježna interakcija različitih tipova pokazatelja, ali njihova kategorizacija omogućit će lakše prepoznavanje metoda za njihovu kvantifikaciju i razinu njihovog utjecaja na određeni cilj strukturalne izvedbe. S druge strane, može se primijetiti da se kategorizacija u pokazatelje i ciljeve vrlo često preklapa, jer je u jednom koraku postupka procjene mosta određeni parametar cilj a u sljedećem koraku postaje pokazatelj učinkovitosti za puno širi cilj.



Slika 24. Međudjelovanje pojedinih indikatora (PI), ciljeva (PG) i težinskih parametara (WP) [26], [27], [34]

Specifični dijagram toka polazeći od oštećenja kao prvi pokazatelj učinkovitosti na razini komponente prikazan je na slici 24.

Prvi cilj ili zadatak na razini komponente je procjena oštećenja. Po procjeni oštećenja određenog elementa mosta, indeks oštećenja postaje pokazatelj za sljedeći cilj - procjena razine funkcionalnosti komponenata. Na razini sustava funkcionalnost elementa kao pokazatelj, zajedno s važnosti elementa mosta kao parametar težine, od presudne je važnosti za sljedeću procjenu stanja ciljeva mosta. podizanje na razinu mreže čini procjenu stanja mosta kao pokazatelj koji zajedno s važnošću mosta u mreži kao parametar težine utječe na sljedeći cilj- rangiranje prioriteta popravka. Konačno, rangiranje prioriteta popravaka može se smatrati pokazateljem za plan kontrole kvalitete.

4. POSTUPAK KVANTIFICIRANJA KLJUČNIH POKAZATELJA UČINKOVITOSTI

4.1. Oštećenja povezana s komponentama

Pregledi mostova općenito se provode na razini komponenata (elemenata) mostova koji formiraju tri glavna podsustava mostova: donji ustroj, gornji ustroj odnosno glavna nosiva konstrukcija i prometna površina [35]. 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 [36, 26, 27] 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 4 [35] .

Tablica 4. Popis promatranih oštećenja povezanih s pojedinim elementima mosta i prikladne najveće važnosti pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ za funkcioniranje pojedinog elementa

GLAVNI PODSUSTAVI MOSTA	POJEDINA ČNI DIJELOVI	POJEDINAČNA KOMPONENTA /ELEMENT	OŠTEĆENJE	$I_{D,CO}$
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
			mrežaste pukotine	2
		HODNIK	pukotine uspijed temperaturnih promjena ili skupljanja	2
			kolotražanje u asfaltu	3
			pukotine u asfaltu	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
		VIJENAC	iscvjetavanje (izluživanje) betona	3
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			gnijezda u betonu	2
			kolotražanje u asfaltu	3
	KOLNIK	KOLNIČKA KONSTRUKCIJA		

			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

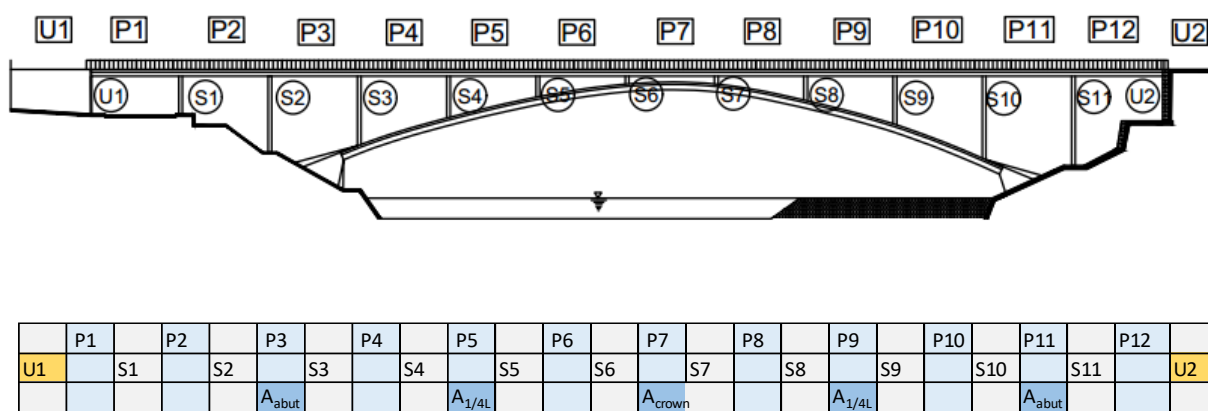
			slom šipke armature	4
DONJI USTROJ	UPORNJAK	LEŽAJ	moгуćnost ispadanja uslijed pomak	3
			prekoraćen dozvoljeni pomak ležaja	4
			vijak puknuo ili nedostaje	4
		LEŽAJNA KLUPICA	mrežaste pukotine	2
			konstruktivne pukotine	4
			odlamanje zaštitnog sloja	4
			korozija armature	4
		STUP/ZID	gnijezda u betonu	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	moгуćnost ispadanja uslijed pomak	3
			prekoraćen 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	RUBNJAK/RIGOL	mehanička oštećenja betona	3

	KOLNIKA			
			erozija/trošenje betona	3
		SLIVNIK	začepljen slivnik	4

4.2. Razina elementa

Stupanj i rasprostranjenost oštećenja potrebno je promatrati i ocijeniti duž cijele uzdužne dispozicije mosta i to prateći pojedine kritične presjeke mosta. Slika 25. prikazuje primjer lučnoga mosta sa označenim kritičnim presjecima koja su utvrđena u sklopu istraživanja ključnih pokazatelja učinkovitosti lučnih mostova [37, 38].

Raspored kritičnih presjeka valja prilagoditi uzdužnom rasporedu mostova, te je potrebno svako zabilježiti s pripadnom ocjenom slijedeći sustav ocjenjivanja prikazan u tablici 5.



Slika 25. Kritični presjeci prikazani kao lokacije za vizualni pregled primjera lučnoga mosta

Tablica 5. 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 popravka 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 (robustnost).

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

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 [29]. 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 [30].

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 6. (temeljeno na smjernicama za ocjenjivanje mosta, [29]) može pokazati kako otkazivanje pojedinog elementa utječe na svaki kriterij.

Tablica 6. 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 21. prikazuje odnos oštećenja odgovarajuće komponente (izraženog s važnosti pojedinog oštećenja $I_{D,CO}$ 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.).

4.3. 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 [31]. 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:

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

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

4.4. 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 7. ovisno o vrsti prometa i očekivanim prometnim ograničenjima [39].

Tablica 7. 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 pruži - 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 $W_{SY,rail}=1$.

4.5. 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 [32]. 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 prethodno navedenoj slici 21.

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

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

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 8. $KPI_{BI,NET}$ pokazatelj važnosti mosta na razini mreže je također naznačen na slici 21.

Tablica 8. 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.

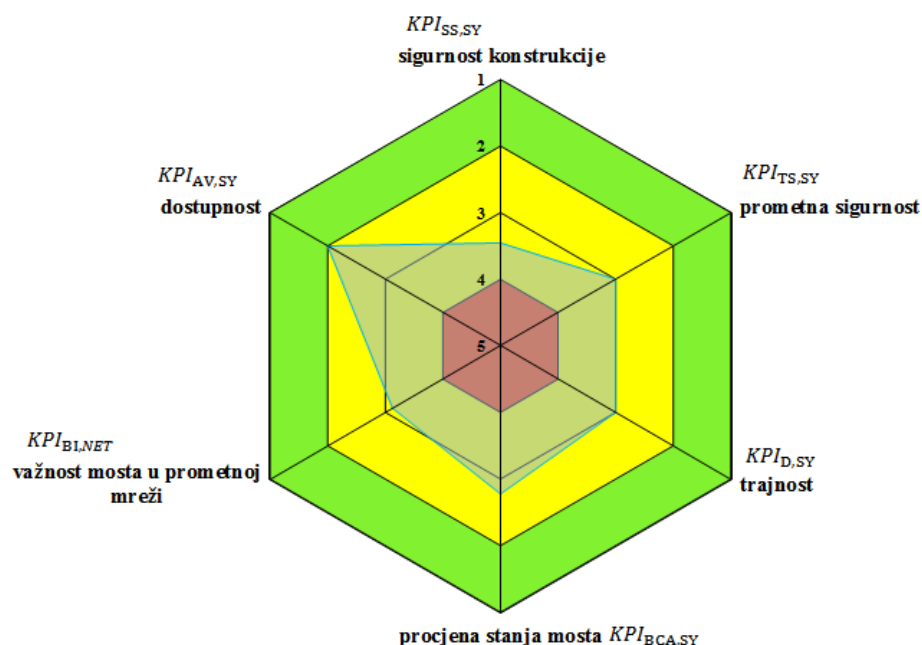
⁴⁾ Ocjenjivanje najvećeg raspona je povezano je sa nosivom konstrukcijom mosta, materijalom koji se koristi, složenosti gradnje [40], [41], [42]. Mostovi raspona do 5 m su obično mali prolazi od armiranog betona. Rasponi do 20 m obično se svladavaju jednostavnim armiranobetonskim nosačima ili pločama. 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.

4.6. 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 26.). Zelena područja predstavljaju najpovoljniju vrijednost ocjene, a crvena područja trebaju alarmirati operatera mosta i zahtijevaju hitnu intervenciju.



Slika 26. 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 27. 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.

5. POKAZNI PRIMJERCIMOSTOVA

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 koristili su se za pronalaženje veze između procjene stanja i ključnih pokazatelja učinkovitosti.

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.

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 zbog preglednosti, prikazuju samo važni dijelovi pojedinih proračuna.

5.1. Osnovni podatci i najznačajnija oštećenja

5.1.1. Osnovni podatci primjernih mostova

Analizirani mostovi su: lučni mostovi preko Slunjčice i Korane – primjeri dvaju armiranobetonskih lučnih mostova, prvi 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.

Tablica 9. Osnovni podatci za studiju slučaja mostova:

	Vrsta mosta	Najveći raspon (m)	Ukupna duljina (m)	Kategorija ceste	Zaobilazna udaljenost
Slunjčica	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

Most preko Slunjčice se nalazi na državnoj cesti D1 koja se pruža u smjeru sjever-jug od graničnog prijelaza Macelj, preko Zagreba pa sve do Splita. Taj most 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 različitih visina, koji su postavljeni na razmake od 9,8 m.

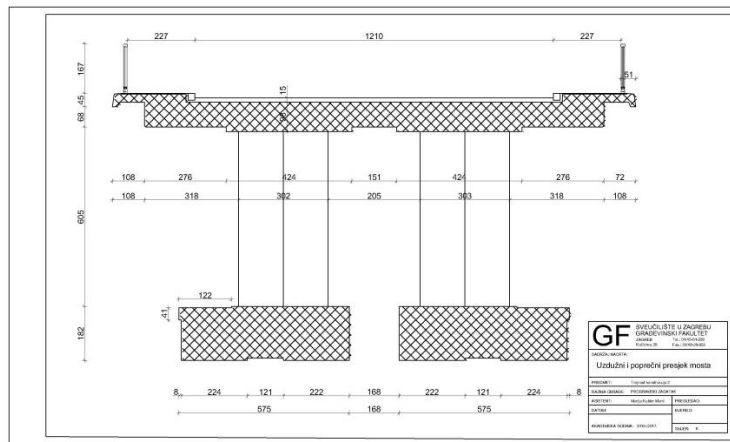
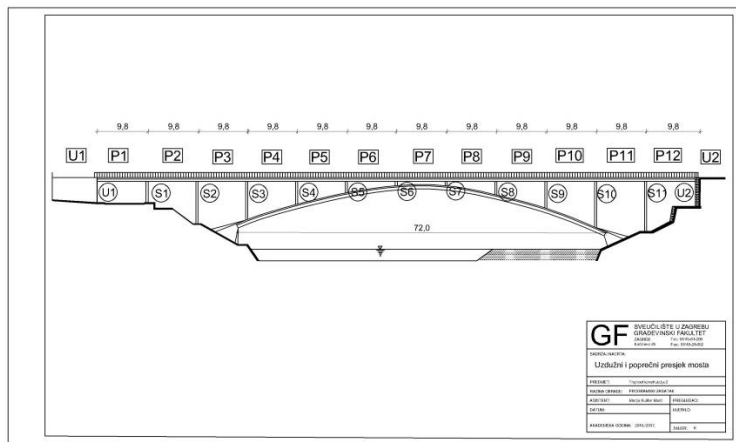
Gredni most u Slunju nalazi se na samom ulazu u Rastoke, namijenjen je cestovnom prometu i nalazi se na magistralnoj cesti koja spaja sjever i jug Hrvatske. Most je izgrađen

1958. godine. Most se nalazi u horizontalnoj krivini, nosivi sustav mosta čini puna ploča konstantne visine duž mosta. Sastoji se od osam otvora od kojih najmanji iznosi 15 m, a najveći 18,6 m. Posebna pozornost pri projektiranju je dana stupovima koji sadrže, u svom gornjem dijelu, prostorne rašlje sastavljene od četiri kraka.

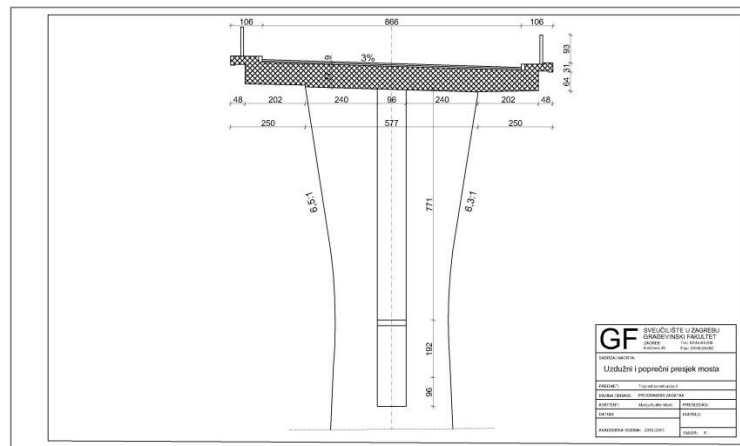
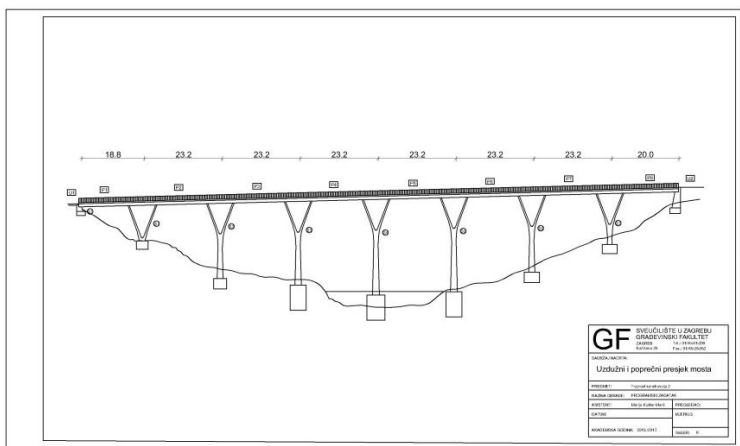
Most u Bjelovaru nalazi se na lokalnoj cesti, cestovni je sa pješačkim stazama, a premošćuje željezničku trasu. Statički sustav mosta je razuporni koji se sastoji od kolničke betonske ploče oslonjene na razupore koje su izvedene kao betonski zidovi debljine 30 cm i širine 250 cm. Kolnička ploča je debljine 45 cm.

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. Nosiva konstrukcija je pločasta i olakšana šupljinama četvrtastog presjeka, a glavni nosač je vertikalno povezan s dva identična svoda nepravilnog oblika, također olakšana sa šupljinama kružnog presjeka. Betonski stupovi sastavljeni su od dva stupca konstantnog trapezastog oblika.

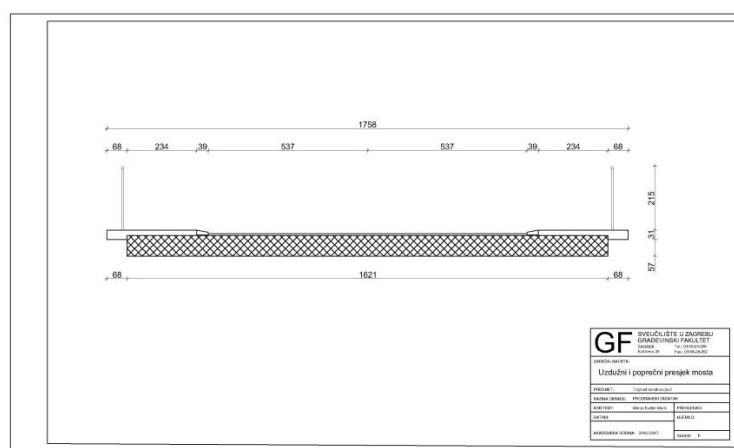
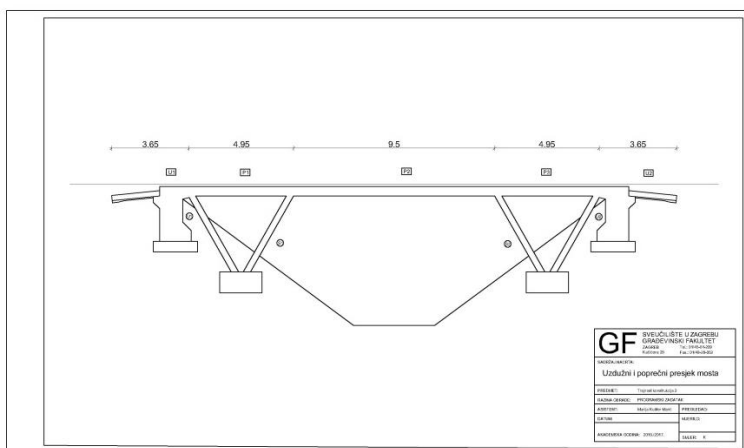
Nadvožnjak se nalazi na autocesti A3 Bregana – Zagreb – Lipovac, iznad koje prolazi lokalna cesta koja spaja naselja Gradna i Celine. Statički sustav čini niz od četiri polja prostih greda raspona 15,30m i 21,00m. Rasponski sklop je sačinjen od tipskih montažnih elementa tipa SAN 210/75. U pojedinom stupištu nalaze se dva stupa, međusobno povezana naglavnom gredom.



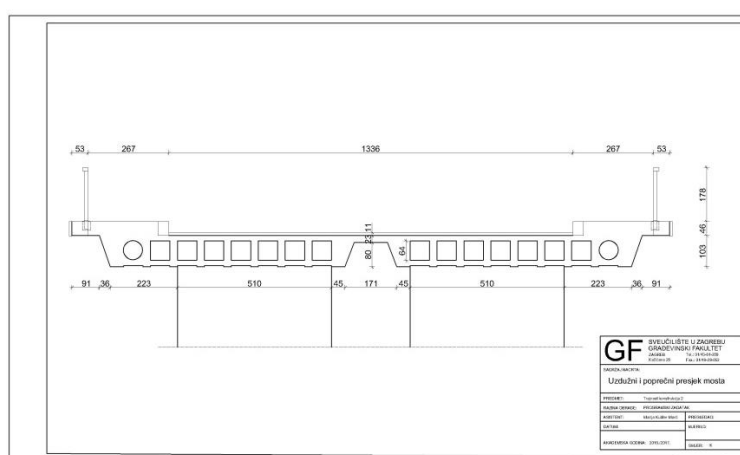
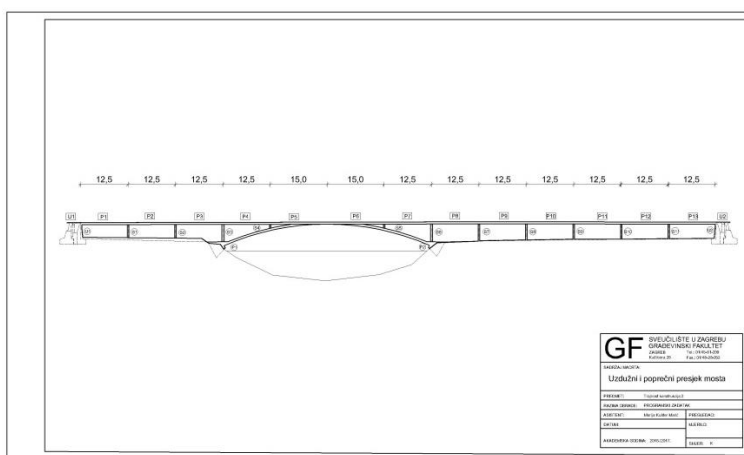
Slika 28. Lučni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



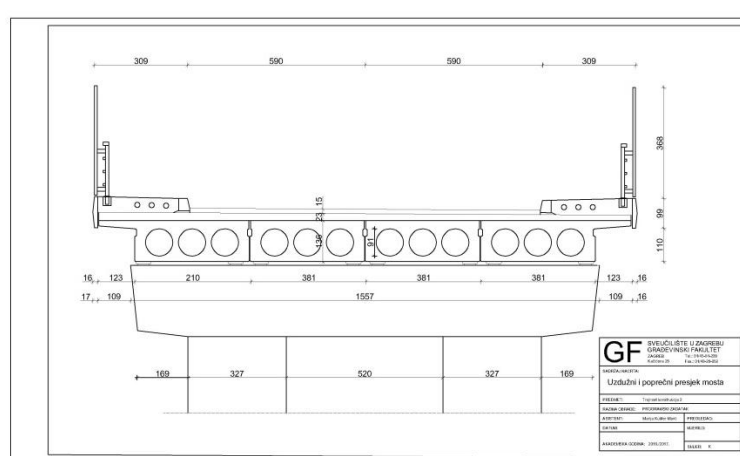
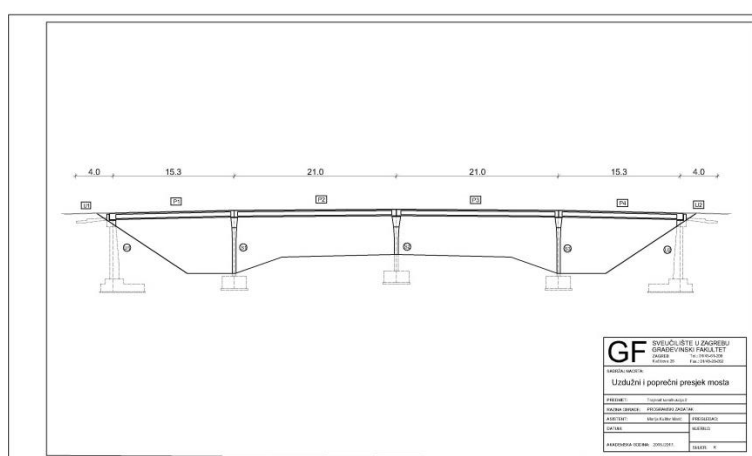
Slika 29. Gredni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 30. AB most u Bjelovaru: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 31. Lučni most preko Korane: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)



Slika 32. Nadvožnjak Gradna: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno)

5.1.2. ***Najvažnija oštećenja pokaznih mostova***

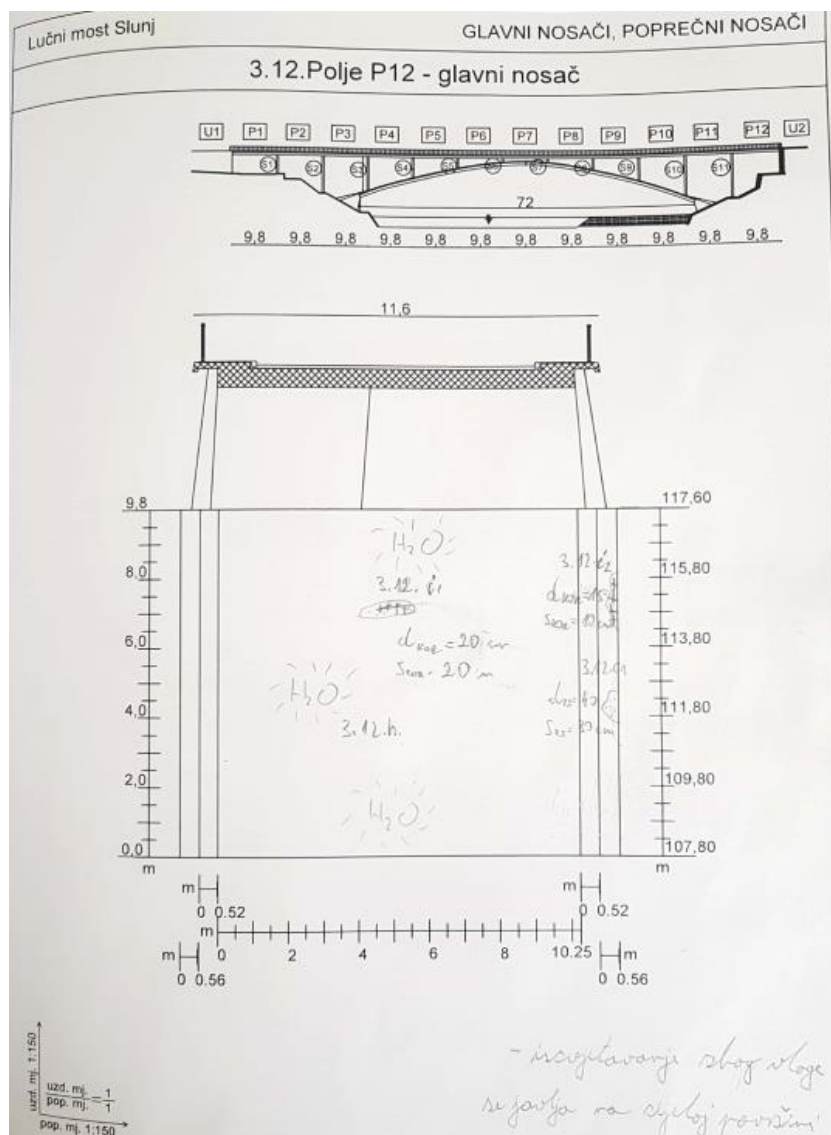
Tijekom prve godine diplomskog studija u sklopu kolegija Trajnost konstrukcija, studenti su odradili posjete mostova koje su pregledavali. Svrha prvog pregleda mosta je bila uvid u izgled mosta sa ciljem crtanja cjelokupne dispozicije mosta i razvijanja podloga za ucrtavanje oštećenja pri pregledima. Podloge su obuhvaćale razvijene plohe apsolutno svih površina mosta.

Prilikom drugog pregleda mosta studenti su odradili 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 ucrtavali 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 istraživanja za Rektorovu nagradu 2018.godine analizirana je prikupljena dokumentacija te su autorice rada korigirale upitne ocjene na temelju proširenog znanja stečenog tijekom daljnjeg studija te na temelju dodatnih pregleda po potrebi.

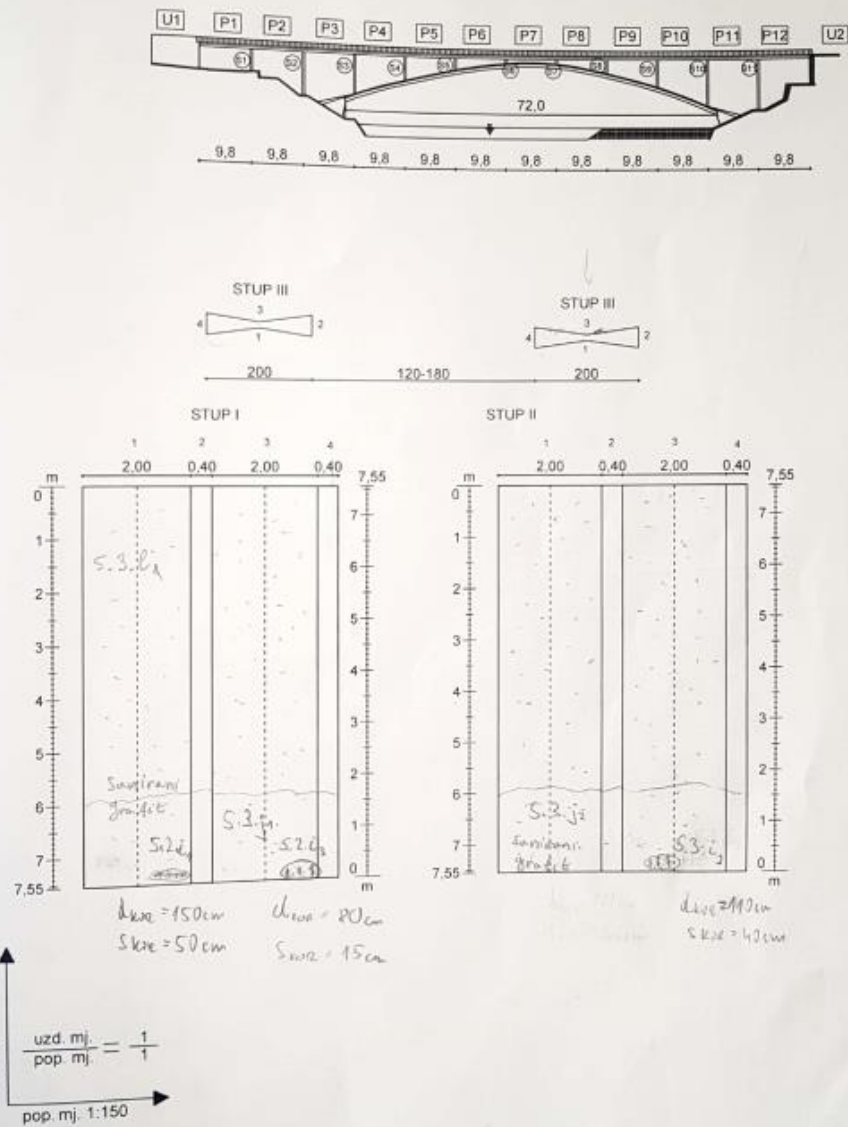
5.1.2.1. Lučni most preko Slunjiče

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



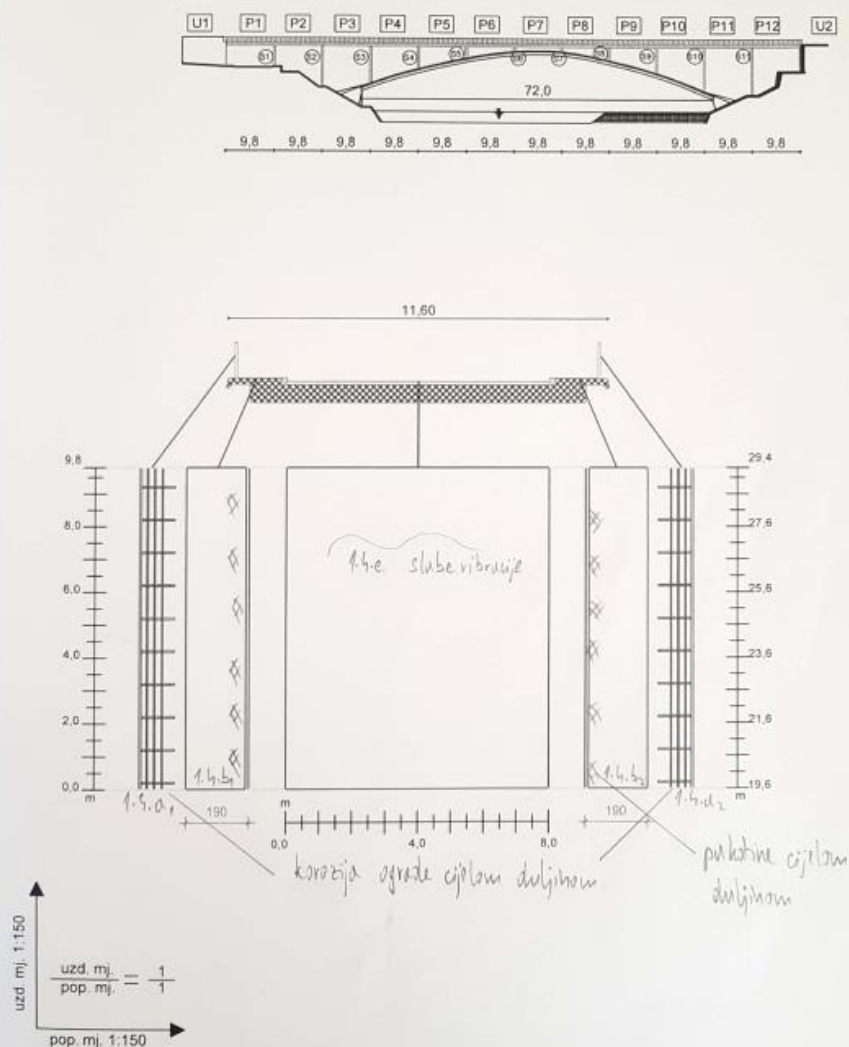
Slika 33. Iscvjetavanje ploče

5.3. Stupište S3 - stupovi 1 i 2



Slika 34. Korozija i odlamanje zaštitnog sloja betona na stupu

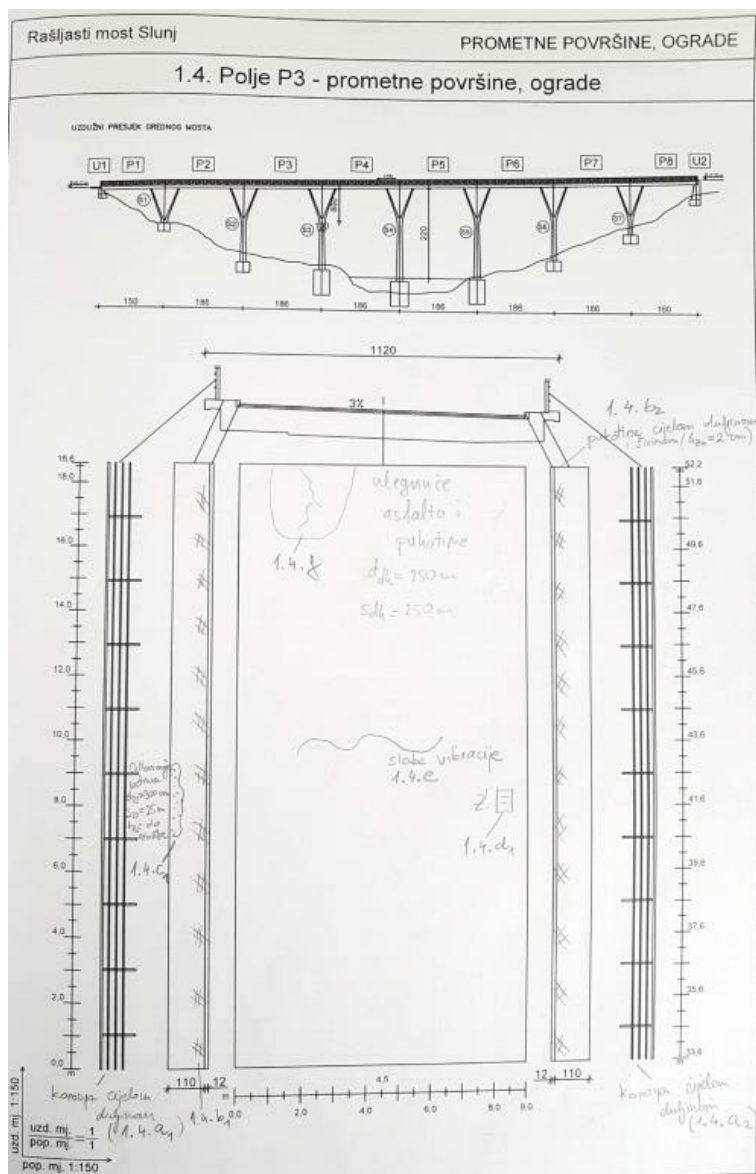
1.4. Polje P3 - prometne površine, ograde



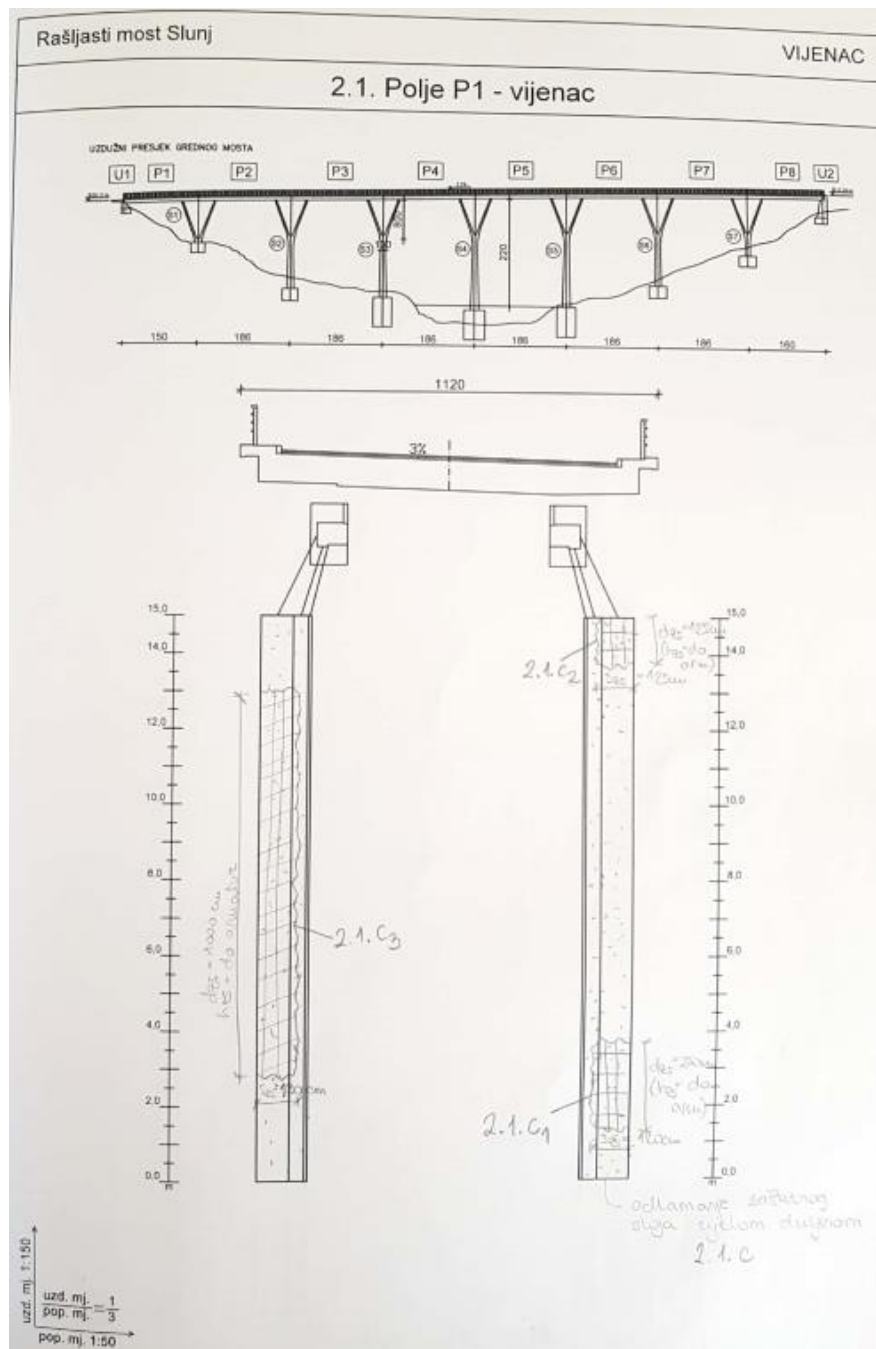
Slika 35. Mrežaste pukotine na pješačkom hodniku

5.1.2.2. Gredni most Slunji

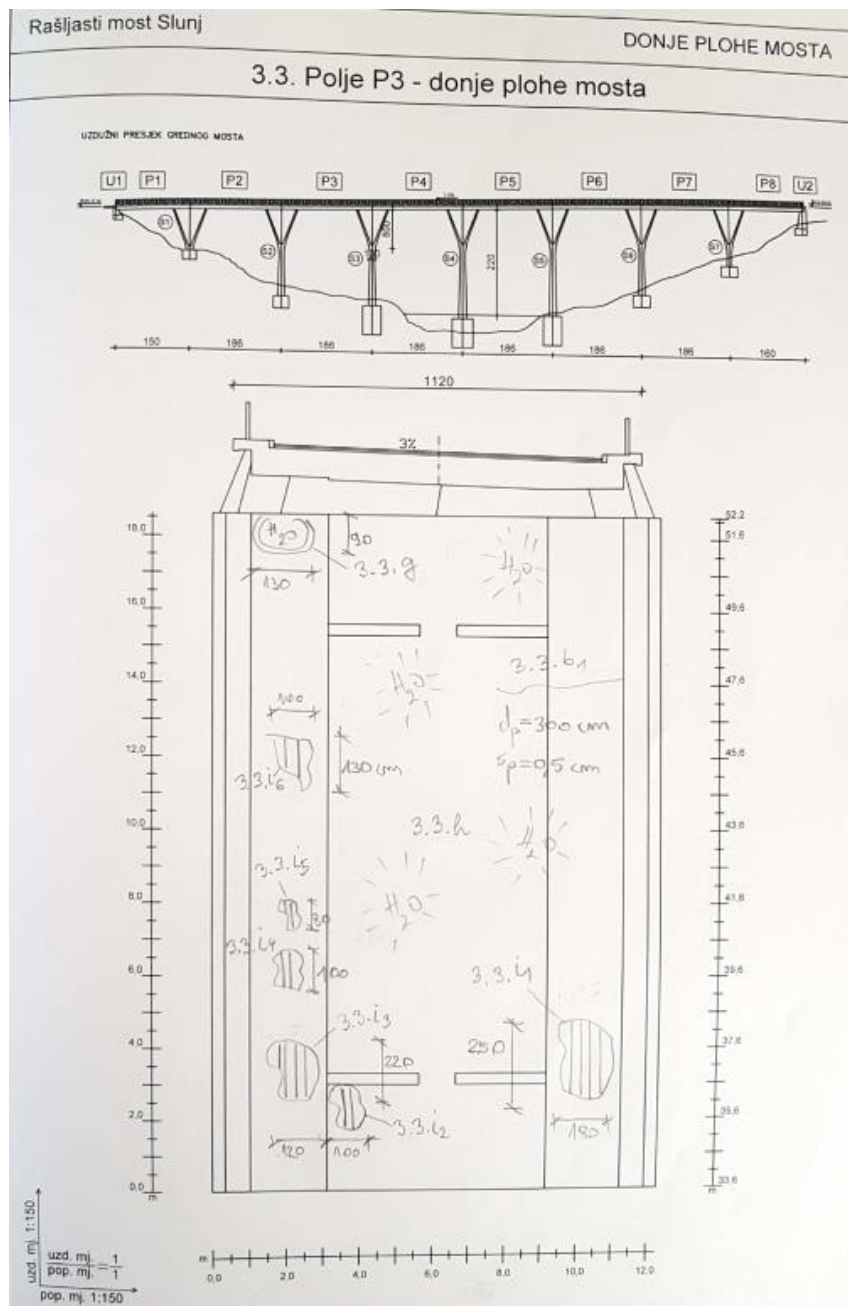
Najkritičnija oštećenja uočena tijekom pregleda Grednog mosta u Slunju prikazana su na sljedećim slikama. Prva slika prikazuje oštećenje ucrtano u podlogu, dok druga prikazuje fotografiju tog oštećenja.



Slika 36. Korozija ograde, oštećenje hodnika



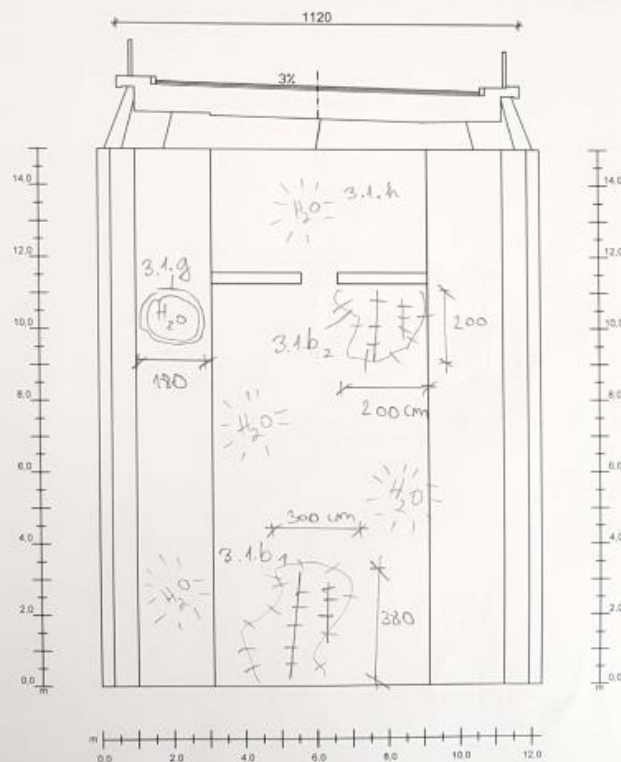
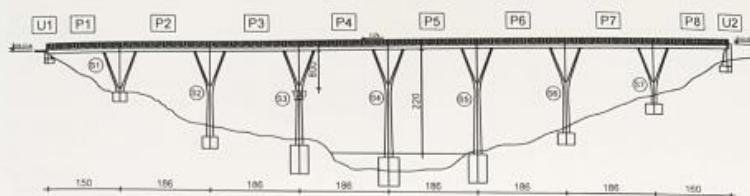
Slika 37. Korozijska armatura te odlamanje vijenca



Slika 38. Odlamanje zaštitnog sloja, iscvjetavanje betona (dijelom sanirano) na podgledu nosive konstrukcije

3.1. Polje P1 - donje plohe mosta

UZDUŽNI PRESJEK GREDNOG MOSTA

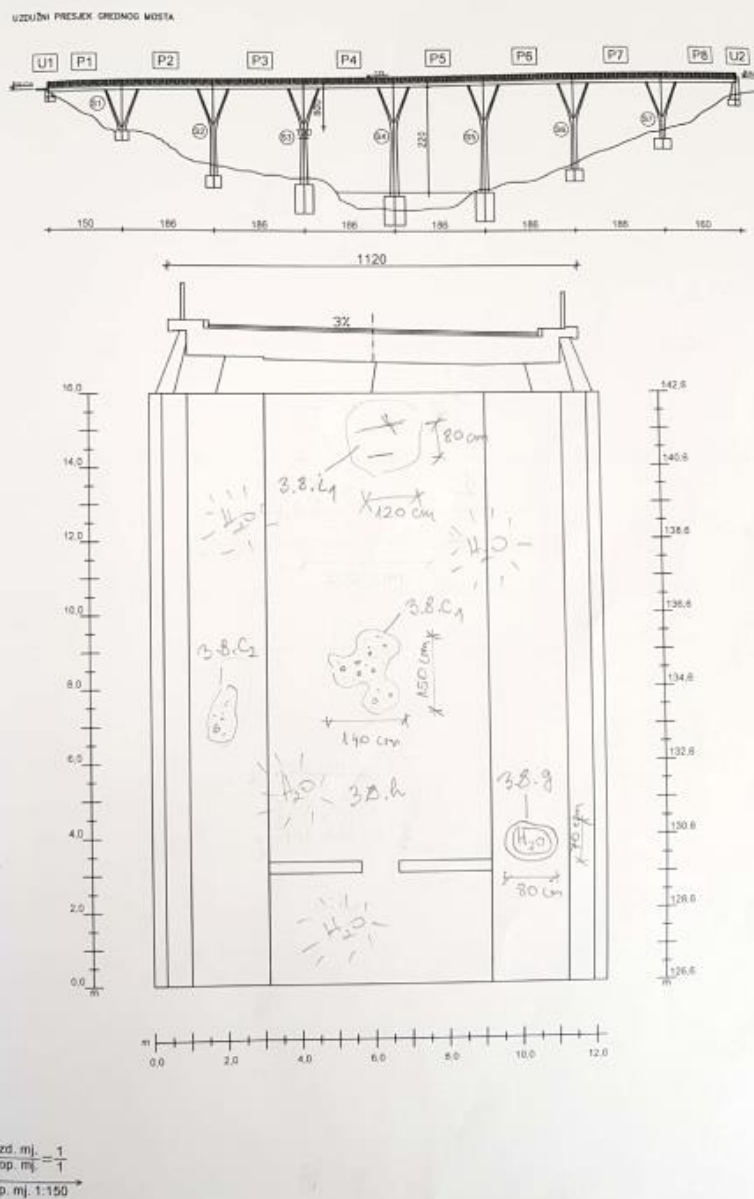


uzd. mj. 1:150
 pop. mj. 1:150
 $\frac{\text{uzd. mj.}}{\text{pop. mj.}} = \frac{1}{1}$



Slika 39. Iscvjetavanje betona u podgledu nosive pločaste konstrukcije mosta blizu prvoga upornjaka

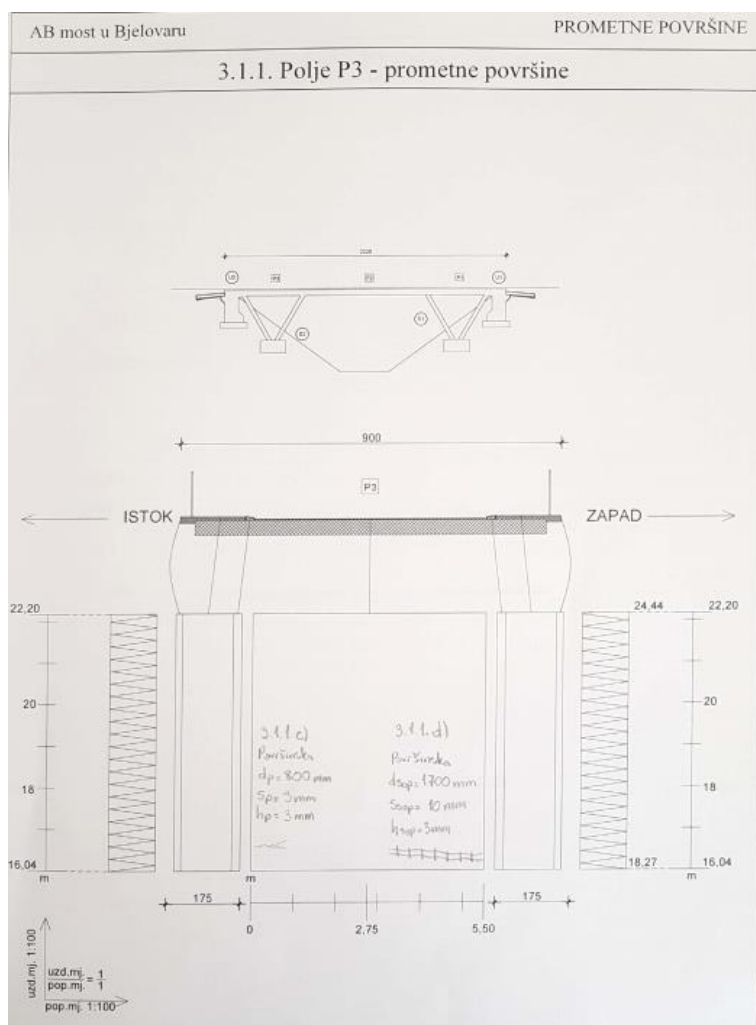
3.8. Polje P8 - donje plohe mosta



Slika 40. Segregacija betona i korozija armature u podgledu na ploču u polju neposredno uz drugi upornjak

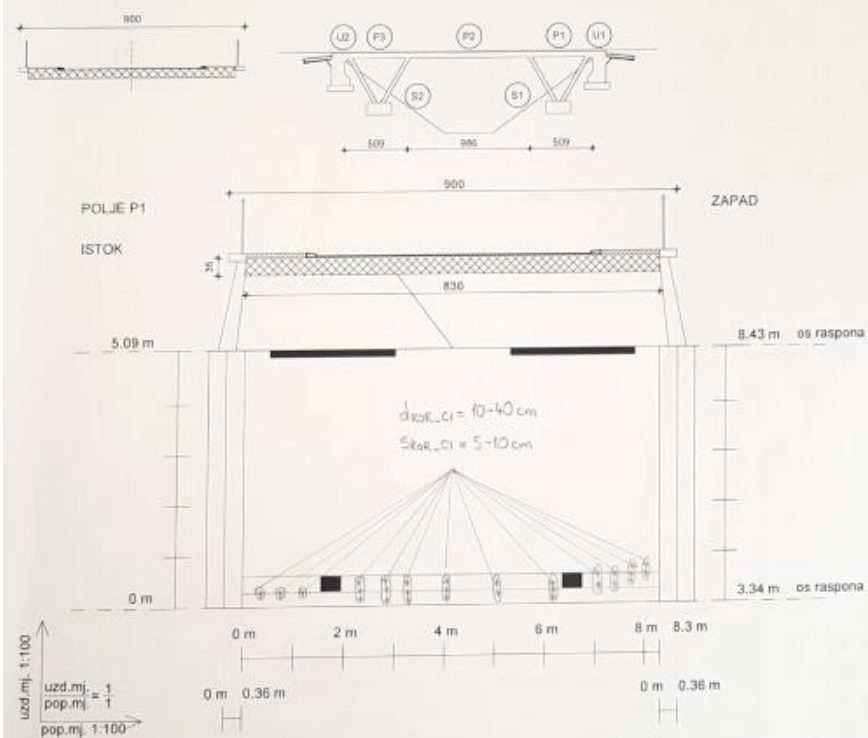
5.1.2.3. Armirano-betonski most u Bjelovaru

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



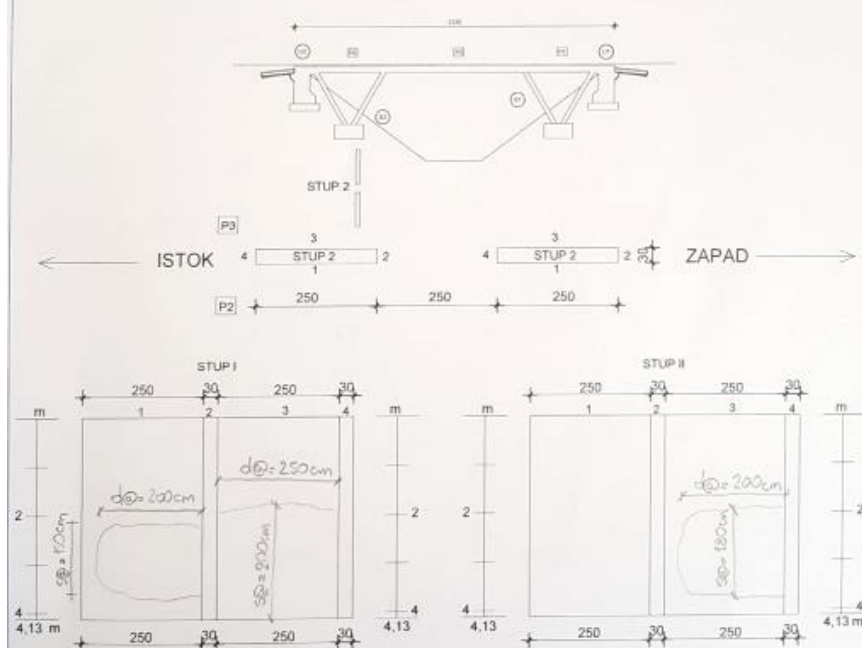
Slika 41. Sanirana, naknadno otvorena pukotina u asfaltu

3.1.2. Polje P1 - glavni nosač

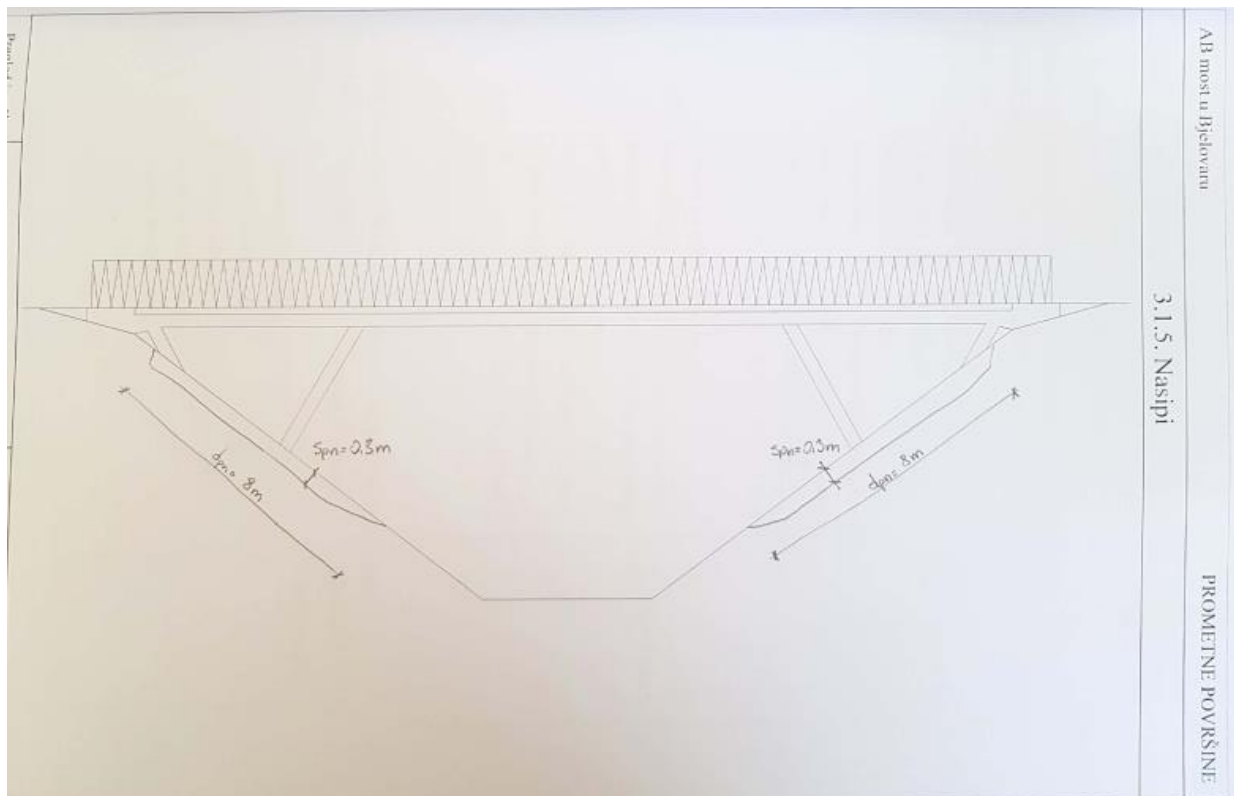


Slika 42. Korozijska armature ploče glavnog nosača

3.1.3. Stup 2

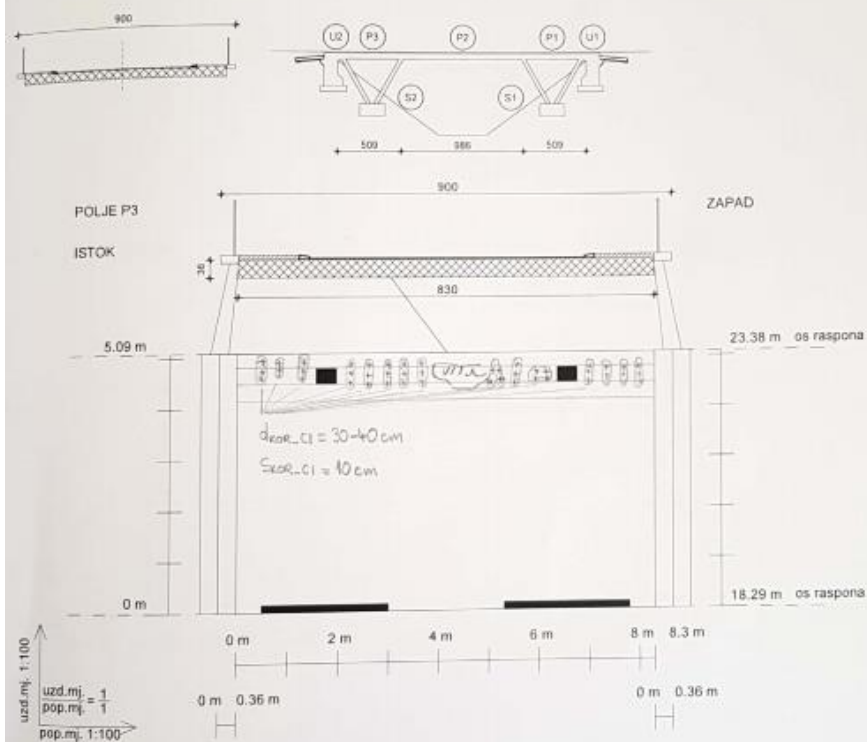


Slika 43.1. Erozija nasipa



Slika 43.2. Eroziija nasipa

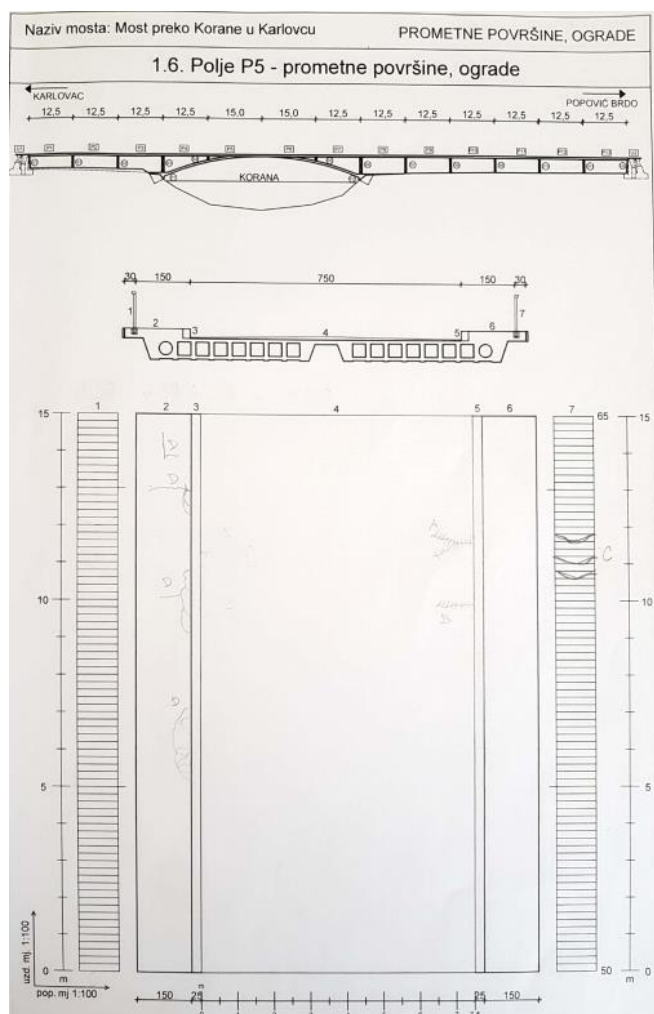
3.1.2. Polje P3 - glavni nosač



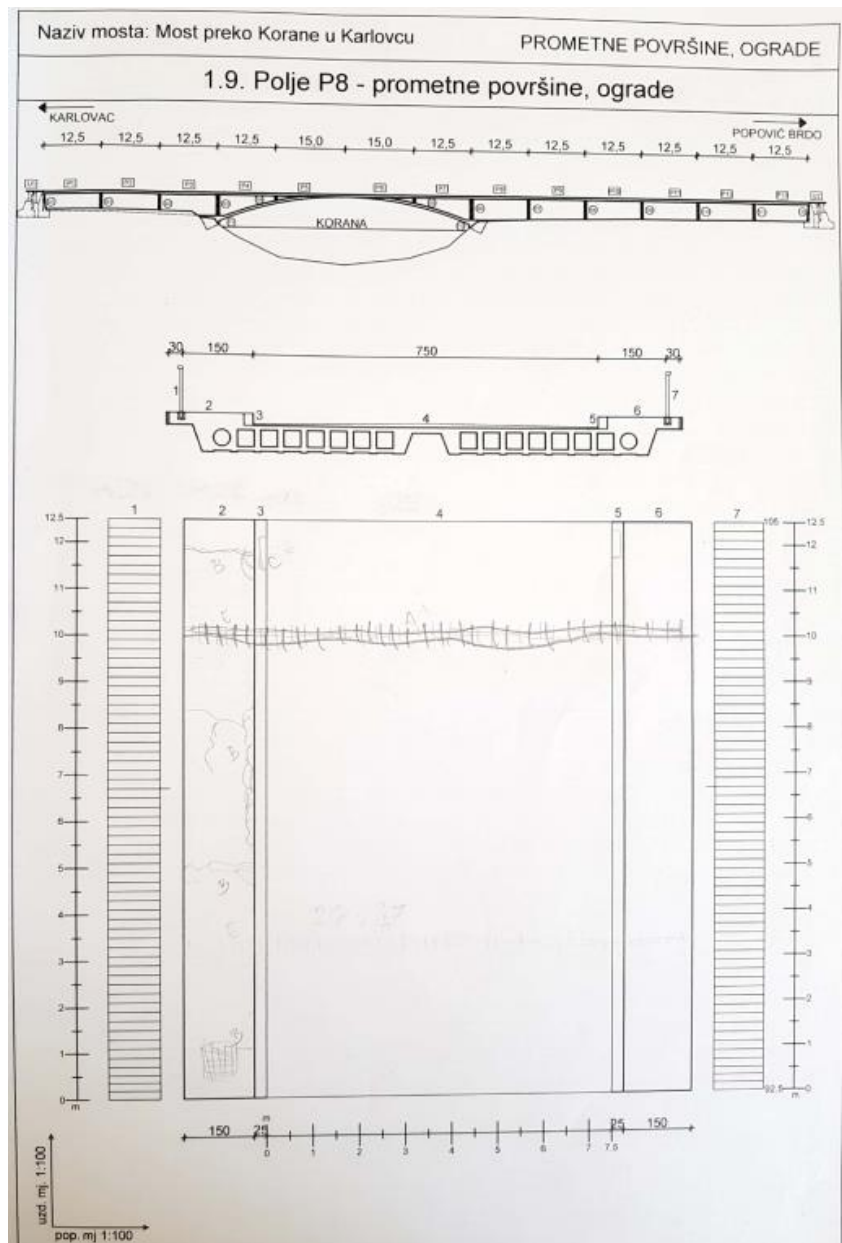
Slika 44. Prikaz odlamanja betona ploče

5.1.2.4. Lučni most preko Korane

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

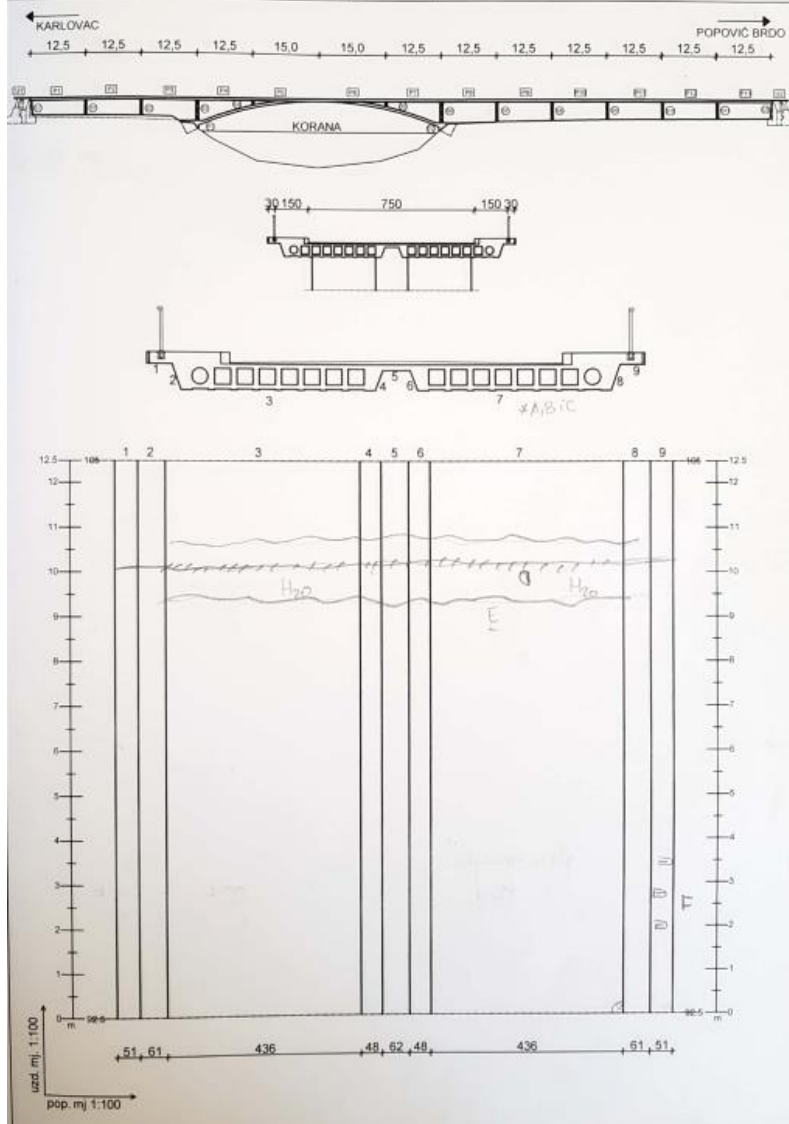


Slika 45. Oštećenje ograde: mehaničko oštećenje i korozija

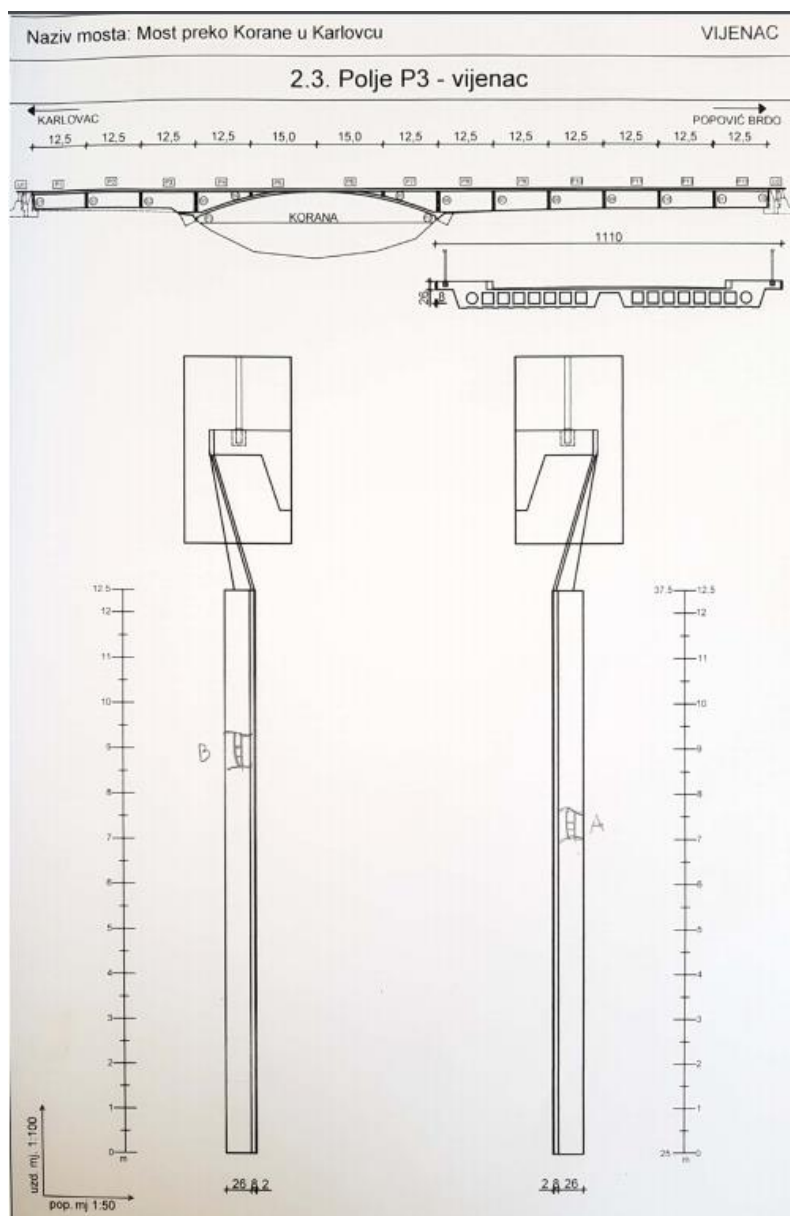


Slika 46. Dilatacija i pukotine na kolniku

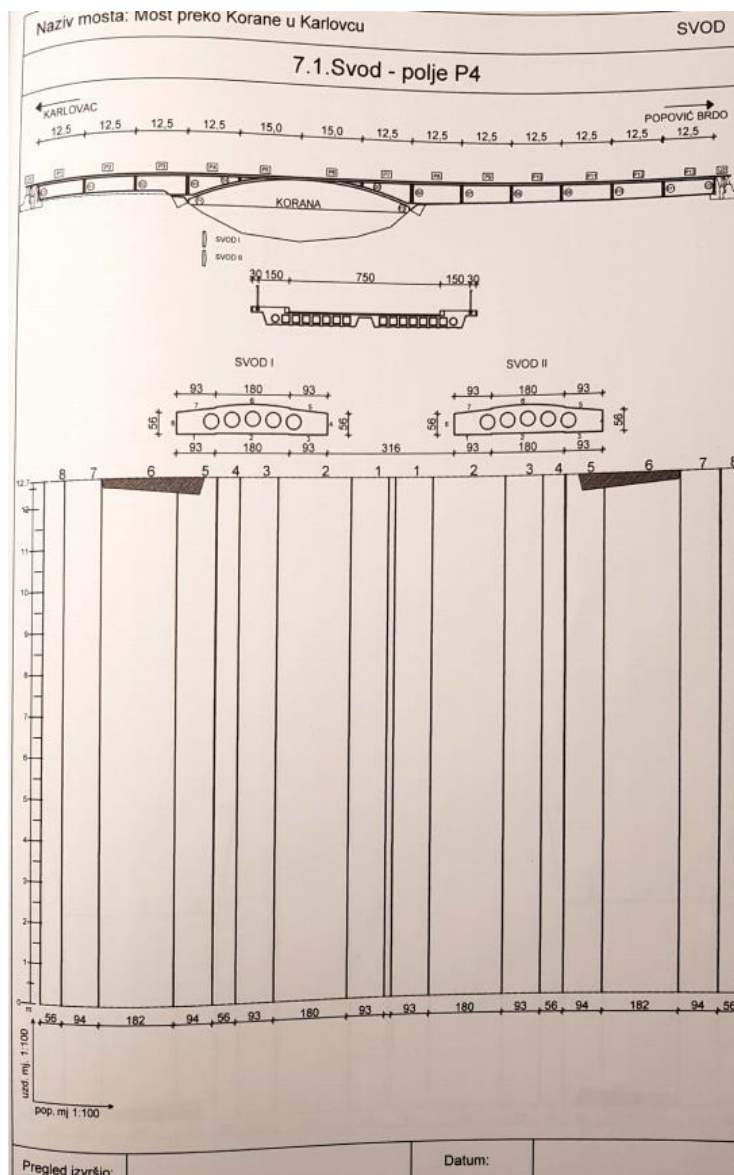
3.8. Polje P8 - glavni nosač



Slika 47. Dilatacija i iscvjetavanje na glavnom nosaču



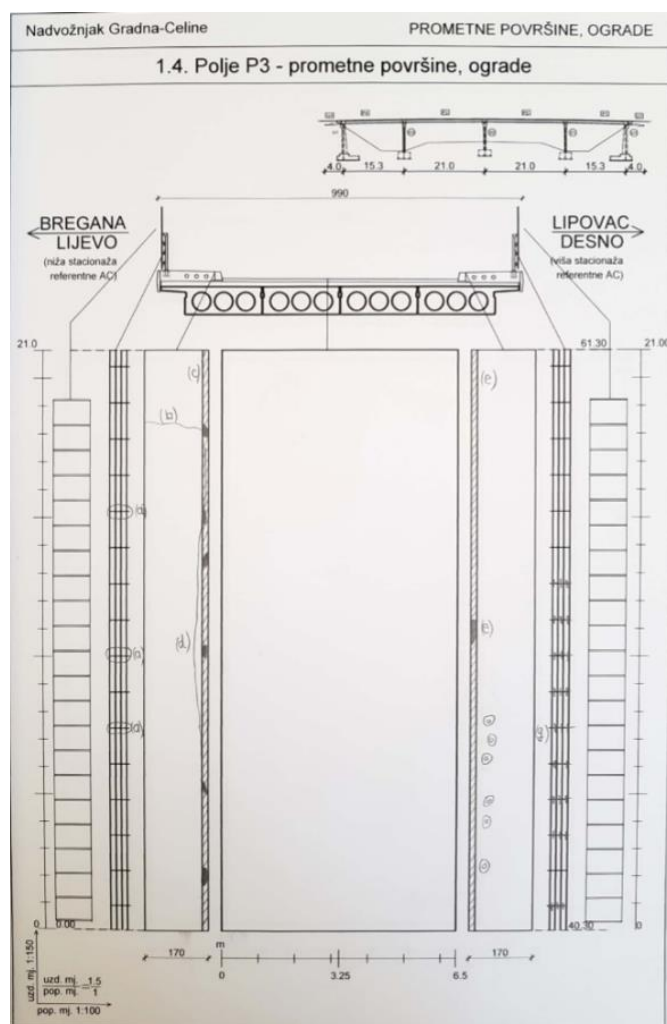
Slika 48. Otpadanje obloge vijenca



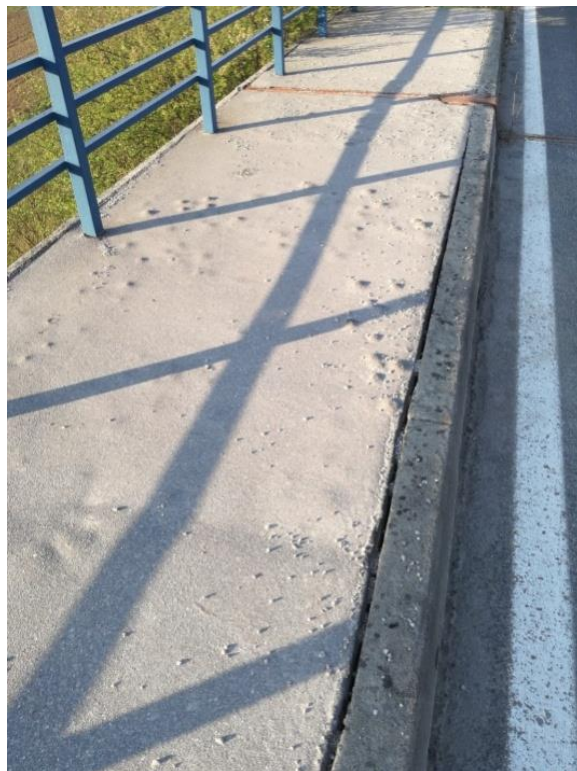
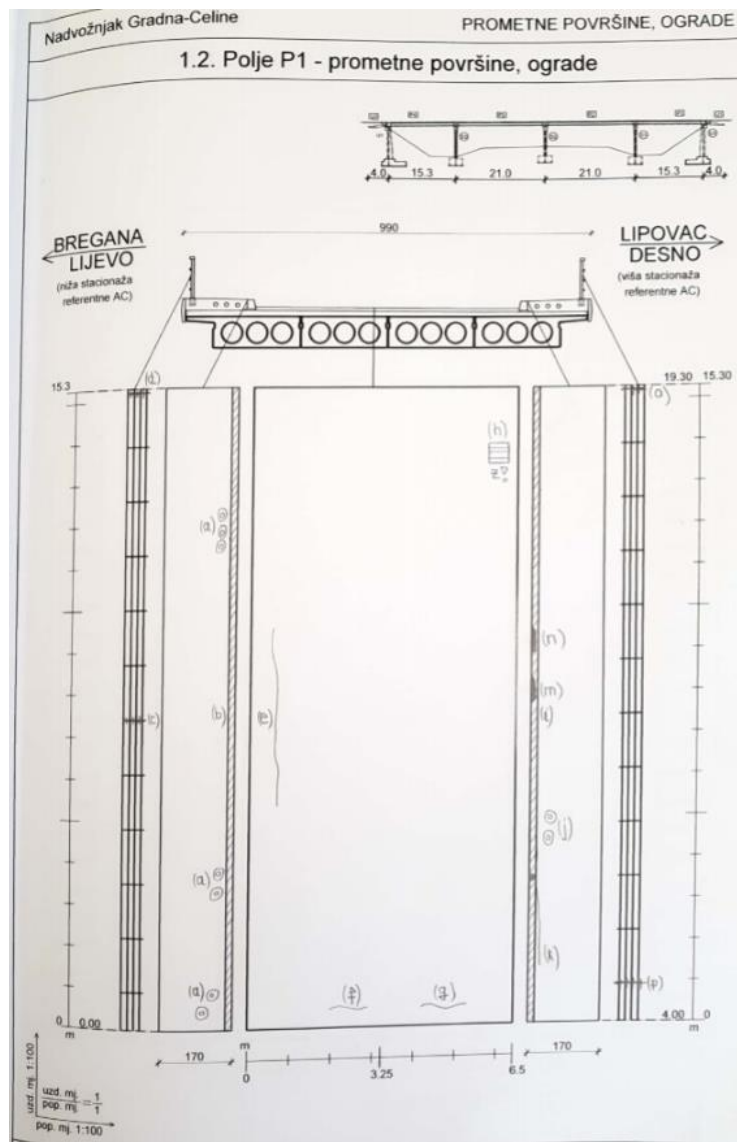
Slika 49. Lučna konstrukcija mosta s neznatnim oštećenjima

5.1.2.5. Nadvožnjak Gradna

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

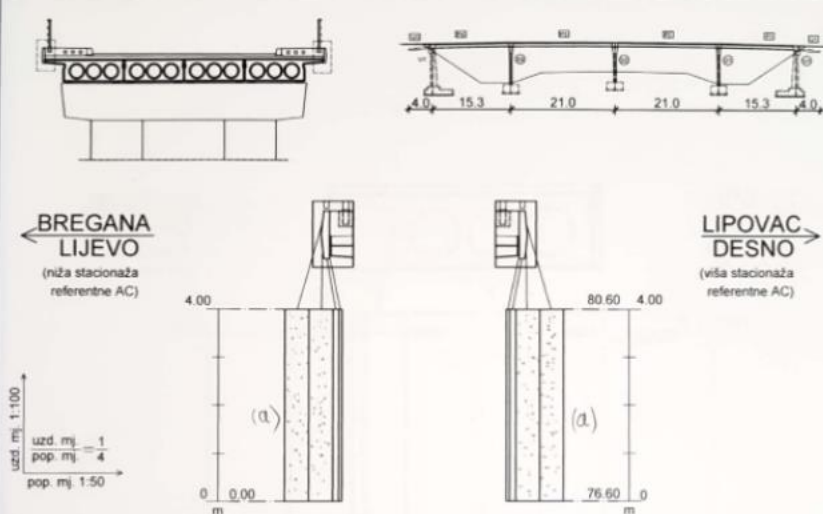


Slika 50. Korozija pješačke ograde

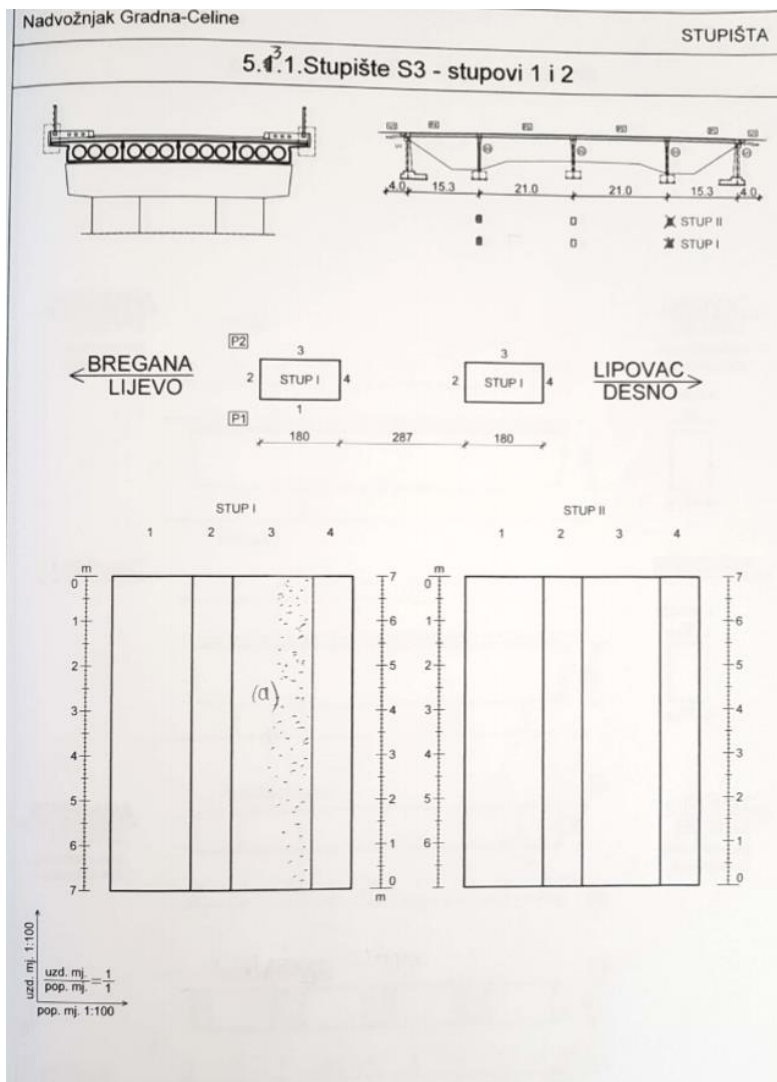


Slika 51. Klobučenje hodnika i odlamanje rubnjaka

2.6. Polje U2 - vijenac

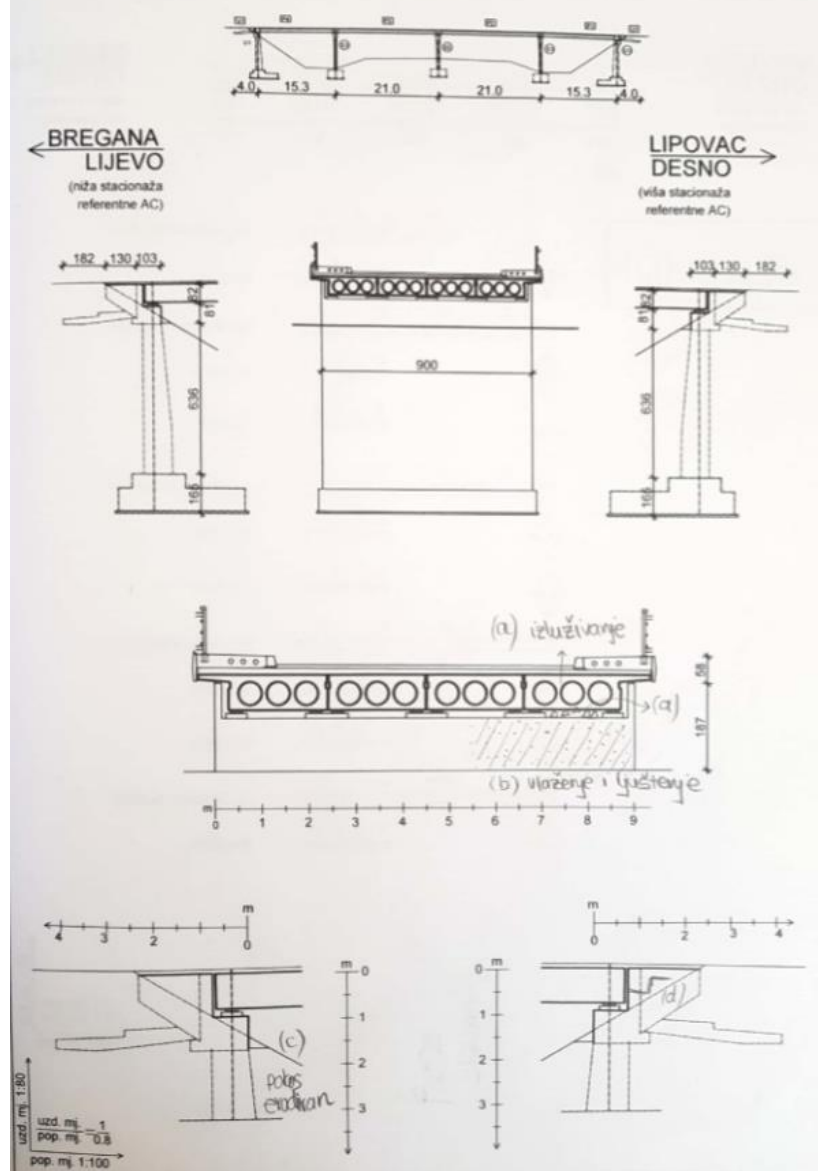


Slika 52. Vlaženje vijenca



Slika 53. Vlaženje i odlamanje zaštitnog sloja stupa

4.2.1. Upornjak U2 - zid i krila upornjaka

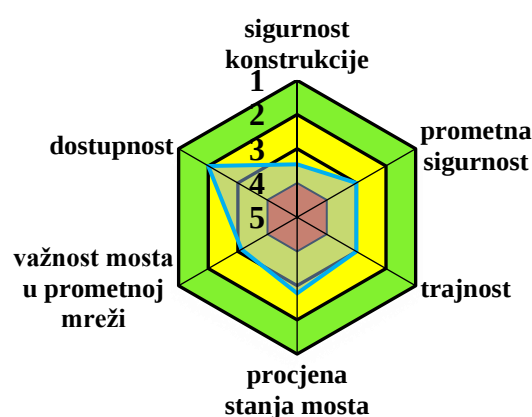


Slika 54. Izluživanje betona na upornjaku

5.1.3. ***Analiza rezultata ocjenjivanja za rangiranje prioriteta***

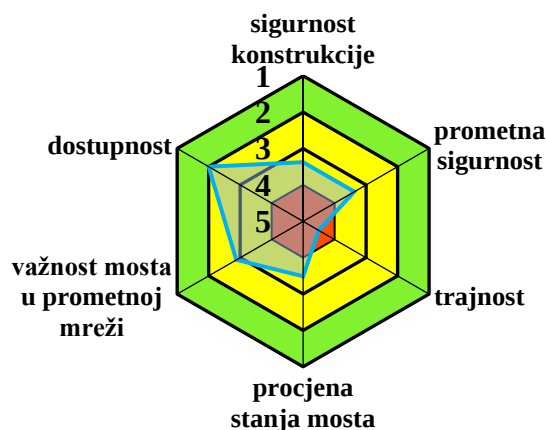
5.1.3.1. *Grafički prikazi i pripadajuće tablice sa rezultatima za prikazane primjere*

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. Također, za lakšu usporedbu navedene su tablice 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.



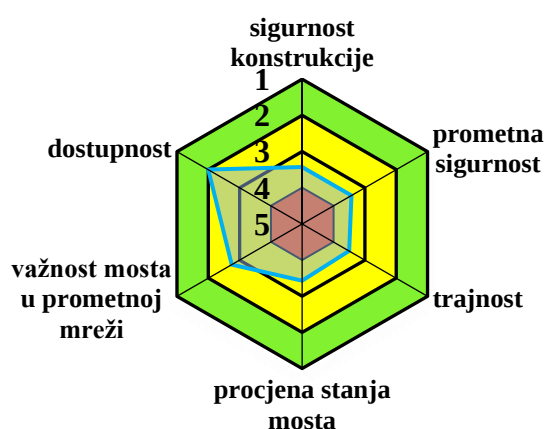
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	2,00	2,25	3,00	2,33
Kolnik	0,69	2,08	2,08	1,72
Gredna konstr.	3,00	3,00	1,50	2,78
Lučna konstr.	3,00	0,75	1,50	2,33
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup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

Slika 55. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta preko Slunjičice



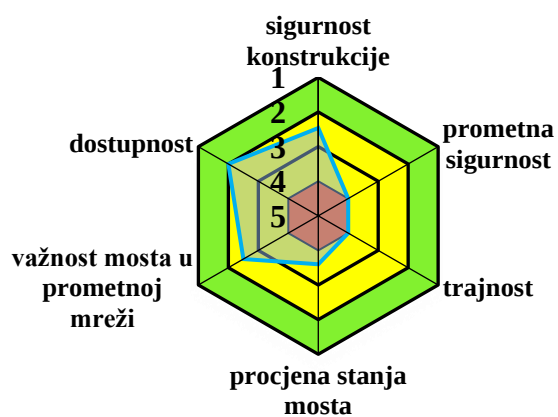
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	3,00	2,91	4,50	3,49
Kolnik	0,77	2,30	2,30	1,90
Gredna konstr.	3,38	3,38	1,69	3,38
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	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

Slika 56. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju



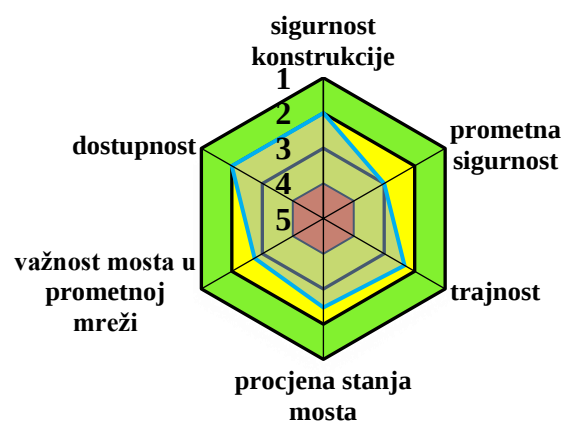
Dio sklopa	KPI _{SS,IP} (sigurnost konstrukcije)	KPI _{TS,IP} (prometna sigurnost)	KPI _{D,IP} (trajnost)	KPI _{BCA,IP} (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	1,50	2,00	1,70
Kolnik	1,00	3,00	3,00	2,48
Gredna konstr.	3,43	3,43	1,71	3,43
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	3,50	2,63
Stup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

Slika 57. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova 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	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

Slika 58. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova 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	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	2,70
Stup	2,00	0,50	1,00	1,55
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	2,70

Slika 59. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvoznjaka Gradna

5.1.5. *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 ocjena 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 $KPI_{BCA,SY}=2,70$, 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 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 $KPI_{BI,NET}=2,50$.

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.

5.1.6. **Odluke o rangiranju prioriteta popravaka**

Ukupno gledano svi mostovi imaju sličan pokazatelj važnosti $KPI_{BI,NET}$ u rasponu od 2 do 3 , dakle svi mostovi imaju gotovo istu važnost unutar grupe. Iznimka je most Slunjića sa stupnjem 3,13 zbog svog najvećeg raspona i lokacije, koji ovom mostu daje prednost u prioritarnom poretku popravaka prije mostova sa sličnim ili višim pokazateljima učinkovitosti sustava.

Najgori ukupni pokazatelj mosta $KPI_{BCA,SY} = 3,60$ je za most preko Korane. Iako se pokazatelj sigurnosti konstrukcije $KPI_{SS,SY} = 2,46$ ocjenjuje bolje (niža ocjena), nego za tri prethodna mosta 3,38 do 3,45, prometna sigurnost $KPI_{TS,SY} = 4,0$ i trajnost $KPI_{D,SY} = 4,0$ za ovaj most pripadaju alarmantnom crvenom području. Stoga, prvi od mostova koji zahtjeva radove popravaka je most preko Korane zahtjevajući hitnu intervenciju na obje prijelazne naprave, tj. njihovu zamjenu i pravilnu hidroizolaciju. Sljedeći most na popisu za popravke je most u Rastokama, zbog svoje alarmantne trajnosti vezane uz oštećenja vijenca mosta i hodnika označene sa $KPI_{D,SY} = 4.5$. Iako je to najgora ocjena u ovoj grupi studije mostova, ona manje utječe na sveukupno stanje mosta, za razliku od sigurnosti konstrukcije ili prometne sigurnosti. To je razlog zašto je most preko Korane ipak prvi na popisu popravaka.

Treći most trebao bi biti most u Bjelovar sa svim pokazateljima učinkovitosti $KPI_{SS,SY}$, $KPI_{TS,SY}$, $KPI_{D,SY}$, $KPI_{BCA,SY}$, između 3 i 4, uglavnom zbog utjecaja erozije tla na nasipu i lošim stanjem kolničke ploče. Napredovanje erozije moglo bi nepovoljno utjecati na podstrukturu mosta i uzastopno nadstrukturu, ali i na željezničku prugu ispod mosta.

Procjena učinkovitosti drugih mostova ukazuje na nešto povoljnije uvjete. Sljedeći most je Slunjića gdje je prva mjera za popravak stupovi jer njihov neodgovarajući betonski sloj, njegovo odlamanje i korozija armature mogu dodatno smanjiti sigurnost mosta. Krajnji most je most Gradna gdje se predviđa popravak stupova i upornjaka kao primarne djelatnosti.

Dodatni ključni pokazatelj učinkovitosti otkriva dostupnost mosta u slučaju potrebnih mjera popravaka u odnosu na procjenu stanja mostova. Što se tiče svih mostova, stanja hodnika ili kolnika trenutno se ocjenjuju od 2,5 pa na više, te se trenutni minimalni pokazatelj učinkovitosti koji otkriva dostupnost mostova $KPI_{AV,SY}$ ne može ocjenjivati s vrijednošću 1. Odabrana vrijednost za sve mostove $KPI_{AV,SY} = 2.0$ označava da je protok prometa trenutno usporen uslijed prometovanja mostom, ali se još uvijek promet odvija u obje trake (vidi Tablicu 7). No, nakon odlučivanja o rasporedu mjera popravka, vrijednost ovog pokazatelja ovisit će o ograničenjima prometa nakon potrebnih popravaka. Zamjena prijelazne naprave

na mostu preko Korane će zahtijevati zatvaranje mosta za promet i utjecati na neposredno povećanje $KPI_{AV,SY}$ do najviše vrijednosti 5.0.

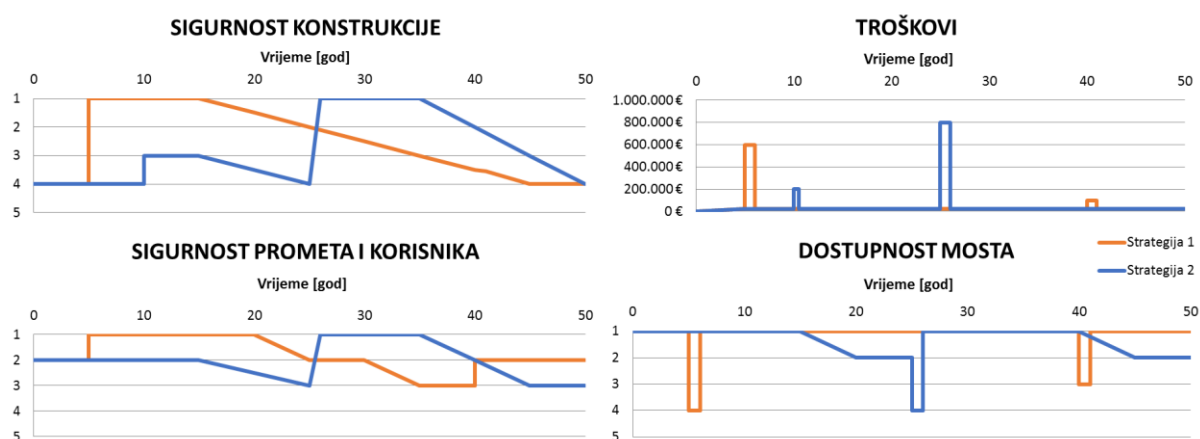
Popravak vijenca i pločnika na mostu Rastoke zahtijevat će usmjeravanje prometa iz oba smjera u istu traku, uz ograničenja brzine. To će povećati pokazatelj dostupnosti na vrijednost $KPI_{AV,SY} = 3.0$. Sanacija nasipa na mostu u Bjelovaru vjerojatno će zahtijevati prometna ograničenja za teška vozila i stoga povećati pokazatelj dostupnosti na vrijednosti $KPI_{AV,SY} = 4.0$. Za most Slunčica i most Gradna, gdje se očekuju popravci elemenata podstrukture mosta, vrijednost pokazatelja učinkovitosti dostupnosti vjerojatno će se očuvati ($KPI_{AV,SY} = 2.0$).

6. 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 [43] (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:

- a) da nema ograničenja u korištenju mosta, te je dostupnost ocijenjena s 1,
- b) da je sigurnost korisnika dobra te je ocijenjena s 2,
- c) 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 60. 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, a 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.

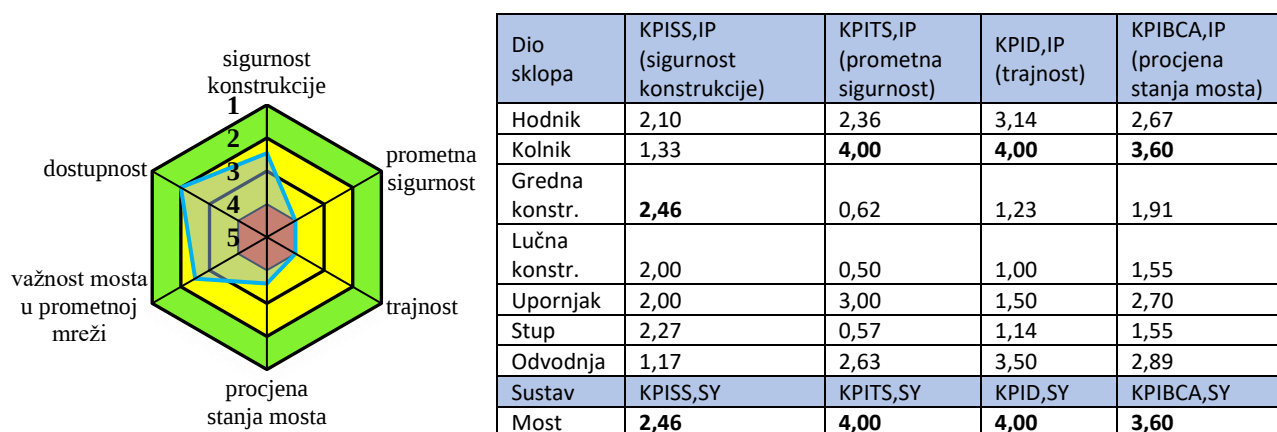
6.1. Ključni pokazatelji učinkovitosti kroz preostali uporabni vijek za mostove u Hrvatskoj

Na primjerima koji će biti navedeni u sljedećim potpoglavljima prikazivati će se promjene ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz preostali vijek trajanja, uvažavajući dvije različite strategije održavanja. Pratiti će se razvoj pet ključnih pokazatelja učinkovitosti : sigurnost konstrukcije, prometna sigurnost, trajnost, procjena stanja mosta i dostupnost mosta. Procijenjeni preostali uporabni vijek je 50 godina.

Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastoji pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušava intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji dosegli ocjenu 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je dostizala vrijednost 4, u iznimnim situacijama i vrijednost 4.5, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah.

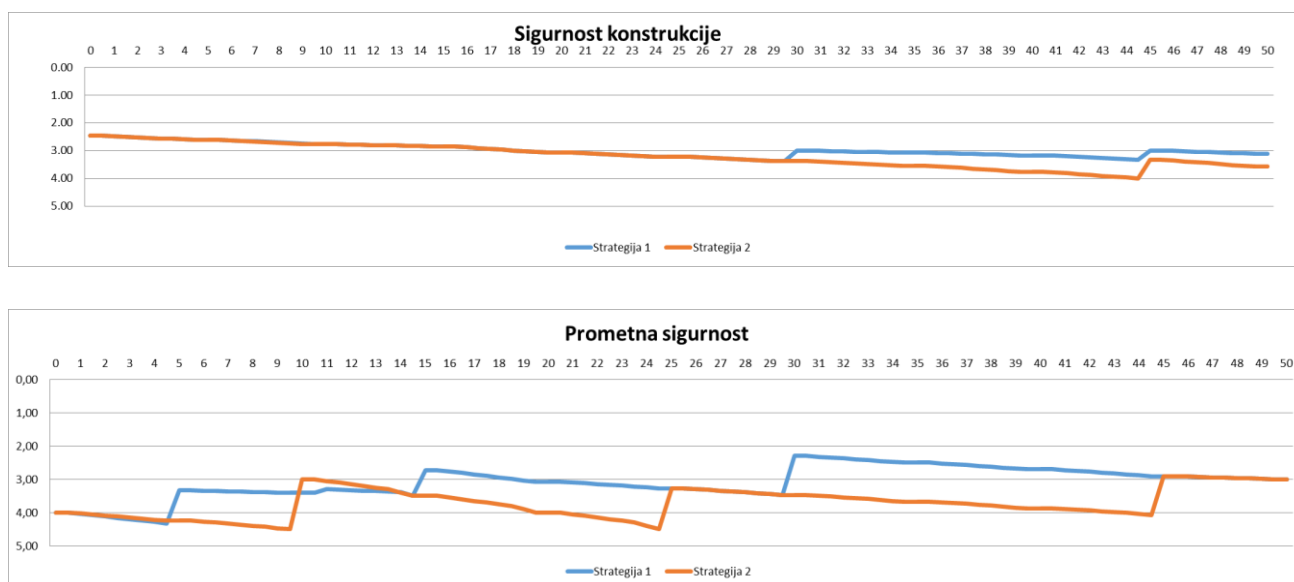
Unutar obje strategije predviđa se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta.

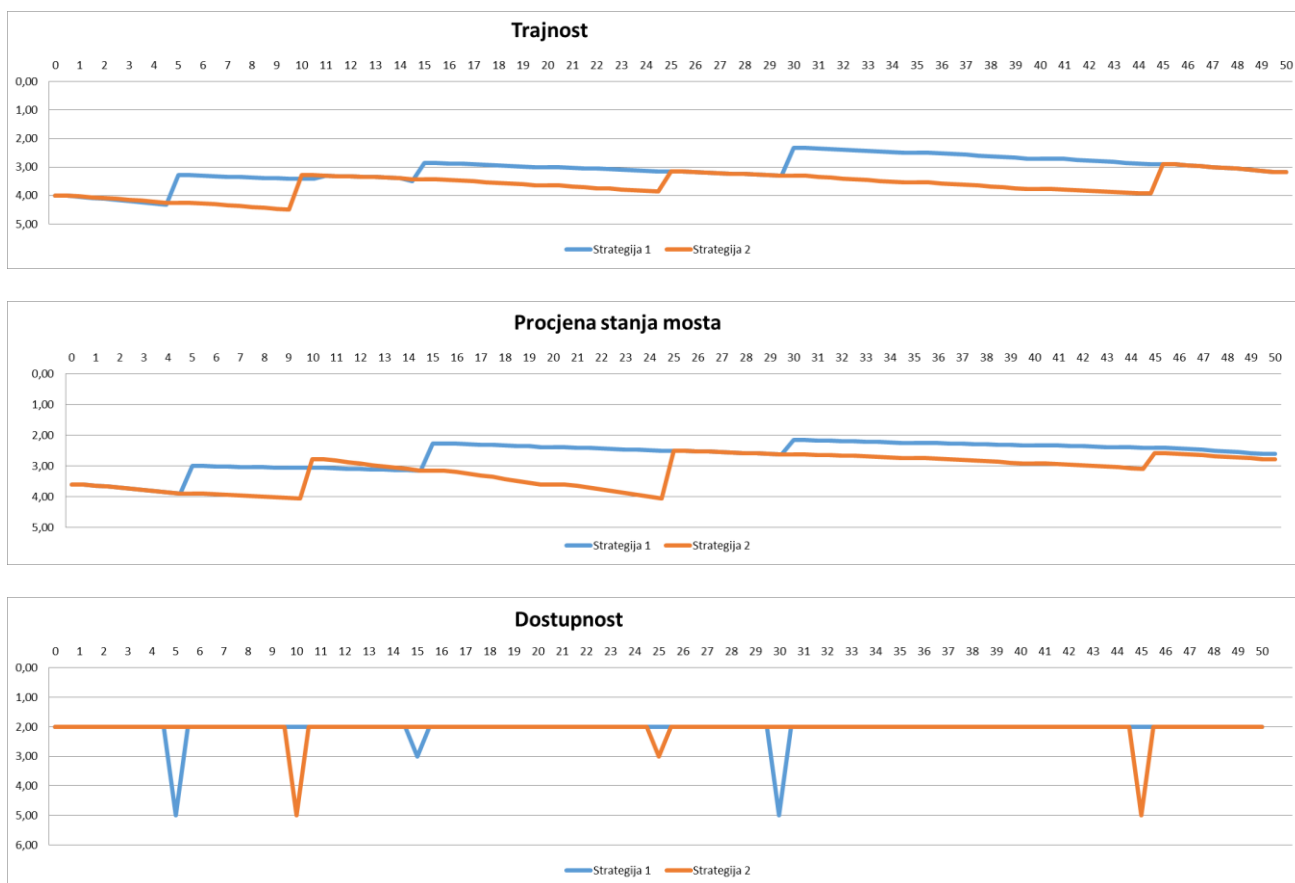
6.1.1. Most preko Korane



Slika 61. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane za $t=0$

Za razdoblje $t=0$ kod dvaju strategija ocjene za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i važnost mosta u prometnoj mreži su jednake dobivenim dijagramom u obliku pauka. (slika 61.) $KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost) i $KPI_{D,IP}$ (trajnost) iznose 4,0, a $KPI_{BCA,IP}$ (procjena stanja mosta) = 3,60 zbog onečišćenja i procurivanja prijelazne naprave, dok $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) iznosi 2,46 uzrokovano iscvjetavanjem glavnih nosača.





Slika 62. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most preko Korane

Rezultati su dani u obliku dijagrama za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost mosta (Slika 62.). Na apscisi se nalazi vijek trajanja koji je procijenjen na 50 godina, a na ordinati se nalaze ocjene od 1 do 5 dodijeljene ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.

Unutar vremena $t=0$ sve do vremena od $t=50$ se događala postepena degradacija komponenti mosta, koja je utjecala na povećanje ocjena za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta u svakom promatranom trenutku.

6.1.1.1. Strategija 1

Tablica 10. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta preko Korane:

Strategija 1											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.	zamjena prijelazne naprave		saniranje pukotina duž hodnika			sanacija oštećenja glavnih nosača			sanacija oštećenja na stupovima	
	2.	sanacija pukotina na kolniku		saniranje odlamanja na upornjaku			zamjena boje na ogradi				
	3.	čišćenje slivnika					sanacija odlamanja rubnjaka				
	4.						sanacija odlamanja vijenca				

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 1 dolazi do promjene stanja na dijagramima prometne sigurnosti, trajnosti, procjene stanja mosta i dostupnosti. Smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: zamjena prijelazne naprave, sanacija pukotina i kolotražnja na kolničkoj konstrukciji i čišćenje slivnika duž mosta. Sada su KPI-ovi za prometnu sigurnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednost uzrokovanu neotklonjenim oštećenjima na stupovima mosta. Dok je sada $KPI_{D,IP}$ (trajnost) uzrokovan pukotinama na hodniku mosta. Do promjene nije dolazilo kod $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) jer iscvjetavanje glavnih nosača kojim je uzrokovan nije otklonjeno. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed zamjene prijelazne naprave promet na mostu mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta : povećanjem korozije ograde, odlamanja zaštitnog sloja vijenca, iscvjetavanja, odlamanja zaštitnog sloja i korozije šipki kod glavnih nosača, te pukotina duž hodnika. Dostupnost mosta se nije mijenjala jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 15. godine dolazi do intervencija što predstavlja smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta. Saniraju se pukotine duž hodnika i odlamanja

zaštitnog sloja na zidovima upornjaka. Sada je $KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost) zadobio vrijednost uzrokovanu ljuštenjem zaštitnog sloja i korozijom ograde. Dok su KPI-ovi za trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovani odlamanjem vijenca mosta. Do promjene nije dolazilo kod $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) jer iscvjetavanje glavnih nosača kojim je uzrokovan nije otklonjeno. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na hodniku prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Kod razdoblje od 20 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano napredovanjem korozije i pukotina duž ograde, odlamanjem zaštitnog sloja vijenca, korodiranjem, odlamanjem i iscvjetavanjem glavnih nosača, javljanjem novih pukotina na kolniku, odlamanjem zaštitnog sloja na luku i stupovima i odlamanjem betona na rubnjacima.

Povećanje KPI-ova se nastavlja i do 25. godine uzrokovano napredovanjem prethodno navedenih oštećenja komponenti, uz javljanje dodatnog onečišćavanja slivnika mosta.

Kod 30. godine dolazi do intervencija koje uzrokuju promjenu svih KPI-ova. Saniraju se sva oštećenja na glavnim nosačima, tj. odlamanje zaštitnog sloja, korozija, iscvjetavanje i progib, mijenja se boja kod ograde, sanira se odlamanje rubnjaka i vijenca mosta. $KPI_{SS,IP}$ se smanjuje i dobiva vrijednost povezanu sa oštećenjem na stupovima mosta. Vrijednost prometne sigurnosti je sada uzrokovana pukotinama na kolniku, trajnosti onečišćenjem slivnika, a procjene stanja mosta odlamanjima zaštitnog sloja na luku. Dostupnost mosta raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije oštećenja na glavnim nosačima promet mora zatvoriti u oba smjera.

U razmaku do 35 godine dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova uzrokuje širenje pukotina na kolniku, početak pukotina na hodniku, odlamanje zaštitnog sloja na luku i na stupovima, nakupljanje nečistoće u slivnicima i prijelaznoj napravi. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nema intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 40. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja.

Kod 45. godine dolazi do intervencija na stupovima koje uzrokuju promjenu $KPI_{SS,IP}$ (sigurnosti konstrukcije). Otklanjaju se sva oštećenja na stupovima, tj. odlamanje zaštitnog sloja, korozija i grafiti. Ostali KPI-ovi ostaju nepromijenjeni jer se ne saniraju oštećenja kojima su oni uzrokovani. Dostupnost mosta također ostaje nepromjenjiva jer usljed intervencija na stupovima nije potrebno obustavljati promet ni u jednom smjeru.

Širenje pukotina na kolniku i hodniku, odlamanje zaštitnog sloja na luku, nakupljanje nečistoće u slivnicima i prijelaznoj napravi se nastavlja i do 50. godine , uz dodatno javljanje ljuštenja ograde i odlamanja rubnjaka. Za to vrijeme dostupnost mosta se ne mijenja, dok kod ostalih dijagrama dolazi do promjene.

6.1.1.2. Strategija 2

Tablica 11. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta preko Korane:

Strategija 2											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.		zamjena prijelazne naprave			saniranje pukotina duž hodnika				sanacija oštećenja glavnih nosača	
	2.		sanacija pukotina na kolniku			saniranje odlamanja na upornjaku				zamjena boje na ogradi	
	3.		čišćenje slivnika							sanacija odlamanja rubnjaka	
	4.									sanacija odlamanja viienca	

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 2 dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta : prijelazna naprava je potpuno onečišćena , slivnici začepjeni , proširile su se pukotine na kolniku, kao i korozija ograde, odlamanje zaštitnog sloja vijenca, iscvjetavanje i odlamanje glavnih nosača, te pukotine duž hodnika. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nema nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima prometne sigurnosti, trajnosti, procjene stanja mosta i dostupnosti. Smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: zamjena prijelazne naprave, sanacija pukotina i kolotražnja na kolničkoj konstrukciji i čišćenje slivnika duž mosta. Sada su KPI-ovi za prometnu sigurnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednost uzrokovanu neotklonjenim oštećenjima na stupovima mosta. Dok je $KPI_{D,IP}$ (trajnost) uzrokovan

pukotinama na hodniku mosta. Do promjene nije dolazilo kod $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) jer iscvjetavanje glavnih nosača kojim je uzrokovan nije otklonjeno. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed zamjene prijelazne naprave promet na mostu mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Za razdoblje od 15 godina dolazi do promjene svih KPI-ova osim dostupnosti mosta. Njihovo povećanje je uzrokovano korozijom i ljuštenjem ograde, odlamanjem zaštitnog sloja vijenca, iscvjetavanjem, odlamanjem i korodiranje glavnih nosača, pukotinama duž hodnika, odlamanjem zaštitnog sloja na luku, zidovima upornjaka i na stupovima, te odlamanjem betona na rubnjacima mosta.

Degradacija tih komponenti se nastavlja i do razdoblja od 20 godina, te KPI-ovi za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta nastavljaju rasti.

Kod 25. godine dolazi do intervencija što predstavlja smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta. Saniraju se pukotine duž hodnika i odlamanja zaštitnog sloja na zidovima upornjaka. Sada je $KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost) zadobio vrijednost uzrokovan ljuštenjem zaštitnog sloja i korozijom ograde. Dok je ključni pokazatelj učinkovitosti za trajnost uzrokovan odlamanjem vijenca mosta, a za procjenu stanja mosta korozijom glavnih nosača. Do promjene nije dolazilo kod $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) jer iscvjetavanje glavnih nosača kojim je uzrokovan nije otklonjeno. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na hodniku prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Kod razdoblje od 30 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano napredovanjem korozije i pukotina duž ograde, odlamanjem zaštitnog sloja vijenca, koordiniranjem i iscvjetavanjem glavnih nosača, širenjem pukotina na kolniku, odlamanjem na luku i na stupovima, odlamanjem betona na rubnjacima, nakupljanjem nečistoće u slivnicima i prijelaznoj napravi.

Povećanje KPI-ova se nastavlja i do 35. godine uzrokovano napredovanjem prethodno navedenih oštećenja komponenti. Kao i do 40. godine uz dodatno javljanje pukotina na hodniku mostu.

Kod 45. godine dolazi do intervencija koje uzrokuju promjenu svih KPI-ova. Saniraju se sva oštećenja na glavnim nosačima, tj. odlamanje zaštitnog sloja, korozija, iscvjetavanje i progib, mijenja se boja kod ograde, sanira se odlamanje rubnjaka i vijenca mosta. $KPI_{SS,IP}$ se smanjuje i dobiva vrijednost povezanu sa oštećenjem na stupovima mosta. Vrijednost prometne sigurnosti je sada uzrokovana pukotinama na kolniku, trajnosti onečišćenjem

slivnika, a procjene stanja mosta odlamanjima zaštitnog sloja na luku. Dostupnost mosta raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije oštećenja na glavnim nosačima promet mora zaustaviti u oba smjera.

Širenje pukotina na kolniku i hodniku, odlamanje zaštitnog sloja na luku i na stupovima, nakupljanje nečistoće u slivnicima i prijelaznoj napravi se nastavlja i do 50. Godine. Za to vrijeme dostupnost mosta se ne mijenja, dok kod ostalih dijagrama dolazi do promjene.

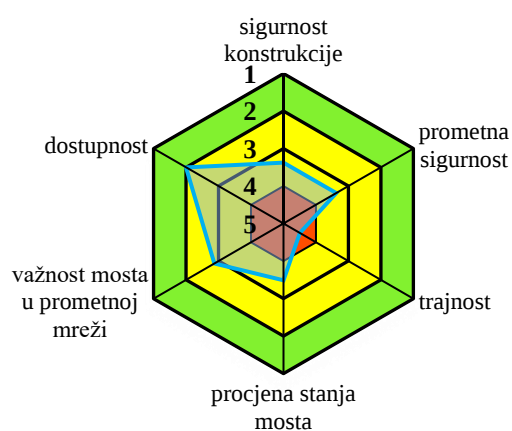
6.1.1.3. Usporedba strategija 1 i 2

Kod obje strategije se kretalo sa jednakim početnim vrijednostima dobivenim prehodno dobivenim grafičkim prikazom, dijagramom u obliku pauka. Do razlika unutar razvoja pokazatelja učinkovitosti duž vijeka trajanja kod strategija 1 i 2 dolazi zbog različitih pristupa kojim se teži. Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastojalo pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušavala intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji dosegli ocjenu 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je dostizala vrijednost 4, u iznimnim situacijama i vrijednost 4.5, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah. Unutar obje strategije predviđalo se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta duž čitavog razdoblja.

Ukupno gledano kod strategija 1 i 2 u početku ($t=0$) ključni za intervenciju su bili pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost i trajnost, slijedila ih je procjena stanja mosta dok je najbolje bila ocjenjena sigurnost konstrukcije. Na kraju strategije 1 ($t=50$) redoslijed za popravke se izmjenio, najkritičniji je pokazatelj za trajnost, slijedi ga sigurnost konstrukcije, zatim prometna sigurnost i na kraju procjena stanja mosta. Dok kod strategije 2 za $t=50$ redoslijed je također drugačiji, najkritičniji je pokazatelj za sigurnost konstrukcije, zatim za trajnost, slijedi dalje prometna sigurnost i na kraju procjena stanja mosta. U tome je vidljiva različitost dvaju strategija koja vodi i različitom redoslijedu pokazatelja učinkovitosti za jednaka godišnja razdoblja.

Zaključno prva strategija je progresivnija, ali da li je izvediva ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

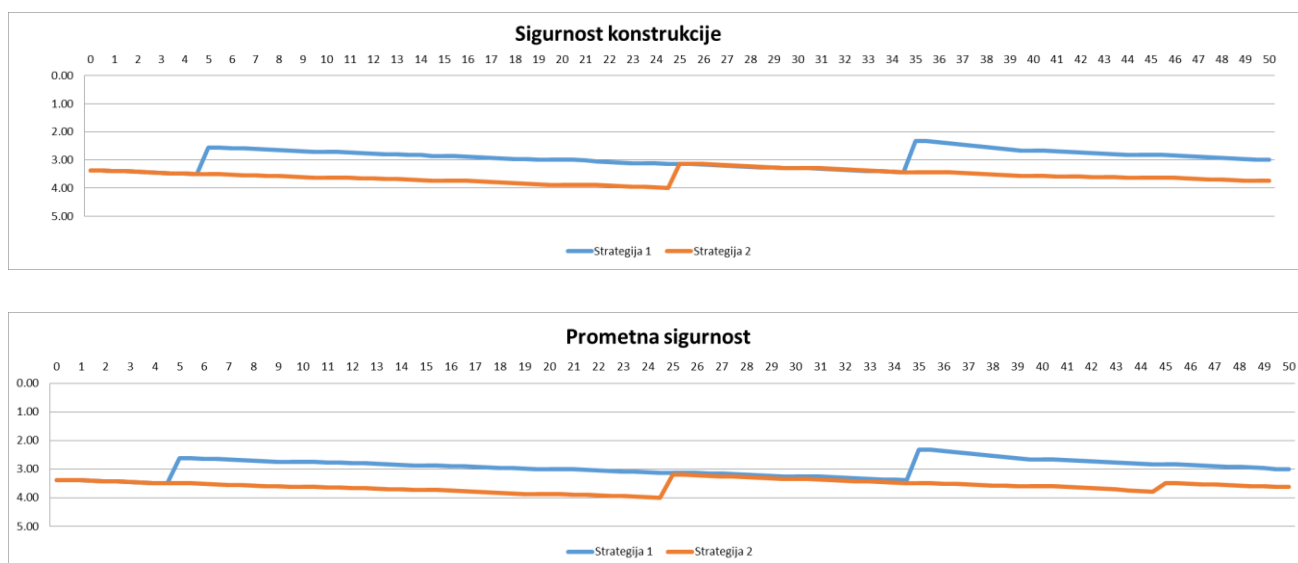
6.1.2. Gredni most u Slunju

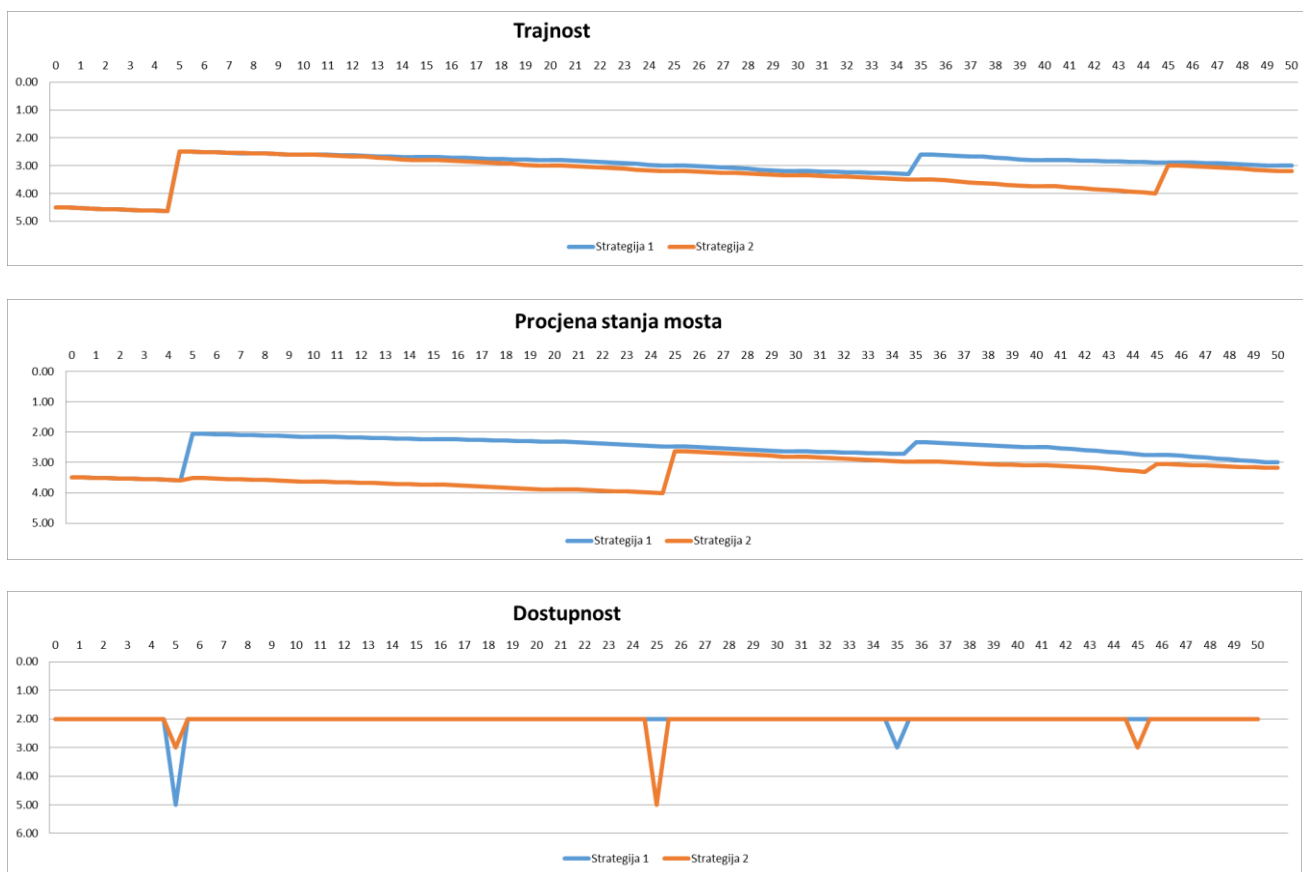


Dio sklopa	KPISS,IP (sigurnost konstrukcije)	KPITS,IP (prometna sigurnost)	KPID,IP (trajnost)	KPIBCA,IP (procjena stanja mosta)
Hodnik	3,00	2,91	4,50	3,49
Kolnik	0,77	2,30	2,30	1,90
Gredna konstr.	3,38	3,38	1,69	3,38
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	0,00	0,00	0,00	0,00
Stup	2,43	0,61	1,21	1,34
Odvodnja	0,58	1,31	1,75	1,44
Sustav	KPISS,SY	KPITS,SY	KPID,SY	KPIBCA,SY
Most	3,38	3,38	4,50	3,49

Slika 63. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju za $t=0$

Za razdoblje $t=0$ kod dvaju strategija ocjene za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost su jednake dobivenim dijagramom u obliku pauka. (slika 63.) $KPID,IP$ (trajnost) iznosi 4,50 zbog oštećenja na vijencu mosta, $KPIBCA,IP$ (procjena stanja mosta) =3,49 također zbog oštećenja vijenca. $KPISS,IP$ (sigurnost konstrukcije) i $KPITS,IP$ (prometna sigurnost) iznose 3,38 uzrokovano odlamanjem zaštitnog sloja, iscvjetavanjem i korozijom ploče mosta.





Slika 64. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme rednog mosta u Slunju

Rezultati su dani u obliku dijagrama za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost mosta (Slika 64.). Na apscisi se nalazi vijek trajanja koji je procijenjen na 50 godina, a na ordinati se nalaze ocjene od 1 do 5 dodijeljene ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.

Unutar vremena $t=0$ sve do vremena od $t=50$ se događala postepena degradacija komponenti mosta, koja je utjecala na povećanje ocjena za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta u svakom promatranom trenutku.

6.1.2.1. Strategija 1

Tablica 12. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta u Slunju:

Strategija 1											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.	zamjena vijenca						čišćenje slivnika			
	2.	sanacija pukotina na hodniku						saniranje pukotina na kolniku			
	3.	Sanacija oštećenja ploče						Sanacija oštećenja stupova			
	4.							zamjena ograde			

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 1 dolazi do promjene stanja na svim prethodno prikazanim dijagramima. Smanjenje KPI-ova za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije na hodniku, vijencu, ploči: radi se čitava zamjena vijenca mosta, saniraju se sve pukotine na hodniku i sanira se iscvjetavanje, odlamanje zaštitnog sloja i korozija duž čitave ploče. Sada je pokazatelj učinkovitosti za prometnu sigurnost zadobio vrijednost povezanu sa ljuštenjem ograde mosta. Sigurnost konstrukcije je narušena oštećenjima na stupovima. Dok su trajnost i procjena stanja mosta narušene pukotinama duž kolnika. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije ploče mosta promet mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta : onečišćavanjem slivnika, odlamanjem zaštitnog sloja i korozije na stupovima, pukotinama duž kolnika, ljuštenjem ograde. Dostupnost mosta se nije mijenjala jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 15. godine i 20. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja.

Kod razdoblja od 25 godina degradacija oštećenja i dalje napreduje, uz javljanje pukotina na hodniku mosta. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja već ostaje na vrijednosti 2.

Do 30.godine dodatno se javlja iscvjetavanje kolničke ploče mosta.

Kod 35. godine dolazi do intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta. Čiste se slivnici, saniraju pukotine i kolotražnja na kolniku, na stupovima saniraju se odlamanja zaštitnog sloja, korozije i grafita, te dolazi do zamjene čitave ograde. Sada su KPI-ovi za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti uzrokovane iscvjetavanjem i odlamanjem kolničke ploče. Dok je pokazatelj učinkovitosti za trajnost uzrokovan pukotinama na hodniku. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku, čišćenja slivnika i zamjene ograde prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Kod razdoblje od 40 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano rastom pukotina na hodniku, iscvjetavanjem, odlamanjem i korozijom ploče, odlamanjem rubnjaka, početkom odlamanja vijenca.

Povećanje KPI-ova se nastavlja i do 45 godine uzrokovano širenjem prethodno navedenih oštećenja komponenti.

Također degradacija oštećenja se proteže sve do samog kraja, tj. 50.te godine vijeka uporabe.

6.1.2.2. Strategija 2

Tablica 13. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta u Slunju:

Strategija 2											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.	zamjena vijenca				Sanacija oštećenja ploče				čišćenje slivnika	
	2.	sanacija pukotina na hodniku								saniranje pukotina na kolniku	

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 2 dolazi do promjene stanja na dijagramima trajnosti i procjene stanja mosta. Smanjenje KPI-ova za trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije na hodniku i vijencu: radi se čitava zamjena vijenca mosta, saniraju se sve pukotine na hodniku. KPI-ovi za sigurnost konstrukcije i prometnu

sigurnost ostaju nepromijenjeni jer se ne intervenira na ploči mosta. Sada je pokazatelj učinkovitosti za trajnost zadobio vrijednost povezanu sa pukotinama na kolniku. Procjena stanja mosta narušena je korozijom i odlamanjem ploče mosta. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije hodnika i vijenca promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: onečišćavanjem slivnika, iscvjetavanjem, odlamanjem i korozijom ploče mosta, odlamanjem zaštitnog sloja i korozije na stupovima, pukotinama duž kolnika, ljuštenjem ograde. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nema intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 15. godine i 20. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja.

Kod razdoblja od 25 godina dolazi do intervencije na ploči mosta, što uzrokuje promjenu pokazatelja učinkovitosti za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, procjenu stanja i dostupnost. Sanira se iscvjetavanje, odlamanje zaštitnog sloja i korodiranje kolničke ploče. Trajnost se ne mijenja jer se pukotine duž kolnika ne saniraju. Sada pokazatelj učinkovitosti za sigurnost konstrukcije postaje narušen oštećenjem na stupovima mosta. Dok prometna sigurnost i procjena stanja mosta zadobiju vrijednosti ovisne o oštećenju kolnika. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije ploče mosta promet mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Dalje za razdoblje od 30 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano onečišćavanjem slivnika, odlamanjem zaštitnog sloja i korozije na stupovima, pukotinama duž kolnika i ljuštenjem sloja ograde.

Do 35.godine uz prethodno navedena oštećenja dodatno se javljaju pukotine na hodniku mosta.

Povećanje KPI-ova se nastavlja i do 40 godine uzrokovano širenjem oštećenja komponenti, uz pojavu pojedinih odlamanja na vijencu mosta.

Kod 45. godine dolazi do intervencija na kolniku i slivnicima što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta osim sigurnosti konstrukcije, jer je taj parametar narušen oštećenjem stupova mosta. Čiste se slivnici, saniraju pukotine i kolotražnja na kolniku. Sada je KPI za prometnu sigurnost zadobio vrijednost uzrokovanu ljuštenjem zaštitne

ograde mosta. Dok je pokazatelj učinkovitosti za trajnost uzrokovan pukotinama na hodniku. Procjena stanja mosta zadobiva ocjenu određenu oštećenjima na ploči mosta. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku i čišćenja slivnika prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Do razdoblje od 50 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom na stupovima, pukotinama duž hodnika i ljuštenjem sloja ograde, odlamanjem vijenca, iscvjetavanjem i odlamanjem na ploči.

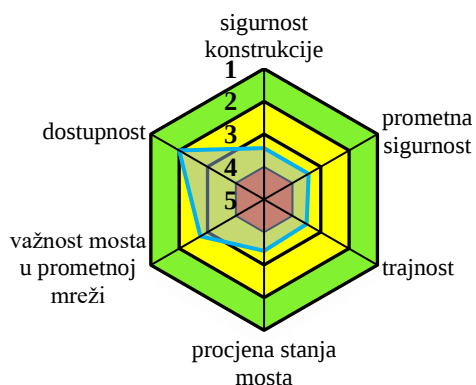
6.1.2.3. Usporedba strategija 1 i 2

Kod obje strategije se kretalo sa jednakim početnim vrijednostima dobivenim prehodno dobivenim grafičkim prikazom, dijagramom u obliku pauka. Do razlika unutar razvoja pokazatelja učinkovitosti duž vijeka trajanja kod strategija 1 i 2 dolazi zbog različitih pristupa kojim se teži. Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastojalo pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušavala intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji došli blizu ocjene 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je sezala do vrijednosti 4, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah. Unutar obje strategije predviđalo se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta duž čitavog razdoblja.

Ukupno gledano kod strategija 1 i 2 u početku ($t=0$) ključan za intervenciju je bio pokazatelj učinkovitosti za trajnost, slijedila ga je procjena stanja mosta dok su najbolje bili ocjenjeni sigurnost konstrukcije i prometna sigurnost. Na kraju strategije 1 ($t=50$) se događa da svi pokazatelji učinkovitosti zaprimaju jednaku ocjenu. Dok kod strategije 2 za $t=50$ redoslijed se izmjenjuje, najkritičniji je pokazatelj za sigurnost konstrukcije, zatim ga slijedi prometna sigurnost, onda trajnost i na kraju procjena stanja mosta. U tome je vidljiva različitost dvaju strategija koja vodi i različitom redoslijedu pokazatelja učinkovitosti za jednaka godišnja razdoblja.

Zaključno prva strategija je progresivnija, ali da li je izvediva ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

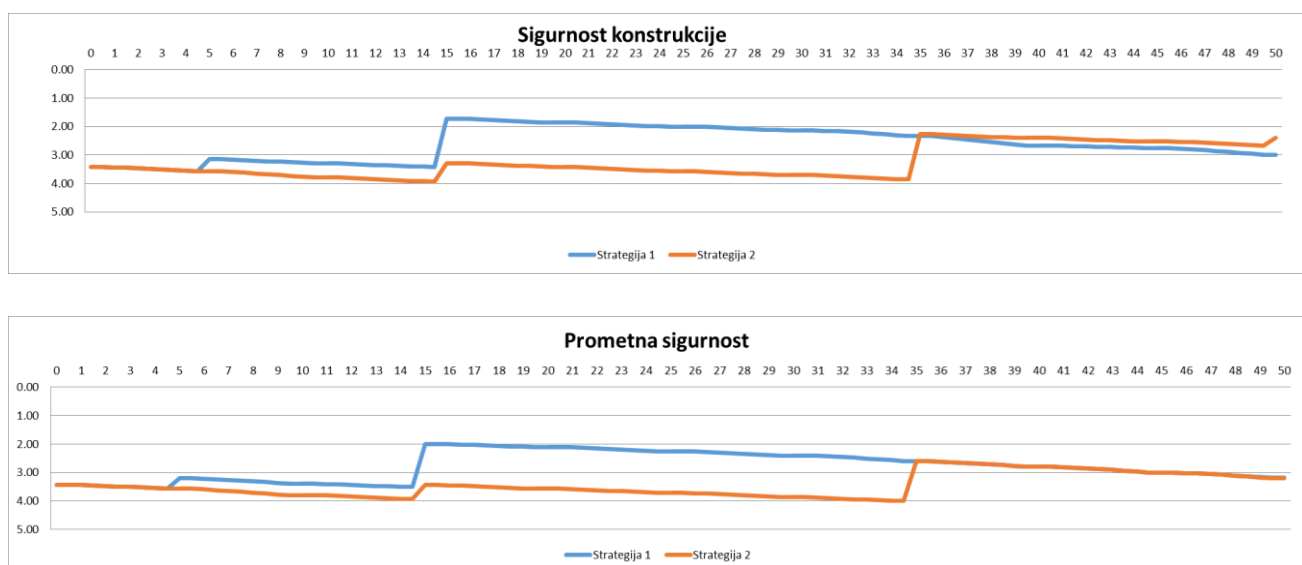
6.1.3. AB most u Bjelovaru

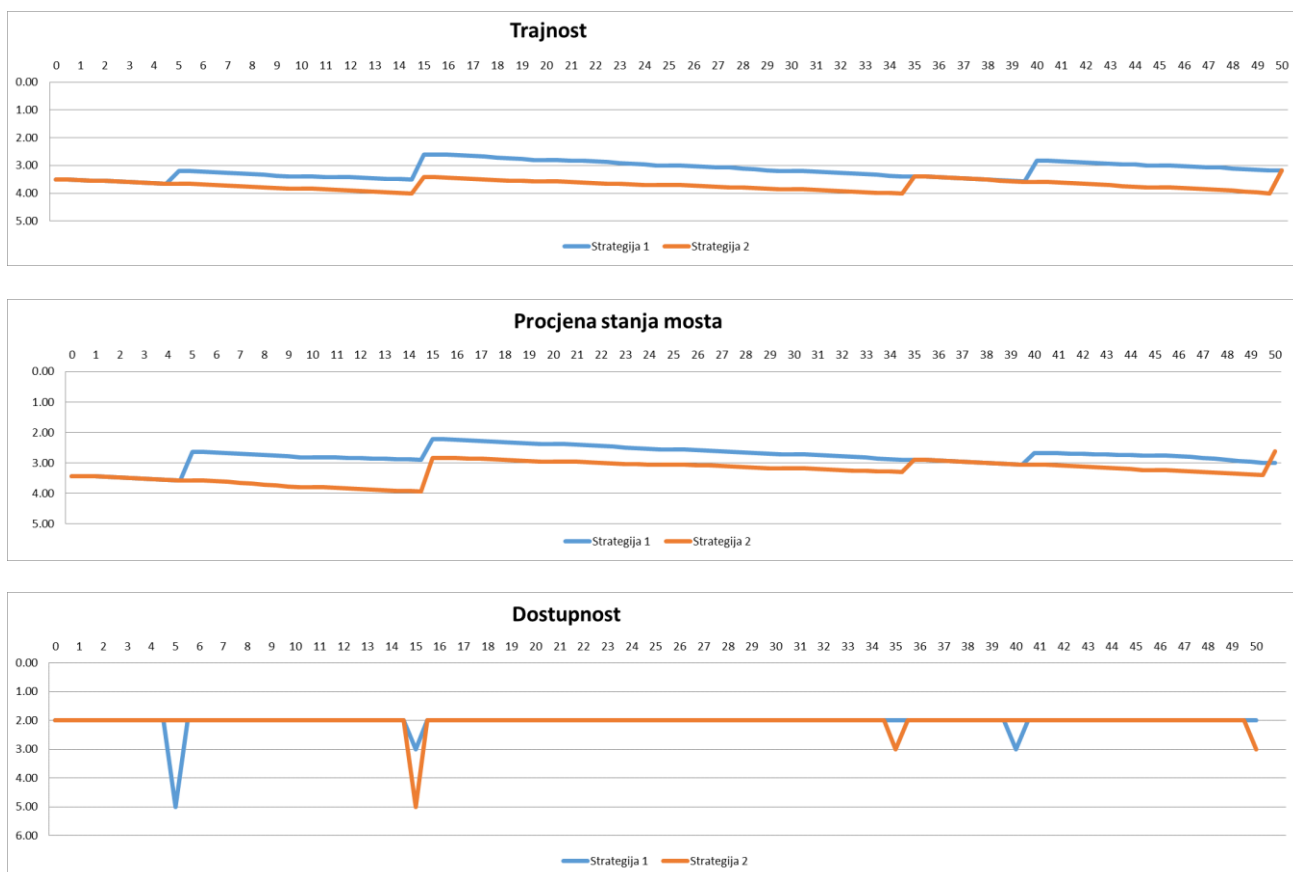


Dio sklopa	KPISS,IP (sigurnost konstrukcije)	KPITS,IP (prometna sigurnost)	KPID,IP (trajnost)	KPIBCA,IP (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	1,50	2,00	1,70
Kolnik	1,00	3,00	3,00	2,48
Gredna konstr.	3,43	3,43	1,71	3,43
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	3,50	2,63
Stup	3,00	0,75	1,50	1,65
Odvodnja	0,00	0,00	0,00	0,00
Sustav	KPISS,SY	KPITS,SY	KPID,SY	KPIBCA,SY
Most	3,43	3,43	3,50	3,43

Slika 65. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta u Bjelovaru za $t=0$

Za razdoblje $t=0$ kod dvaju strategija ocjene za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost su jednake dobivenim dijagramom u obliku pauka. (slika 65.) $KPID,IP$ (trajnost) iznosi 3,5 zbog erozije tla na nasipima, a $KPIBCA,IP$ (procjena stanja mosta), $KPITS,IP$ (prometna sigurnost) i $KPISS,IP$ (sigurnost konstrukcije) iznose 3,43 uzrokovano odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom ploče mosta.





Slika 66. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most u Bjelovaru

Rezultati su dani u obliku dijagrama za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost mosta (Slika 66.). Na apscisi se nalazi vijek trajanja koji je procijenjen na 50 godina, a na ordinati se nalaze ocjene od 1 do 5 dodijeljene ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.

Unutar vremena $t=0$ sve do vremena od $t=50$ se događala postepena degradacija komponenti mosta, koja je utjecala na povećanje ocjena za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta u svakom promatranom trenutku.

6.1.3.1. Strategija 1

Tablica 14. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta u Bjelovaru:

Strategija 1											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.	Sanacija oštećenja ploče		Sanacija pukotina na kolniku				čišćenje slivnika			
	2.	sanacija nasipa		Sanacija oštećenja stupova				saniranje pukotina na hodniku			
	3.			Sanacija oštećenja upornjaka							

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 1 dolazi do promjene stanja na svim prethodno prikazanim dijagramima. Smanjenje KPI-ova za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: sanacija iscvjetavanja, odlamanja i korozije duž ploče te nasipavanje tla i prekrivanje zaštitnom mrežom nasipa mosta. Sada su pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti povezane sa pukotinama na kolniku. Sigurnost konstrukcije je narušena oštećenjima na stupovima. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije ploče mosta promet mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom upornjaka, odlamanjem zaštitnog sloja na stupovima, pukotinama na kolniku i hodniku. Dostupnost mosta se nije mijenjala jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 15. godine dolazi do intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta. Saniraju se pukotine i kolotražnja na kolniku, na stupovima i upornjacima saniraju se odlamanja zaštitnog sloja, korozija i grafiti. Sada su KPI-ovi za sigurnost konstrukcije, trajnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti uzrokovane pukotinama na hodniku. Dok je pokazatelj učinkovitosti za prometnu sigurnost uzrokovan ljuštenjem ograde. Dostupnost

mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Kod razdoblje od 20 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano onečišćavanjem slivnika, širenjem pukotina duž hodnika, ljuštenjem sloja ograde i odlamanjem rubnjaka.

Kod 25. godine i 30. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja.

Kod razdoblja od 35 godina degradacija oštećenja i dalje napreduje, uz javljanje iscvjetavanja i odlamanja na ploči mosta. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja već ostaje na vrijednosti 2.

Kod 40. godine dolazi do intervencija na slivnicima i hodniku što predstavlja promjenu pokazatelja učinkovitosti za trajnost i procjenu stanja mosta. Čiste se slivnici i saniraju pukotine na hodniku mosta. KPI za sigurnost konstrukcije se ne mijenja jer je uzrokovan odlamanjima i iscvjetavanjem na ploči mosta. Ne mijenja se ni prometna sigurnost jer se ne sanira oграда mosta. Sada je KPI za trajnost zadobio vrijednost odlamanjem rubnjaka. Dok je pokazatelj učinkovitosti za procjenu stanja mosta uzrokovan odlamanjem ploče. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na hodniku i čišćenja slivnika promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 45 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano: ljuštenjem sloja ograde, odlamanjem rubnjaka, iscvjetavanjem i odlamanjem ploče, pukotinama na kolniku, odlamanjem zaštitnog sloja stupova mosta.

Povećanje KPI-ova se nastavlja sve do 50. godine uzrokovano širenjem prethodno navedenih oštećenja komponenti.

6.1.3.2. Strategija 2

Tablica 15. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta u Bjelovaru:

Strategija 2											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.			Sanacija oštećenja ploče				Sanacija pukotina na kolniku			saniranje pukotina na hodniku
	2.			sanacija nasipa				Sanacija oštećenja stupova			
	3.							Sanacija oštećenja upornjaka			

Za razdoblje od 5 godina kod strategije 2 dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: iscvjetavanjem, odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom ploče, erozijom nasipa, odlamanjem i korozijom upornjaka, te pukotinama na kolniku i hodniku. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Također i kod razdoblja od 10 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano prethodno navedenim oštećenjima uz odlamanje zaštitnog sloja na stupovima.

Promatrajući razdoblje od 15 godina dolazi do promjene stanja na svim prethodno prikazanim dijagramima. Smanjenje KPI-ova za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: sanacija scvjetavanja, odlamanja i korozije duž ploče te nasipavanje tla i prekrivanje zaštitnom mrežom nasipa mosta. Sada su pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti povezane sa pukotinama na kolniku. Sigurnost konstrukcije je narušena oštećenjima na stupovima. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije ploče mosta promet mora zatvoriti u oba smjera, što rezultira najvećom mogućom ocjenom.

Kod razdoblje od 20 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom upornjaka, odlamanjem na stupovima, pukotinama na kolniku i hodniku, onečišćavanjem slivnika i ljuštenjem ograde.

Kod 25. i 30. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja, uz dodatno odlamanje rubnjaka.

Kod 35. godine dolazi do intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta. Saniraju se pukotine i kolotražnja na kolniku, na stupovima i upornjacima saniraju se odlamanja zaštitnog sloja, korozija i grafiti. Sada su KPI-ovi za sigurnost konstrukcije, trajnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti uzrokovane pukotinama na hodniku. Dok je pokazatelj učinkovitosti za prometnu sigurnost uzrokovan ljuštenjem ograde. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku prometuje s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Kod 40. i 45. godine primjećuje se porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je degradacija oštećenja: pukotine na hodniku, onečišćavanje slivnika, ljuštenje ograde, odlamanje rubnjaka, iscvjetavanje ploče.

Za razdoblje od 50 godina dolazi do intervencije na hodniku što predstavlja promjenu pokazatelja učinkovitosti za sigurnost konstrukcije, trajnost i procjenu stanja mosta. Saniraju se pukotine na hodniku mosta. KPI za prometnu sigurnost se ne mijenja jer se ne sanira ograda mosta. Sada je KPI za sigurnost konstrukcije zadobio vrijednost vezanu uz oštećenja na ploči mosta. Pokazatelj za trajnost i procjenu stanja mosta je zadobio vrijednost onečišćenjem slivnika. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na hodniku promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

6.1.3.3. Usporedba strategija 1 i 2

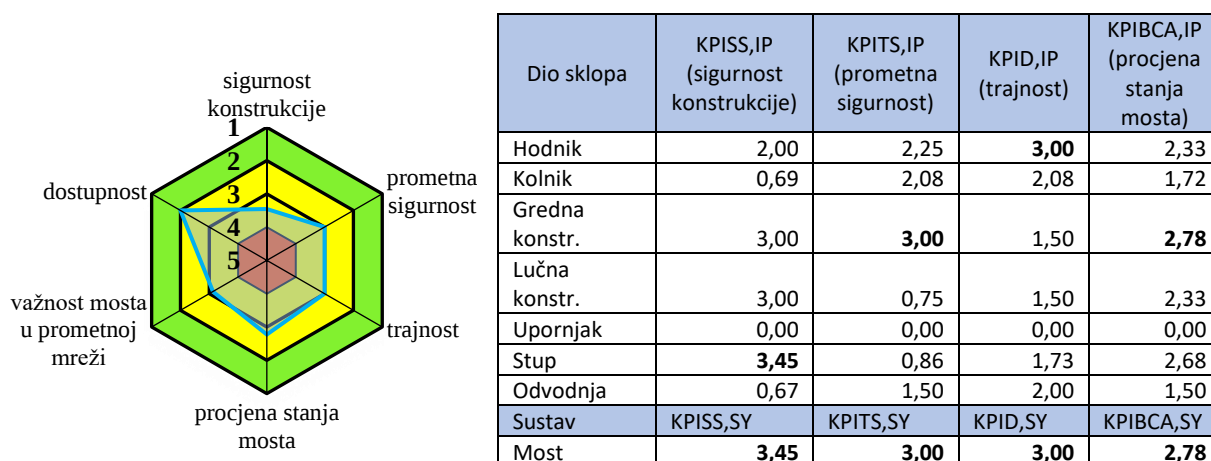
Kod obje strategije se kretalo sa jednakim početnim vrijednostima dobivenim prehodno dobivenim grafičkim prikazom, dijagramom u obliku pauka. Do razlika unutar razvoja pokazatelja učinkovitosti duž vijeka trajanja kod strategija 1 i 2 dolazi zbog različitih pristupa kojim se teži. Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastojalo pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušavala intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji došli blizu ocjene 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je sezala do vrijednosti 4, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah.

Unutar obje strategije predviđalo se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta duž čitavog razdoblja.

Ukupno gledano kod strategija 1 i 2 u početku ($t=0$) ključan za intervenciju je bio pokazatelj učinkovitosti za trajnost, slijedili su ga ostali pokazatelji, tj. procjena stanja mosta, sigurnost konstrukcije i prometna sigurnost. Na kraju strategije 1 ($t=50$) dolazi do izmjene poretka pokazatelja, najlošije su ocjenjeni prometna sigurnost i trajnost, dok ih slijede sigurnost konstrukcije i procjena stanja mosta. Kod strategije 2 za $t=50$ redoslijed se također izmjenjuje, najkritičniji je pokazatelj za prometnu sigurnost, zatim ga slijedi trajnost, nakon nje procjena stanja mosta i najbolju ocjenu zaprima sigurnost konstrukcije. U tome je jasno vidljiva različitost dvaju strategija koja vodi i različitom redoslijedu pokazatelja učinkovitosti za jednaka godišnja razdoblja.

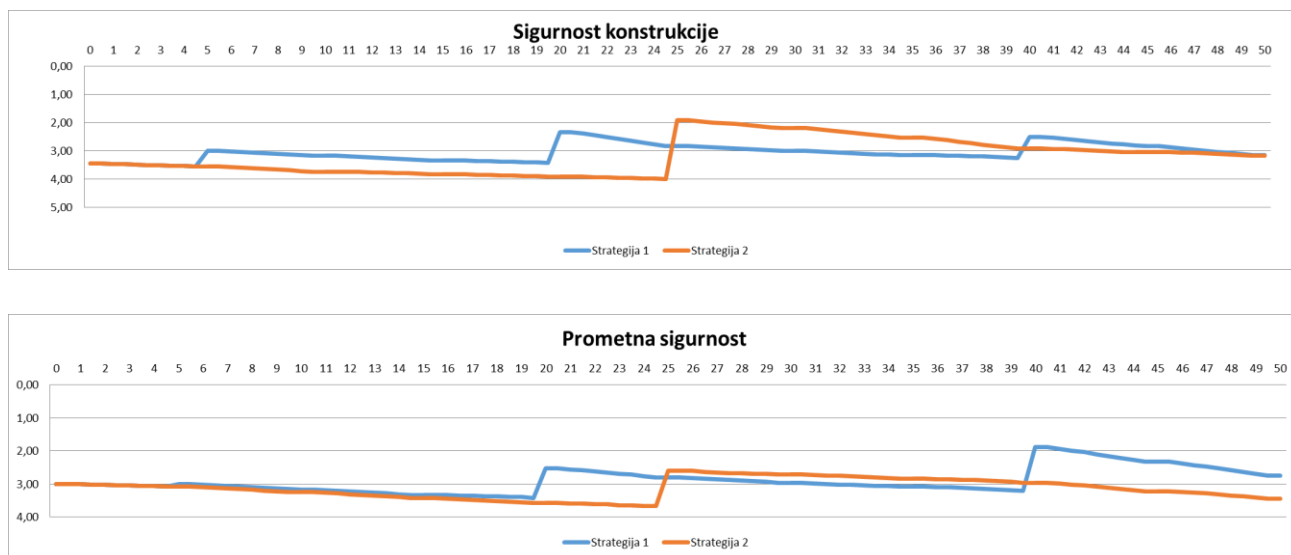
Zaključno prva strategija je progresivnija, ali da li je izvediva ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

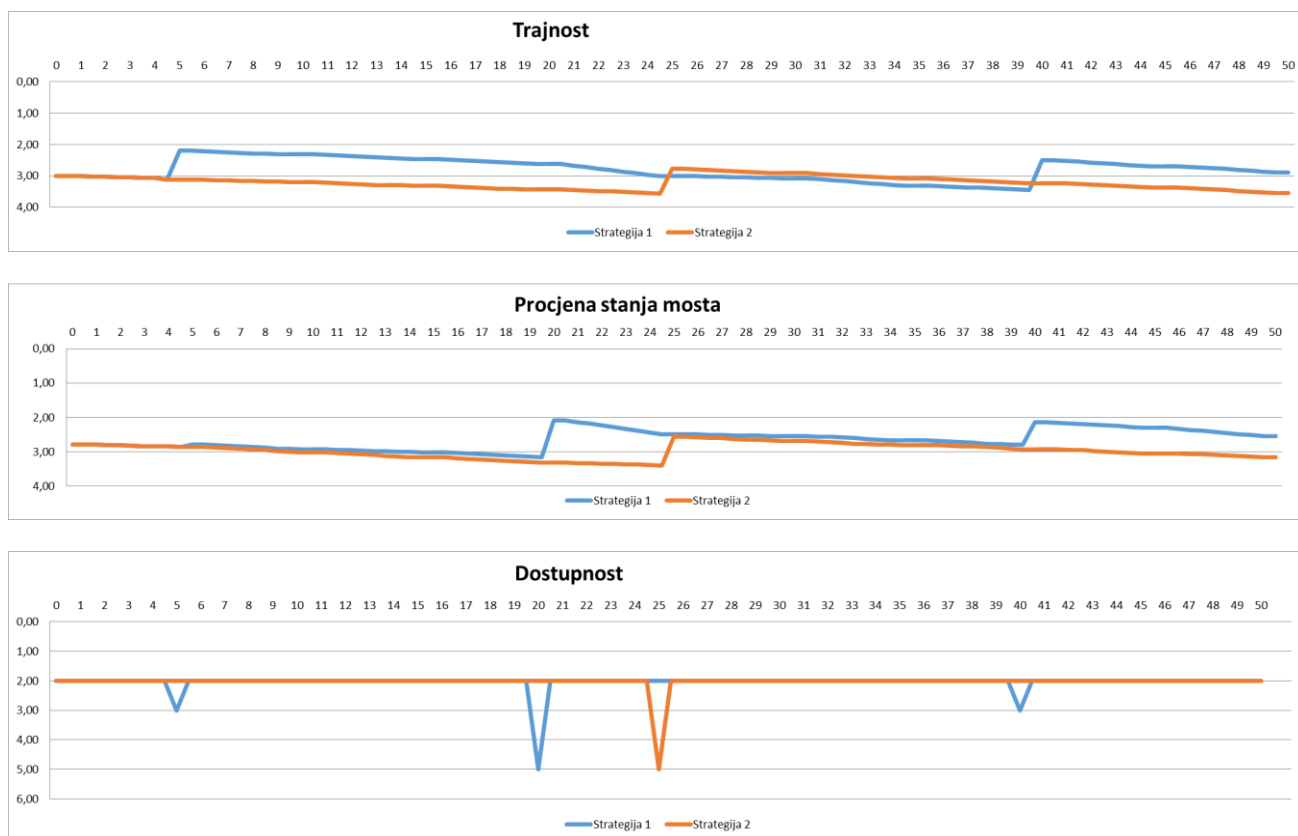
6.1.4. Lučni most preko Slunjičice



Slika 67. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta preko Slunjičice za $t=0$

Za razdoblje $t=0$ kod dvaju strategija ocjene za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost su jednake dobivenim dijagramom u obliku pauka. (slika 67.) $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) iznosi 3,45 zbog oštećenja na stupovima, $KPI_{D,IP}$ (trajnost) i $KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost) iznose 3,0 zbog pukotina na pješačkom hodniku i oštećenja na ploči mosta, dok je najbolje ocjenjen $KPI_{BCA,IP}$ (procjena stanja mosta) sa 2,78 uzrokovan oštećenjima na ploči mosta.





Slika 68. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most preko Slunjičice

Rezultati su dani u obliku dijagrama za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost mosta (Slika 68.). Na apscisi se nalazi vijek trajanja koji je procijenjen na 50 godina, a na ordinati se nalaze ocjene od 1 do 5 dodijeljene ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.

Unutar vremena $t=0$ sve do vremena od $t=50$ se događala postepena degradacija komponenti mosta, koja je utjecala na povećanje ocjena za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta u svakom promatranom trenutku.

6.1.4.1. Strategija 1

Tablica 16. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta preko Slunjske:

Strategija 1											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.	Sanacija oštećenja stupova			Sanacija oštećenja ploče				čišćenje slivnika		
	2.	sanacija pukotina na hodniku							saniranje pukotina na kolniku		
	3.								Zamjena rubnjaka		
	4.								Sanacija oštećenja luka		

Promatrajući razdoblje od 5 godina kod strategije 1 dolazi do promjene stanja na svim prethodno prikazanim dijagramima. Smanjenje KPI-ova za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su sanacije odlamanja zaštitnog sloja, korozije šipki te grafita na stupovima i sanacija pukotina na hodniku mosta. Sada su pokazatelji učinkovitosti za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost i procjenu stanja mosta zadobili vrijednosti povezane sa oštećenjima na ploči mosta. Trajnost je narušena pukotinama i kolotražnjem na kolniku. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije hodnika mosta promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: odlamanjem rubnjaka, onečišćavanjem slivnika, iscvjetavanjem, odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom kolničke ploče, odlamanjem zaštitnog sloja na luku te rastom pukotina duž kolnika. Dostupnost mosta se nije mijenjala jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod razdoblja od 15 godina degradacija prethodno navedenih oštećenja i dalje napreduje. Dostupnost mosta ostaje na vrijednosti 2.

Kod 20. godine dolazi do intervencije na ploči što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta, osim trajnosti. Saniraju se iscvjetavanje, odlamanje zaštitnog sloja i korozija armature duž čitave ploče mosta. Pokazatelj učinkovitosti za trajnost se ne mijenja

jer se pukotine na kolniku ne saniraju. Sada je KPI za sigurnost konstrukcije zadobio vrijednost povezanu uz oštećenja luka, prometna sigurnost je narušena pukotinama na kolniku, a procjena stanja mosta onečišćenjem slivnika. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije kolničke ploče promet mora zatvoriti u oba smjera.

Kod razdoblje od 25 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano lomljenjem rubnjaka, onečišćavanjem slivnika, napretkom pukotina duž kolnika i odlamanjem zaštitnog sloja luka.

Kod 30. godine degradacija prethodno navedenih oštećenja napreduje, uz početak pukotina na hodniku mosta. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja već ostaje na vrijednosti 2.

I 35. godine se primjećuje porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak prethodno navedenih oštećenja, uz pojavu isvjetavanja i odlamanja na stupovima.

Kod 40. godine dolazi do brojnih intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti. Čište se slivnici, mijenjaju se rubnjaci, saniraju pukotine na kolniku i sanira odlamanje zaštitnog sloja na luku. Sada je KPI za sigurnost konstrukcije zadobio novu vrijednost zbog iscvjetavanja i odlamanja na stupovima. Dok su ostali pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta narušeni pukotinama na hodniku mosta. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku, zamjene rubnjaka i čišćenja slivnika promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 45 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom stupova, iscvjetavanjem i odlamanjem zaštitnog sloja na pojedinim mjestima na kolničkoj ploči.

Povećanje KPI-ova se nastavlja sve do 50. godine uzrokovano širenjem prethodno navedenih oštećenja komponenti.

6.1.4.2. Strategija 2

Tablica 17. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta preko Slunjičice:

Strategija 2											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.					Sanacija oštećenja stupova					
	2.					saniranje pukotina na hodniku					
	3.					sanacija oštećenja ploče					
	4.					Sanacija oštećenja luka					

Za razdoblje od 5 godina dolazi do promjene stanja na dijagramima sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta : odlamanjem zaštitnog sloja i korozijom stupova mosta, pukotinama na hodniku, odlamanjem zaštitnog sloja luka, lomljenjem rubnjaka, onečišćavanjem slivnika, iscvjetavanjem, odlamanjem i korozijom kolničke ploče, te pukotinama duž kolnika. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nije došlo do nikakvih intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod razdoblje od 10 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano napredovanjem prethodno navedenih oštećenja.

I kod 15. I 20. godine degradacija prethodno navedenih oštećenja raste, dok dostupnost mosta ostaje na vrijednosti 2.

Kod 25. godine dolazi do intervencija na čitavom donjem ustroju i hodniku što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti mosta. Smanjenje KPI-ova za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su sanacije odlamanja zaštitnog sloja i korozije šipki te grafita na stupovima, sanacija odlamanja zaštitnog sloja luka, sanacije odlamanja zaštitnog sloja i korozije armature kolničke ploče te sanacija pukotina na hodniku mosta. Sada su pokazatelji učinkovitosti za sigurnost konstrukcije i trajnost narušeni odlamanjem rubnjaka, a prometna sigurnost i procjena stanja mosta

pukotinama na kolniku. Dostupnost mosta naglo raste na ocjenu 5 jer se usljed sanacije kolničke ploče promet mora zatvoriti u oba smjera.

Kod razdoblje od 30 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano lomljenjem rubnjaka, onečišćavanjem slivnika, napretkom pukotina duž kolnika i odlamanjem vijenca mosta.

Kod 35. godine degradacije prethodno navedenih oštećenja napreduju. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja već ostaje na vrijednosti 2.

I 40. I 45. godine se primjećuje porast ocjena svih KPI-ova, osim dostupnosti. Uzrok promjene ocjena je daljni napredak oštećenja, uz pojavu dodatnih oštećenja u vidu pukotina na hodniku i iscvjetavanja kolničke ploče.

Povećanje KPI-ova usljed oštećenja se nastavlja sve do 50. Godine. Dodatno se javlju odlamanje kolničke ploče i odlamanje zaštitnog sloja stupova mosta. Dostupnost mosta ostaje na vrijednosti 2.

6.1.4.3. Usporedba strategija 1 i 2

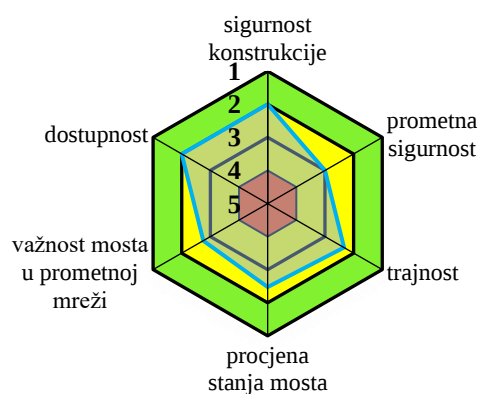
Kod obje strategije se kretalo sa jednakim početnim vrijednostima dobivenim prehodno dobivenim grafičkim prikazom, dijagramom u obliku pauka. Do razlika unutar razvoja pokazatelja učinkovitosti duž vijeka trajanja kod strategija 1 i 2 dolazi zbog različitih pristupa kojim se teži. Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastojalo pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušavala intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji došli blizu ocjene 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je sezala do vrijednosti 4, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah. Unutar obje strategije predviđalo se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta duž čitavog razdoblja.

Ukupno gledano kod strategija 1 i 2 u početku ($t=0$) ključan za intervenciju je bio pokazatelj učinkovitosti za sigurnost konstrukcije, slijedili su ga pokazatelji za prometnu sigurnost i trajnost, dok je najbolje ocjenjena bila procjena stanja mosta. Na kraju strategije 1 ($t=50$)

dolazi do izmjene poretka pokazatelja, najlošije je ocjenjena sigurnost konstrukcije, zatim slijedi trajnost, onda prometna sigurnost, i na kraju procjena stanja mosta. Kod strategije 2 za $t=50$ redoslijed se također izmjenjuje, najkritičniji je pokazatelj za trajnost, zatim ga slijedi prometna sigurnost, nakon nje su procjena stanja mosta i sigurnost konstrukcije. U tome je vidljiva različitost dvaju strategija koja vodi i različitom redoslijedu pokazatelja učinkovitosti za jednaka godišnja razdoblja.

Zaključno prva strategija je progresivnija, ali da li je izvediva ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

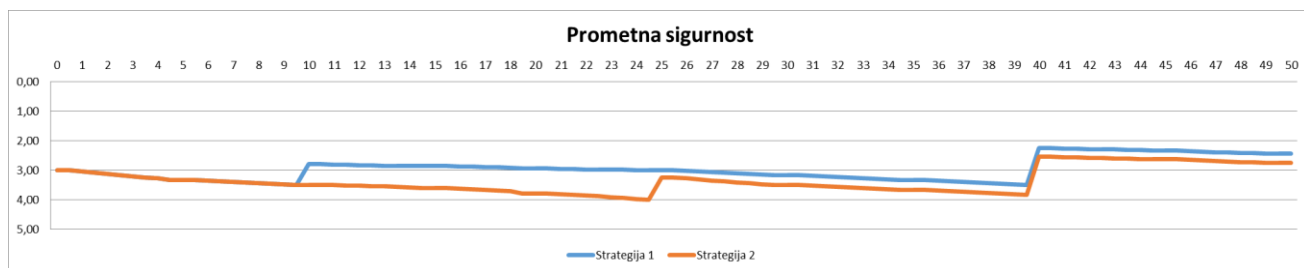
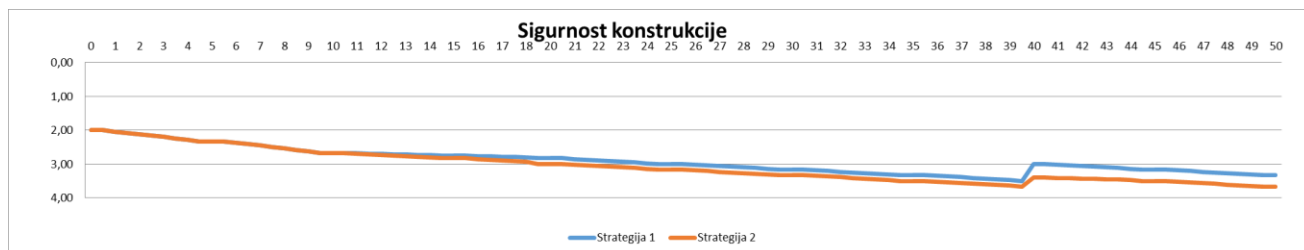
6.1.5. Nadvožnjak Gradna

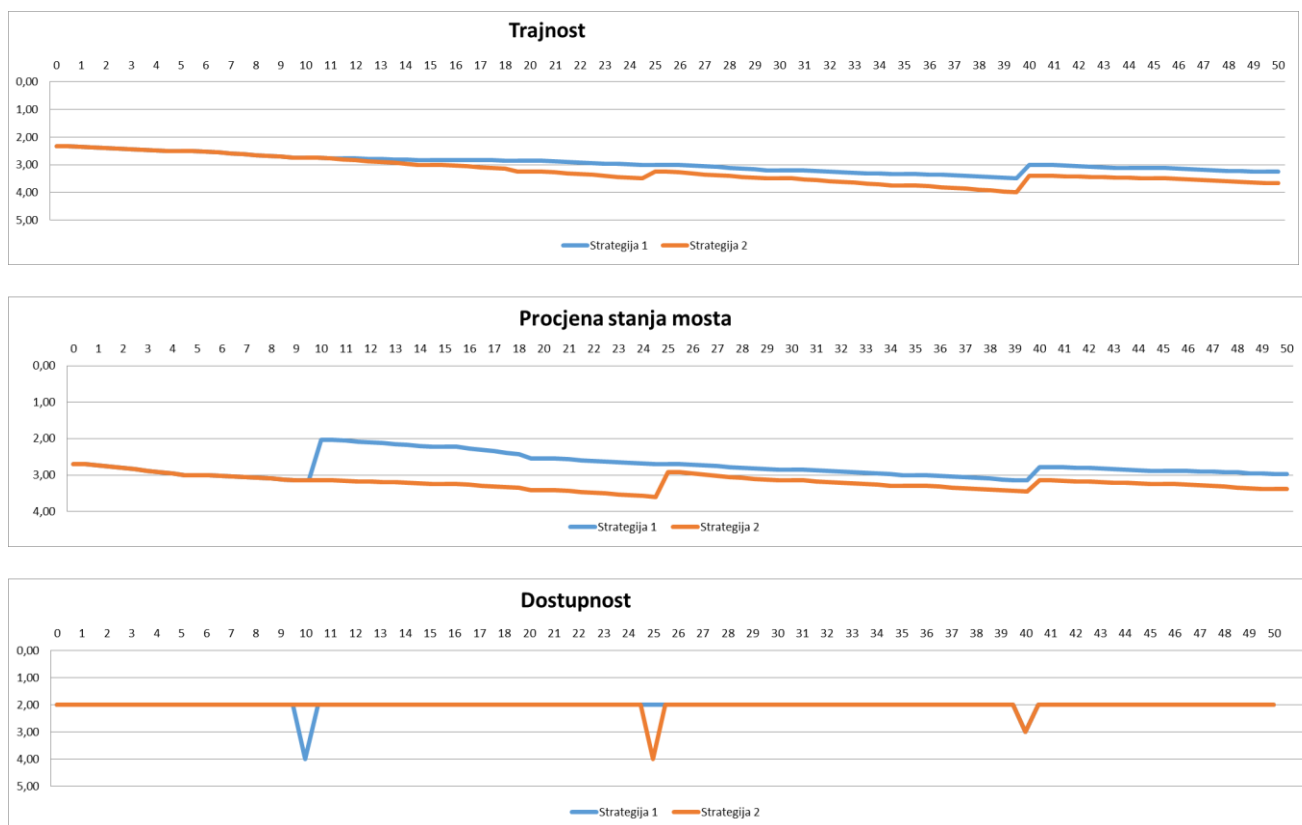


Dio sklopa	KPISS,IP (sigurnost konstrukcije)	KPITS,IP (prometna sigurnost)	KPID,IP (trajnost)	KPIBCA,IP (procjena stanja mosta)
Hodnik	1,33	2,50	2,00	1,85
Kolnik	0,78	2,33	2,33	1,93
Gredna konstr.	1,50	0,38	0,75	1,05
Lučna konstr.	0,00	0,00	0,00	0,00
Upornjak	2,00	3,00	2,00	2,70
Stup	2,00	0,50	1,00	1,55
Odvodnja	0,67	1,50	2,00	1,65
Sustav	KPISS,SY	KPITS,SY	KPID,SY	KPIBCA,SY
Most	2,00	3,00	2,33	2,70

Slika 69. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna za t=0

Za razdoblje t=0 kod dvaju strategija ocjene za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost su jednake dobivenim dijagramom u obliku pauka. (slika 69.) $KPI_{TS,IP}$ (prometna sigurnost) iznosi 3,00 zbog oštećenja na upornjaku, kao $KPI_{BCA,IP}$ (procjena stanja mosta) sa iznosom 2,70, $KPI_{D,IP}$ (trajnost)= 2,33 uzrokovan je pukotinama na asfaltu i $KPI_{SS,IP}$ (sigurnost konstrukcije) je 2,0 zbog oštećenja na stupovima mosta.





Slika 70. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za nadvožnjak Gradna

Rezultati su dani u obliku dijagrama za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost, procjenu stanja mosta i dostupnost mosta (Slika 70.). Na apscisi se nalazi vijek trajanja koji je procijenjen na 50 godina, a na ordinati se nalaze ocjene od 1 do 5 dodijeljene ključnim pokazateljima učinkovitosti mosta.

Unutar vremena $t=0$ sve do vremena od $t=50$ se događala postepena degradacija komponenti mosta, koja je utjecala na povećanje ocjena za sigurnost konstrukcije, prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta u svakom promatranom trenutku.

6.1.5.1. Strategija 1

Tablica 18. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja nadvožnjaka Gradna:

Strategija 1											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.		Sanacija oštećenja upornjaka						čišćenje slivnika		
	2.		sanacija ležajnih klupica						saniranje pukotina na kolniku		
	3.		Sanacija nasipa						Zamjena boje na ogradi		
	4.								Sanacija oštećenja stupova		

Za razdoblje od 5 godina kod strategije 1 dolazi do promjene dijagrama sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: odlamanjem i procurivanjem na upornjaku, erozijom tla na nasipima, odlamanjem zaštitnog sloja stupova, pukotinama na ležajevima upornjaka, iscvjetavanjem glavnih nosača, pukotinama na kolniku i hodniku, ljuštenjem boje na ogradi i onečišćavanje slivnika. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nema intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Promatrajući razdoblje od 10 godina dolazi do promjene na svim prethodno prikazanim dijagramima, osim sigurnosti konstrukcije. Smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: sanacija odlamanja i procurivanja na upornjacima, sanacija ležajnih klupica, nasipanje tla na nasipima i postavljanje zaštitne mreže. Pokazatelj učinkovitosti za sigurnost konstrukcije se ne mijenja jer se ne otklanja oštećenje stupova mosta. Prometna sigurnost je sada narušena ljuštenjem boje ograde, trajnost pukotinama na asfaltu, a procjena stanja mosta onečišćenjem prijelazne naprave. Dostupnost mosta raste na ocjenu 4 jer se usljed sanacije ležajnih klupica ograničava promet za teška vozila i kamione.

Kod 15. godine dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano odlamanjem zaštitnog sloja stupova, iscvjetavanjem i odlamanjem glavnih nosača, pukotinama na kolniku i hodniku, ljuštenjem boje na ogradi i onečišćavanjem slivnika.

Kod razdoblja od 20 i 25 godina degradacija prethodno navedenih oštećenja i dalje napreduje. Dostupnost mosta ostaje na vrijednosti 2.

I kod 30. i 35. godine degradacija prethodno navedenih oštećenja napreduje, uz početak odlamanja rubnjaka. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja.

Kod 40. godine dolazi do brojnih intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti. Saniraju se pukotine duž kolnika, boja se ograda, sanira se odlamanje i korozija armature stupova te čiste slivnici. Sada je KPI za sigurnost konstrukcije zadobio novu vrijednost zbog odlamanja i iscvjetavanja glavnih nosača. Dok su ostali pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta narušeni pukotinama na hodniku mosta. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku, bojanja ograde i čišćenja slivnika promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 45 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano iscvjetavanjem i odlamanjem zaštitnog sloja glavnih nosača, pukotinama na hodniku, odlamanjem rubnjaka, iscvjetavanjem i odlamanjem zaštitnog sloja upornjaka.

Povećanje KPI-ova se nastavlja sve do 50. godine uzrokovano širenjem prethodno navedenih oštećenja komponenti.

6.1.5.2. Strategija 2

Tablica 19. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja nadvožnjaka Gradna:

Strategija 2											
Određeno razdoblje (god)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Intervencija na mostu	1.					Sanacija oštećenja upornjaka			čišćenje slivnika		
	2.					sanacija ležajnih klupica			saniranje pukotina na kolniku		
	3.					Sanacija nasipa			Zamjena boje na ogradi		
	4.								Sanacija oštećenja stupova		

Za razdoblje od 5 godina kod strategije 2 dolazi do promjene dijagrama sigurnosti konstrukcije, prometne sigurnosti, trajnosti i procjene stanja mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano degradacijom komponenti mosta: odlamanjem i procurivanjem na upornjaku, erozijom tla na nasipima, odlamanjem zaštitnog sloja stupova, pukotinama na ležajevima upornjaka, iscvjetavanjem glavnih nosača, pukotinama na kolniku i hodniku, ljuštenjem boje na ogradi i onečišćavanju slivnika. Dostupnost mosta se ne mijenja jer nema intervencija na mostu, te ostaje na vrijednosti 2.

Kod 10. godine dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano napredovanjem prethodno navedenih oštećenja.

Kod razdoblja od 15 i 20 godina degradacija prethodno navedenih oštećenja i dalje napreduje. Dostupnost mosta ostaje na vrijednosti 2.

Promatrajući razdoblje od 25 godina dolazi do promjene na svim prethodno prikazanim dijagramima, osim sigurnosti konstrukcije. Smanjenje KPI-ova za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta uzrokovale su intervencije: sanacija odlamanja i procurivanja na upornjacima, sanacija ležajnih klupica, nasipanje tla na nasipima i postavljanje zaštitne mreže. Pokazatelj učinkovitosti za sigurnost konstrukcije se ne mijenja jer se ne otklanja oštećenje stupova mosta. Prometna sigurnost, trajnost i procjena stanja mosta su sada uzrokovane onečišćenjem prijelazne naprave. Dostupnost mosta raste na ocjenu 4 jer se usljed sanacije ležajnih klupica ograničava promet za teška vozila i kamione.

Kod 30. godine dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Uzroci promjene su odlamanje na stupovima, iscvjetavanje i odlamanje glavnih nosača, pukotine na kolniku i hodniku, ljuštenje boje na ogradi i onečišćavanje slivnika.

I kod 35. godine degradacija prethodno navedenih oštećenja napreduje, uz početak odlamanja rubnjaka. Dostupnost mosta se i dalje ne mijenja.

Za razdoblje do 40. godine dolazi do brojnih intervencija što predstavlja promjenu svih pokazatelja učinkovitosti. Saniraju se pukotine duž kolnika, boja se ograda, sanira se odlamanje i korozija armature stupova te čiste slivnici. Sada je KPI za sigurnost konstrukcije zadobio novu vrijednost zbog odlamanja i iscvjetavanja glavnih nosača. Dok su ostali pokazatelji učinkovitosti za prometnu sigurnost, trajnost i procjenu stanja mosta narušeni pukotinama na hodniku mosta. Dostupnost mosta raste na ocjenu 3 jer se usljed sanacije pukotina na kolniku, bojanja ograde i čišćenja slivnika promet odvija s obje strane u istoj traci, uz ograničenje brzine.

Za razdoblje od 45 godina dolazi do promjene stanja na svim dijagramima osim kod dostupnosti mosta. Povećanje njihovih KPI-ova je uzrokovano iscvjetavanjem i odlamanjem zaštitnog sloja glavnih nosača, pukotinama na hodniku i odlamanjem rubnjaka. Dostupnost ostaje na vrijednosti 2.

Povećanje KPI-ova se nastavlja sve do 50. godine uzrokovano širenjem prethodno navedenih oštećenja komponenti.

6.1.5.3. Usporedba strategija 1 i 2

Kod obje strategije se kretalo sa jednakim početnim vrijednostima dobivenim prehodno dobivenim grafičkim prikazom, dijagramom u obliku pauka. Do razlika unutar razvoja pokazatelja učinkovitosti duž vijeka trajanja kod strategija 1 i 2 dolazi zbog različitih pristupa kojim se teži. Glavna razlika između dviju strategija održavanja je ta što se prvom strategijom nastojalo pri bilo kojem većem padu ocjene ključnih pokazatelja učinkovitosti intervenirati, dok se drugom strategijom pokušavala intervencija što više odgoditi. Prvom strategijom do intervencije je dolazilo kada bi pokazatelji došli blizu ocjene 3.5, koja nam označava da se mjere održavanja i popravci trebaju započeti što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja. Kod druge strategije ocjena je sezala do vrijednosti 4, te je označavala da se mjere za popravak i održavanje moraju izvršiti odmah.

Unutar obje strategije predviđalo se pojavljivanje pokazatelja degradacije konstrukcije kroz opadanje ocjena pokazatelja učinkovitosti mosta duž čitavog razdoblja.

Ukupno gledano kod strategija 1 i 2 u početku ($t=0$) ključan za intervenciju je bio pokazatelj učinkovitosti za prometnu sigurnost, slijedio ga je pokazatelj za procjenu stanja mosta, zatim trajnost i na kraju je bila sigurnost konstrukcije. Na kraju strategije 1 ($t=50$) dolazi do izmjene poretka pokazatelja, najlošije je ocjenjena sigurnost konstrukcije, zatim sljedi trajnost, onda procjena stanja mosta i na kraju trajnost. Kod strategije 2 za $t=50$ redoslijed se također izmjenjuje, najkritičniji su pokazatelji za sigurnost konstrukcije i trajnost, zatim slijedi procjena stanja mosta, i najbolje ocjenjena je prometna sigurnost. U tome je vidljiva različitost dvaju strategija koja vodi i različitom redoslijedu pokazatelja učinkovitosti za jednaka godišnja razdoblja.

Zaključno prva strategija je progresivnija, ali da li je izvediva ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

7. ZAKLJUČAK RADA

"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".

Uspostavljena je 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.

Daljni smjer istraživanja kojim se pokušalo stvoriti cjelokupan postupak održavanja i gospodarenja mostovima na europskoj razini je praćenje ključnih pokazatelja učinkovitosti mostova u vremenu kod realnih primjera mostova u Hrvatskoj.

Praćenje ključnih pokazatelja učinkovitosti u vremenu podiglo je do sada vremenski jednodimenzionalni rezultat za trenutno stanje, na čitav vijek uporabe konstrukcije. Proučavala se promjena ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz preostali vijek trajanja, uvažavajući različite strategije održavanja. Odabrane su dvije strategije kojima nudimo mogućnost različitog razmišljanja o popravcima tijekom vijeka trajanja. Kod prve je intervencija započinjala što je prije moguće kako bi se očuvala uporabljivost i predviđeni vijek trajanja, dok se drugom pokušalo intervenciju odgoditi što duži period. Iako je prva bila progresivnija, upitno je da li je izvediva pošto ovisi o raspoložim sredstvima za njom određene intervencije za cjelokupnu promatranu grupu mostova.

Ove dvije strategije su samo jedne od mogućih. Odabrane su kako bi prikazali usporedbu rezultata i mogućnosti ovakve metode. Razmatranjem drugačijih strategija bi se mogla unaprijediti metoda procjene pokazatelja učinkovitosti u vremenu.

Uvođenjem stvarnih troškova za pojedine intervencije u vidu zamjena ili sanacija odnosno troškova za odgovarajuće usporavanje, preusmjeravanje ili zatvaranje prometa dobio bi se dodatni pokazatelj učinkovitosti te bi se olakšala usporedba odabranih strategija. Dodatno uvođenjem međuovisnosti ukupnih raspoloživih sredstava u određenom razdoblju i troškova radova sanacija na pojedinim mostovima u sklopu mreže dobio bi se redoslijed prioriteta popravaka za sve promatrane mostove.

Postupak se temeljio na računanju korak po korak za svaki vremenski period unutar vijeka trajanja, primjenjujući bazičnu razinu programiranja u programu za tablično računanje, excelu. Metoda bi se mogla unaprijediti naprednim programiranjem postupka koji prati međuovisnosti pojedinih indikatora i ključnih indikatora.

8. LITERATURA:

- [1] Danijel Tenžera: Metodologija održavanja u sustavu gospodarenja mostovima, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Zagreb, 2014.
- [2] Danijel Tenžera, Goran Puž, Jure Radić: Vizualni pregled kao pomagalo za ocjenu stanja mostova, građevinar broj 64, 2012.
- [3] Zakon o gradnji, "Narodne novine", broj 153/13, Zagreb, 2013.
- [4] Zakon o cestama, Urednički pročišćeni tekst, "Narodne novine", broj 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, Zagreb, 2011.
- [5] Pravilnik o održavanju i zaštiti javnih cesta, Urednički pročišćeni tekst, "Narodne novine", broj 25/98, 162/98, Zagreb, 1998.
- [6] Program građenja i održavanja javnih cesta za razdoblje od 2009. do 2013. godine. Vlada Republike Hrvatske, prosinac 2008.
- [7] Ukrainczyk B., Peraica B., Planiranje provedbe glavnih pregleda mostova, Održavanje cesta 2007, Zbornik radova, Šibenik, 68 – 72, 2007.
- [8] Tenžera, Danijel; Dobrica, Tomislav; Ukrainczyk, Boris: Maintenance of arch bridges on Croatian state road network// Proc. of the 3rd Chinese-Croatian Joint Colloquium Zagreb 2011: Sustainable arch bridges, Zagreb, 2011, 275 – 282.
- [9] Radić, J.; Šavor, Z.; Puž, G.; Bleiziffer, J.; Balažić, A.: Asset Management System for Croatian Motorways, Proceedings of Fib symposium Concrete structures – Stimulators of development, SECON, Dubrovnik, pg. 881.-888, 2007.
- [10] COST 345: Procedures required for the assessment of highway structures, Final report, European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research. Editors: Jordan, R., Žnidarić, A., 11 – 44, 2004.

- [11] Godart, B.; Vassie, P.R.: Bridge management systems. Extended review of existing systems and outline framework for European system, European Commission, DG VII, 4th Framework Programme, BRIME, Deliverable D13, P97-2220, 1999.
- [12] Woodward R.J.; Cullington D.W.; Daly A.F.; Vassie P.R.; Haardt P.; Kaschner R.; Astudillo R.; Velando C.; Godart B.; Cremona C.; Mahut B.; Raharinaivo A.; Lau; Markey I.; Bevc L.; Peruš I.: Final Report, European Commission, DG VII, 4th Framework Programme, BRIME, Deliverable D14, BRIME Contract No.: RO-97-SC.2220, 2001.
- [13] Thompson, P.D., Small, E.P., Johnson, M., Marshall A.R.: The Pontis Bridge Management System, Structural Engineering International, 4/98, 303-308.
- [14] Hawk, H., Small, E.P.: The BRIDGIT Bridge Management System, Structural Engineering International, 4/98, 309-314.
- [15] Bevc, L., Mahut, B., Grefstad, K.: Review of Current Practice for Assessment of Structural Condition and Classification of Defects, European Commission, DG VII, 4th Framework Programme, BRIME, Deliverable D2, P97-2220, 1999.
- [16] Aktas, E.; Moses, F.; Ghosn, M.: Cost and safety optimization of structural design specifications, Reliability Engineering and System Safety 73, Elsevier, 205–212, 2001.
- [17] Liu, m.; Frangopol, D.M.: Optimal bridge maintenance planning based on probabilistic performance prediction // Engineering Structures 26, ScienceDirect; 991 – 1002., 2004.
- [18] Radić, J., Mandić, A.; Augustinović, I.: Ocjenjivanje postojećih konstrukcija // Građevinar 61, pp. 901 – 912, 2009.
- [19] Guidelines for Bridge Management Systems, American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO, Washington, 1993.

- [20] Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges, Volume I: Final Report, FHWA-RD-01-020 JUNE 2001, Research, Development, and Technology TurnerFairbank Highway Research Center, US Department of Transportation, Federal Highway Administration
- [21] Thompson,P.D.; Shepard,R.W.: AASHTO – COMMONLY RECOGNIZED BRIDGE ELEMENTS, Materials for National Workshop on Commonly Recognized Measures for Maintenance, Scottsdale, Arizona, June, 2000
- [22] Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Reaserch Action designated as COST Action TU1406 (quality specifications for roadway bridges, standardization at a European level)
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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
- [26] 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.
- [27] 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.

- [28] Ana Mandić Ivanković i Marija Kušter Marić: Predavanja i vježbe iz predmeta Trajnost konstrukcija 1, Građevinski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu 2017.
- [29] Croatian highways ltd. 2010. Guideline for bridge evaluation. Hrvatske autoceste d.o.o. 2010. Smjernice za ocjenjivanje mostova
- [30] DIN 1976- 1999 Deutsches Institut für Normung – njemački nacionalni standard
- [31] 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.
- [32] 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
- [33] Hrvatske autoceste d.o.o. 2008: Planiranje upravljanja mostovima
- [34] 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
- [35] Croatian highways ltd. 2010. Guideline for bridge evaluation. Hrvatske autoceste d.o.o. 2010. Msjernice za ocjenjivanje mostova
- [36] COST action TU1406, <http://www.tu1406.eu/> pristup 21. travanj 2018
- [37] 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
- [38] 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

[39] Training School - Prague Training School on Bridge Quality Control, 25 – 28
September 2017, Faculty of Civil Engineering CTU in Prague Prague, Czech Republic

[40] Jure Radić, Ana Mandić, Goran Puž »Konstruiranje mostova« Hrvatska sveučilišna
naklada, Zagreb, 2005.

[41] Jure Radić »Masivni mostovi« Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb , 2007.

[42] Jure Radić »Uvod u mostarstvo« Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb , 2009.

[43] 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. Utjecaj održavanja na uporabni vijek građevine.....	2
Slika 2. Pojednostavljena shema procesa planiranja izvanrednog održavanja mostova.....	3
Slika 3. Važnost vizualnih pregleda u dijagnosticiranju stanja konstrukcije.....	5
Slika 4. Mostovi raspona ≥ 5 metara na mreži državnih cesta 2012. Godine.....	9
Slika 5. Zastupljenost osnovnog materijala prema rasponima mostova.....	9
Slika 6. Prikaz udjela različitih osnovnih materijala prema rasponima mostova.....	9
Slika 7. Oznake elemenata mostova s prosječnim ocjenama, stanje iz 2010. Godine.....	10
Slika 8. Ocjene mostova na državnim cestama RH - stanje iz 2010. Godine.....	11
Slika 9. Osnovne funkcije nekih sustava gospodarenja mostovima.....	13
Slika 10. Podjele mostova na elemente u različitim SGM.....	14
Slika 11. Kriteriji za ocjenjivanje mostova.....	16
Slika 12. Most Silver, Point Pleasant, Ohio, SAD.....	20
Slika 13. Primjeri podloga sa ucrtanim oštećenjima za lučni most u Slunju.....	25
Slika 14. Podloga prometne površine sa ucrtanom dilatacijom na mostu preko Korane...27	
Slika 15. Dilatacije i pukotine na prijelaznoj napravi mosta preko Korane.....	27
Slika 16. Podloga prometne površine sa ucrtanom korozijom na ogradi nadvožnjaka Gradna.....	28
Slika 17. Korozija ograde na nadvožnjaku Gradna.....	28
Slika 18. Tri glavna posustava mostova: podstruktura, nadstruktura i kolnik/oprema.....	30
Slika 19. Procjena oštećenja - podrazumijeva otkrivanje oštećenja, kao i njihovu identifikaciju i procjenu.....	32

Slika 20. Glavni pristupi otkrivanju oštećenja: vizualni pregled, nerazorno ispitivanje, sondiranje i monitoring.....	33
Slika 21. Primjer odnosa važnosti oštećenja odgovarajuće komponente i važnosti komponente za prometnu sigurnost (os x oštećenje odgovarajuće komponente, os y prometna sigurnost).....	38
Slika 22. Primjer učešća (težina) pojedinih kriterija za rangiranje prioriteta [5], [20].....	39
Slika 23. Sveobuhvatna shema postupka.....	41
Slika 24. Međudjelovanje pojedinih indikatora (PI), ciljeva (PG) i težinskih parametara (WP) [4], [5], [6].....	43
Slika 25. Kritični presjeci prikazani kao lokacije za vizualni pregled primjera lučnog mosta.....	48
Slika 26. 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.....	57
Slika 27. Tablični prikaz najvećeg utjecaja pojedinačnih dijelova na ukupne KPI-ove mosta.....	58
Slika 28. Lučni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	62
Slika 29. Gredni most Slunj: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	62
Slika 30. AB most u Bjelovaru: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	62
Slika 31. Lučni most preko Korane: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	62
Slika 32. Nadvožnjak Gradna: uzdužni presjek (lijevo), poprečni presjek (desno).....	62
Slika 33. Iscvjetavanje ploče.....	64
Slika 34. Korozija i odlamanje zaštitnog sloja betona na stupu.....	65
Slika 35. Mrežaste pukotine na pješačkom hodniku.....	66
Slika 36. Korozija ograde, oštećenje hodnika.....	67
Slika 37. Korozija armature te odlamanje vijenca	68

Slika 38. Odlamanje zaštitnog sloja, iscvjetavanje betona (dijelom sanirano) na podgledu nosive konstrukcije	69
Slika 39. Iscvjetavanje betona u podgledu nosive pločaste konstrukcije mosta blizu prvoga upornjaka	70
Slika 40. Segregacija betona i korozija armature u podgledu na ploču u polju neposredno uz drugi upornjak	71
Slika 41. Sanirana, naknadno otvorena pukotina u asfaltu	72
Slika 42. Korozija armature ploče glavnog nosača	73
Slika 43.1. Erozija nasipa.....	74
Slika 43.2. Erozija nasipa.....	75
Slika 44. Prikaz odlamanja betona ploče	76
Slika 45. Oštećenje ograde: mehaničko oštećenje i korozija	77
Slika 46. Dilatacija i pukotine na kolniku mosta.....	78
Slika 47. Dilatacija i iscvjetavanje na glavnom nosaču	79
Slika 48. Otpadanje obloge vijenca.....	80
Slika 49. Lučna konstrukcija mosta s neznatnim oštećenjima	81
Slika 50. Korozija pješačke ograde	82
Slika 51. Klobučenje hodnika i odlamanje rubnjaka	83
Slika 52. Vlaženje vijenca	84
Slika 53. Vlaženje i odlamanje zaštitnog sloja stupa	85
Slika 54. Izluživanje betona na upornjaku	86
Slika 55. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta preko Slunjčice.....	88
Slika 56. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju.....	88
Slika 57. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova AB mosta u Bjelovaru.....	88
Slika 58. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane.....	88

Slika 59. Grafički prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna.....	88
Slika 60. Primjer promatranja nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme.....	91
Slika 61. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova lučnog mosta preko Korane za t=0.....	95
Slika 62. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most preko Korane.....	95
Slika 63. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova grednog mosta u Slunju za t=0.....	102
Slika 64. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za gredni most u Slunju.....	102
Slika 65. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta u Bjelovaru za t=0.....	108
Slika 66. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most u Bjelovaru.....	108
Slika 67. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova mosta preko Slunjčice za t=0.....	115
Slika 68. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za most preko Slunjčice.....	115
Slika 69. Grafički i tablični prikaz šest najvažnijih KPI-ova nadvožnjaka Gradna za t=0.....	122
Slika 70. Promatranje nekih od ključnih pokazatelja učinkovitosti mosta kroz vrijeme za nadvožnjak Gradna.....	122

9.2. Popis tablica

Tablica 1. Elementi mostova za kategorizaciju na razini komponente.....	31
Tablica 2. Primjer kategorizacije stupnja / proširenja oštećenja kao pokazatelja primarne učinkovitosti za betonsku nadgradnju.....	34
Tablica 3. Primjer funkcionalnosti komponente na razini sustava prema različitim kriterijima.....	37
Tablica 4. Popis promatranih oštećenja povezanih s pojedinim elementima mosta i prikladne najveće važnosti pojedinog oštećenja ID,CO za funkcioniranje pojedinog elementa.....	44
Tablica 5. Sustav ocjenjivanja oštećenja na temelju vizualnog pregleda.....	48
Tablica 6. Važnost sastavnih komponenti mosta za sigurnost konstrukcije ISS,CO, prometnu sigurnost ITS,CO i trajnosne aspekte ID,CO	51
Tablica 7. Ključni pokazatelji dostupnosti za cestovne i željezničke mostove tijekom radova.....	54
Tablica 8. Ocjene za procjenu važnosti mosta na razini mreže prema 5 kriterija.....	56
Tablica 9. Osnovni podatci za studiju slučaja mostova.....	60
Tablica 10. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta preko Korane	97
Tablica 11. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta preko Korane.....	99
Tablica 12. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta u Slunju.....	104
Tablica 13. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta u Slunju.....	105
Tablica 14. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta u Bjelovaru.....	110
Tablica 15. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta u Bjelovaru.....	112

Tablica 16. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja mosta preko Slunjčice	117
Tablica 17. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja mosta preko Slunjčice	119
Tablica 18. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 1 kod praćenja pokazatelja nadvožnjaka Gradna.....	124
Tablica 19. Prikaz intervencija u određenom vremenskom periodu za strategiju 2 kod praćenja pokazatelja nadvožnjaka Gradna.....	127